



132
203

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

REVISION Y PROPOSICION DE EXPERIMENTOS
PARA EL LABORATORIO DE FENOMENOS DE
SUPERFICIE (CLAVE 1617)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

ROBERTO UREÑA FUENTES

MEXICO, D. F.,

1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE : Prof. FRANCISCO JAVIER GARFIAS AYALA

VOCAL : Prof. JESUS GRACIA FADRIQUE

SECRETARIO : Prof. ALMA ROSA GARCIA CHARRETON

1er. SUPLENTE: Prof. BERTHA LILIA AMENEYRO FLORES

2do. SUPLENTE: Prof. AMANDO JOSE PADILLA RAMIREZ

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

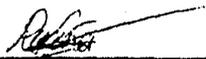
LABORATORIO DE FENOMENOS DE SUPERFICIE DE LA FACULTAD DE QUIMICA, UNAM.

ASESOR:



Q. ALMA ROSA GARCIA CHARRETON

SUSTENTANTE:



ROBERTO URENA FUENTES

AGRADECIMIENTOS:

A N.S.J.C.

A MIS PADRES:

Sra. Rosario Fuentes Ordaz y Sr. Roberto Ureña Contreras

A MI HERMANA:

Dolores Ureña Fuentes.

A MIS ABUELOS.

A MIS TIOS Y PRIMOS.

A LOS PROFESORES:

**Q. Alma Rosa Garcia Charrelon, Dr. Francisco Javier Garfias Ayala,
Bertha Lilia Amenyro Flores, Amando Jose Padilla Ramirez, Adriana J. Verdejo Coss y León,
Aida J. Gandara Tovar, Natalia E. de la Torre Aceves, Jose A. Ortiz Ramirez, Antonio Valiente
Barderas, Martha Garcia Reyes, Jaime Medina Oropeza, Maria T. Gurrola.**

A MIS SEGUNDOS PADRES Y HERMANOS:

**Dr. Rafael Garcia-Luna, Sra. Pilar Martinez,
Martin, Lic. Gerardo . Olivia. C.P. Jaime Guevara, Sra. Hilda Velasco y Jaime.**

A MIS AMIGOS Y AMIGAS.

* Con un sayal negro y la célebre caperuza roja, la niña se en huelga de hambre. No le habían pagado las últimas tres mil representaciones del cuento.

* Apenas aparecía el lobo en el cuento, Caperucita y sus diez hermanos se lanzaban contra el animal al grito de "¡carne a la vista!".

* Y luego de comerse a la Caperuza roja, el lobo se murió de tifoidea.

* Camino a casa de la abuela, el señor Lobo fue asaltado por la banda de la "caperuza roja". Se desconoce su paradero.

* " - ¿Desapareciste a la escuincla?"

- "¡ Auuuuuu !"

Y el lobo y la abuela vivieron felices.

* Porque el verdadero enemigo no es el lobo sino el capitalismo -concluyó la roja de Caperucita, y la desaparecieron del texto.

Ricardo Chávez Castañeda.

INDICE

Introducción	1
1.- Capítulo Uno.	
1.1 El laboratorio como herramienta de apoyo en la enseñanza	2
1.2 Principales aspectos que se deben cubrir en la enseñanza	2
1.3 El calendario escolar del laboratorio	3
1.4 El aprendizaje en equipo	5
2.- Capítulo Dos.	
2.1 Tensión superficial	8
2.2 Energía libre en una interfase	12
2.3 Experimentos de tensión superficial	13
2.4 Medición de la tensión superficial	19
2.5 Ecuación de Young-Laplace	19
2.6 Método de ascenso capilar	20
2.7 Método del boble capilar para medir la tensión superficial	23
2.8 Corrección para el método de ascenso capilar	25
2.9 Método del anillo	26
2.10 Corrección del método del anillo	28
2.11 Tensión interfacial	30
2.12 Trabajo de cohesión y de adhesión	33
2.13 Experimentos de tensión interfacial	33
2.14 Medición de la tensión interfacial	37
2.15 Método del peso de la gota	37
2.16 Corrección para el método del peso de la gota	39
2.17 Método del número de gotas	41
3.- Capítulo Tres.	
3.1 Agentes de superficie activa	43
3.2 Clasificación de los agentes tensoactivos	45
3.3 Biodegradación de tensoactivos	45
3.4 Ecuación de adsorción de gibbs	47
3.5 Experimentos demostrativos	48

3.6	Concetración micelar crítica	50
3.7	Efecto de las micelas en la conductividad	52
3.8	Experimentos para determinar la c.m.c.	52
4.- Capítulo Cuatro.		
4.1	Sistemas dispersos	55
4.2	Definición de emulsión	55
4.3	Clasificación de emulsiones	57
4.4	Preparación de emulsiones	57
4.5	El HLB	58
4.6	Determinación del número HLB	58
4.7	Número HLB requerido	60
4.8	Método de solubilidad en agua	61
4.9	Experimentos relacionados con las emulsiones	62
5.- Capítulo Cinco.		
5.1	Viscosidad	65
5.2	Fluido newtoniano	65
5.3	Fluido no newtoniano	65
5.4	Fluido independiente del tiempo	67
5.5	Fluido dependiente del tiempo	67
5.6	Fluido reopéctico	67
5.7	Fluido Tixotrópico	67
5.8	Pruebas normalizadas para las propiedades reológicas de materiales	68
6.- Capítulo Seis.		
6.1	Adsorción	74
6.2	Isotermas de adsorción	76
6.3	Teoría de la adsorción de Langmuir	76
6.4	Isotermas de los tipos II - V	79
6.5	Adsorción de solutos por sólidos	79
6.6	Experimento para ilustrar la isoterma de Langmuir	82
7.- Capítulo Siete.		
7.1	El proyecto experimental	84
7.2	Adhesivos	85

7.3 Angulo de contacto	85
7.4 Anillos de Liesegang	85
7.5 Capilaridad	85
7.6 Celda Hele-Shaw	86
7.7 Coagulación	86
7.8 Coloides	86
7.9 Detergentes	86
7.10 Emulsiones	87
7.11 Espumas	87
7.12 Floculación	88
7.13 Geles	88
7.14 Humectación	88
7.15 Isotermas de adsorción	88
7.16 Micelas	89
7.17 Microemulsiones	89
7.18 Mojado	90
7.19 Solubilidad	90
7.20 Tensión interfacial	90
7.21 Tensión superficial	90
7.22 Tensoactivos	91
8.- Capitulo Ocho.	
8.1 Presentación de la propuesta	93
8.2 Formato tensión superficial e interfacial	94
8.3 Formato medición de la tensión superficial	95
8.4 Formato medición de la tensión interfacial	112
8.5 Formato tensoactivos	127
8.6 Formato concentración micelar crítica	148
8.7 Formato emulsiones	170
8.8 Formato viscosidad	174
8.9 Formato isoterma de adsorción	195
Conclusiones	209
Bibliografía	210

INTRODUCCIÓN

Intentamos a veces dibujar líneas de separación entre los campos de estudio de la fisicoquímica de superficies, los coloides y la fisicoquímica de los polímeros. La distinción no siempre resulta fácil y no es siempre apropiada. En la fisicoquímica de superficies, se enfatiza el estudio de la termodinámica, la estructura, y los procesos interfaciales. Las razones para el estudio de la tensión superficial son muchas y muy variadas, como lo indican las que se citan a continuación: Como una propiedad física característica del sistema usada por propósitos de identificación y proveer información sobre la estructura de superficies líquidas, como medio de corroboración de las teorías de interacción molecular, particularmente en superficies, como medio indirecto de estudios de adsorción, tanto en interfases de fluidos, la determinación de la tensión superficial y el uso de la isoterma de adsorción de Gibbs, como medio para calcular el Paracoro, una propiedad aditiva, considerada como un volumen molar corregido por los efectos de compresión de fuerzas intermoleculares.

En los coloides y en la fisicoquímica de los polímeros, el énfasis es más enfocado en las propiedades colectivas de un sistema disperso. Fenomenológicamente, esto es, observando a la fisicoquímica de superficies macroscópicamente, encontramos a un anfitrión especial en situaciones de gran importancia práctica: El ángulo de contacto, representa un balance de tensiones superficiales entre límites de tres fases. La humectación, adhesión y detergencia, dependen en forma importante del control de las tensiones interfaciales. Emulsiones y espumas son estabilizadas o desestabilizadas através del sensato uso de agentes de superficie activa (tensoactivos).

En los últimos años la educación en México ha recobrado la importancia que siempre debería de tener, al ser fundamental en el destino de un país y con mayor razón en esta época de globalización a nivel mundial.

La Facultad de Química de la U.N.A.M. como muestra de lo anterior, llevó a cabo una reestructuración de los planes de estudio en las licenciaturas que imparte, sin embargo, parece ser que la enseñanza experimental que forma parte fundamental en esta escuela ha sido relegada en algunos casos.

Para tratar de resolver esta situación se han puesto en práctica algunas acciones por parte de las autoridades de la facultad, como el reglamentar el porcentaje que influye la calificación del laboratorio en la calificación final de la asignatura, y recientemente la creación de un programa denominado "PAPIME", cuyo objetivo es la "Reforma de la Enseñanza Experimental" en la Facultad de Química.

Con estas medidas se intenta darle la importancia que merece a la enseñanza experimental, y como una contribución para lograrlo se elaboró este trabajo enfocado al laboratorio de Fenómenos de Superficie para la licenciatura de Ingeniería Química. Los primeros capítulos contienen una revisión de los conocimientos que se consideran indispensables para el desarrollo de cada tema en el laboratorio, a continuación se presenta la propuesta de experimentos y de un formato para estructurar el nuevo manual de laboratorio, los resultados de los experimentos que se efectuaron con el análisis de éstos, y por último se presentan las conclusiones.

ABREVIATURAS

Å	amstrong
A	energía libre de Helmholtz.
ABS	sulfonatos de alquilbenceno ramificados.
a	área.
C	concentración de soluto en el equilibrio.
C.M.C.	concentración micelar crítica.
DSS	dodecil sulfato de sodio.
EOR	recuperación del petróleo.
EO - PO	óxido de etileno - óxido de propileno.
FDA	administración de alimentos y medicamentos.
G	energía libre de Gibbs.
g	constante de aceleración de la gravedad.
H	entalpía.
HLB	balance hidrófilo-lipófilo.
h	altura de la columna de líquido.
kg / m.t.	kilogramo por mil toneladas
LAS	alquilsulfatos secundarios lineales.
NA	naranja de acridina.
n_i	número de moles del componente i.
O / W	agua en aceite.
P	presión.
ppm	partes por millón.
q	calor.
r	radio.
S	entropía.
SI	sistema internacional de unidades.
T	temperatura.
V	volumen.
v	velocidad.
Wa	trabajo de adhesión.
Wc	trabajo de cohesión.
W / O	aceite en agua.
y	distancia
Γ	exceso de superficie.

γ	tensión superficial.
γ_i	tensión interfacial.
ΔP	diferencia de presión.
ϕ	circunferencia media del anillo.
μ	potencial químico.
θ	ángulo de contacto.
π	3.1416...
ρ	densidad.
τ	esfuerzo cortante
ω	velocidad de corte.

CAPITULO 1

EL LABORATORIO COMO HERRAMIENTA DE APOYO

EL LABORATORIO COMO HERRAMIENTA DE APOYO EN LA ENSEÑANZA

Una de las más grandes frustraciones como estudiante es el sentimiento de pérdida de tiempo que se experimenta en algunos de los cursos de laboratorio. Las causas son muy variadas y distintas, solo por enunciar algunas a manera de ejemplo:

- 1.- El seguir siempre una misma metodología, en la forma de efectuar la experimentación (siguiendo una receta de cocina) sin la menor posibilidad, de proponer algún tipo de modificación para llegar al mismo fin.
- 2.- El encontrarse situado en la problemática de la falta de recursos, tanto humanos como materiales, ocasionando con esto una falta de interés.
- 3.- Llegar al laboratorio bajo la frase " Quien no apruebe el laboratorio no aprueba la teoría" en vez de entrar con el deseo de aplicar sus conocimientos adquiridos, en la clase de teoría y tener la posibilidad de generar otros nuevos mediante la experimentación.
- 4.- El tener que presentar los resultados que espera el profesor de laboratorio, pese a que estos nunca se lograron obtener de manera experimental, en lugar de tratar de obtener una explicación satisfactoria de por qué no se llegó al resultado esperado y (algunas personas afirman que se aprende más de los errores que de los aciertos) si es posible comprobar esto. Se puede decir que "Diera la impresión que en la actualidad, la enseñanza experimental en la gran mayoría de los casos, se hace más por obligación que por necesidad. Se ubica al estudiante en una posición pasiva y contemplativa ante hechos consumados, ante conocimientos dados". Su conducta, en el mejor de los casos, debe llevarlo a demostrar la validez de las leyes escritas."⁽¹⁾
- 5.- La repetición sistemática de los mismos experimentos semestre tras semestre, sin lograr el objetivo de tener la seguridad de entender y dominar el conocimiento.

PRINCIPALES ASPECTOS QUE SE DEBEN CUBRIR EN LA ENSEÑANZA.

No estaría por demás, el enunciar algunos de los principales aspectos que se deben cubrir durante el proceso de enseñanza, como son la formación intelectual y la formación profesional. "La formación intelectual se refiere a la adquisición de métodos, habilidades o destrezas, actitudes y valores de tipo intelectual es decir, en el ámbito de la razón, del entendimiento de la mente humana. Dentro de esta formación intelectual podemos incluir objetivos como los siguientes: que el alumno aprenda a pensar, a razonar, a analizar, a sintetizar, a deducir, a abstraer o inducir ; que aprenda a leer y comprenda lo que lee, que sepa resumir y esquematizar ; que aprenda a preparar exposiciones y a exponer sus ideas ; que aprenda a expresar sus ideas por escrito, clara y correctamente, que aprenda a investigar, a experimentar, a comprobar o refutar sus hipótesis, que aprenda a estudiar, que aprenda a discutir con otros, a fundamentar lo que dice, a aceptar las ideas de los demás, a modificar su

posición cuando deba hacerlo ; que le guste aprender en general, y determinada materia en particular, que sea inquisitivo, que tenga curiosidad intelectual, que tenga una actitud científica, una actitud crítica, que le guste profundizar, etcétera."

Dentro de la enseñanza experimental resalta como objetivo que el alumno aprenda a observar lo que ocurre, para que después se cuestione sobre los hechos observados. De esta manera empezará a familiarizarse con el comportamiento de la materia y tratará de comprenderlo mejor.

Por lo que respecta a la formación profesional, "Aquí incluimos el desarrollo de actitudes, valores y habilidades por parte del alumno, enfocado éste como un futuro profesional, como alguien que, dentro de poco tiempo, pasará a formar parte de la clase productiva, ya sea de forma independiente o en alguna empresa pública o privada. Dentro de esta formación profesional podemos incluir objetivos como los siguientes, que el alumno adquiera un sentido de ética orientada específicamente a su profesión; fomentarle el estar siempre dispuesto a dar lo mejor de sí mismo en todo momento; que antes de preguntarse qué le va a aportar a él la empresa, acostumbra preguntarse qué puede él aportar a la empresa, que en el ejercicio de su profesión aprenda a buscar siempre el bien común, los beneficios para la sociedad en general; que aprenda a trabajar coordinadamente, en equipo, dentro de las jerarquías propias de cualquier espíritu de iniciativa responsable y creativa de tal manera que siempre busque las mejores maneras de sacar adelante su trabajo; que aprenda a analizar problemas y conflictos, y a tomar decisiones para resolverlos y superarlos; que aprenda a aplicar sus conocimientos teóricos en la práctica profesional; que aprenda a investigar lo que no sepa, a buscar y localizar los datos que necesite, etcétera."

Si se reflexiona en lo anteriormente expuesto, se puede considerar lo alejada que se encuentra la enseñanza práctica del ideal actual presentado. Pero esto en lugar de provocar un sentimiento de frustración, debe de engendrar el firme propósito de comenzar a trabajar con todos los recursos tanto humanos como materiales, en una búsqueda incansable por mejorar la enseñanza experimental.

Teniendo siempre presente, que en esta labor el compromiso tiene que ser compartido, guardando sus respectivas proporciones, tanto por el estudiante como por el profesor.

EL CALENDARIO ESCOLAR DEL LABORATORIO.

Pase a que se busca el dar al alumno una educación completa, ésta se ve en cierta forma limitada por el tiempo. Los experimentos que se proponen intentan cubrir algunos de los temas relevantes que se presentan durante el curso de fenómenos de superficie.

Para proponerlos, se tomaron en cuenta tanto el aspecto académico y la posibilidad de ser realizados tomando en consideración los escasos recursos con los que cuenta el laboratorio de

fenómenos de superficie, lo cual limita de una manera muy significativa el desarrollo de nuevos experimentos, además de considerar el tiempo del que se dispone para elaborar los experimentos que es de 3 horas por semana. A continuación se enuncian los experimentos sugeridos y se da una breve explicación de su importancia:

Tensión Superficial e Interfacial: Debido al hecho de la contracción espontánea de la superficie de un líquido, demostrando la presencia de una energía libre asociada a éste fenómeno, que también puede apreciarse cuando se tienen dos líquidos inmiscibles. Además de considerar que el cociente de la relación superficie volumen es grande y no se puede considerar su efecto despreciable como en otros casos.

Medición de la Tensión Superficial: Resulta necesario el saber como medirla por el beneficio que presenta, como el poder manejar ciertos fluidos a nuestra conveniencia, así como la determinación del trabajo de cohesión que influye de manera importante en el desarrollo de algunos procesos.

Medición de la Tensión Interfacial: La importancia de saber como medirla se incrementa por el hecho de ser más común en el manejo de procesos industriales la formación y destrucción de interfases. Además de ser necesaria en la determinación del trabajo de adhesión.

Tensoactivos: Al ser sustancias que tienen la propiedad de adsorberse sobre las superficies o interfases y alterar la energía libre superficial de tales regiones de manera significativa, modificando tanto la tensión superficial como la tensión interfacial. Resaltando el gran campo de aplicación que tienen en la industria y el hogar.

Concentración Micelar Crítica: Por el interesante fenómeno de la formación de micelas, que tiene como consecuencia directa el alterar significativamente la energía libre superficial, con esto se modifican propiedades como la conductividad equivalente, la presión osmótica, etc. en las sustancias anfífilas. Un fenómeno de especial interés relacionado es la detergencia debido a la "competencia" que se lleva a cabo entre la formación de micelas y la interacción con las moléculas de grasa presentes.

Emulsiones: Dentro de los sistemas dispersos, las emulsiones cobran gran interés por la variedad de formas en las que se aplican actualmente, en la industria textil, del papel, en la elaboración de alimentos, en pinturas, etc.

Viscosidad: Por ser una propiedad de los fluidos donde su estudio ha contribuido en la clarificación de ideas concernientes a la naturaleza de algunos sistemas coloidales, así como su manejo y uso. Debido a su efecto sobre la estabilidad de las espumas.

Isoterma de Adsorción: La adsorción es uno de los fenómenos de mayor interés en su comprensión debido a su amplio campo de aplicación industrial. Un ejemplo es la clarificación de licores, la recuperación de tintes, el análisis cromatográfico, etc.

Si se toma en cuenta que el semestre tiene una duración de 16 semanas hábiles, el calendario se estructura de la siguiente manera:

Semana 1: Presentación del Plan de Trabajo que se seguirá durante el semestre.

Semana 2: Tensión Superficial e Interfacial.

Semana 3: Medición de la Tensión Superficial.

Semana 4: Medición de la Tensión Interfacial.

Semana 5: Tensoactivos (Surfactantes).

Semana 6: 1er. Examen Experimental.

Semana 7: Concentración Micelar Crítica.

Semana 8: Emulsiones.

Semana 9: Viscosidad (Tixotropía).

Semana 10: Isoterma de Adsorción.

Semana 11: 2 do. Examen Experimental.

Semana 12: Elaboración del Proyecto.

Semana 13: Elaboración del Proyecto.

Semana 14: Presentación de Proyectos.

Semana 15: Entrega de Calificaciones (Fin de Curso).

EL APRENDIZAJE EN EQUIPO.

Uno de los aspectos importantes dentro del laboratorio, es el tratar de fomentar el trabajo en equipo entre los alumnos, debido a que permite la confrontación de ideas entre éstos, alentando un mayor interés en el tema y sacando a la luz preguntas dirigidas hacia el profesor de laboratorio, logrando con esto una formación más completa. Otro punto importante de este tipo de aprendizaje, es el tratar de fomentar las relaciones humanas entre las personas, las cuales siempre serán importantes si se busca lograr un objetivo común, por parte de un determinado grupo de trabajo. Se debe de tomar en cuenta que el aprendizaje en equipo aumenta su efectividad en la práctica si se siguen los siguientes principios:

1. **Interdependencia positiva.** Quiere decir que todos los miembros del grupo son responsables de la tarea y el producto de la tarea.
2. **Importancia individual.** Para asegurarse de que cada miembro del grupo aprende a hacer su "Tarea". No se vale que un miembro del grupo haga "Todo" o que otro esté como "parásito".
3. **Uso apropiado de actitudes de socialización.** Para asegurarse que el grupo de aprendizaje funcione como tal, se deben estimular las siguientes actitudes:

Críticas ideas y no personas y escuchar con cuidado.

4. Monitoreo grupal. Para promover la efectividad de los miembros del grupo en la coordinación e integración de esfuerzos, el profesor debe ser un facilitador del aprendizaje de los alumnos de los grupos.

5. Asignación heterogénea de alumnos a los grupos. En la medida en que suceden las cosas arriba mencionadas, se va "asegurando" que todos los alumnos aprendan y se eduquen.⁽²⁾

CAPITULO 2

TENSIÓN SUPERFICIAL E INTERFACIAL.

TENSIÓN SUPERFICIAL.

La región tridimensional de contacto entre las fases α y β , se llama capa interfacial, capa superficial o interfase. Esta región tiene un espesor equivalente al de unas cuantas moléculas (El término interfase se refiere a la superficie geométrica aparentemente bidimensional que separa las dos fases). La figura 1 es un dibujo esquemático de una sección transversal de un sistema de dos fases con una interfase plana. Todas las moléculas situadas entre los planos VW y AB tienen el mismo entorno y forman parte de la fase α ; todas las moléculas situadas entre los planos CD y RS tienen otro entorno y forman parte de la fase β . La capa interfacial está formada por las moléculas que se encuentran entre el plano AB y el plano CD. Se estima que el espesor de esta capa es del orden de 10 a 100 Å, y depende del tamaño de las moléculas y de la naturaleza de las fuerzas intermoleculares. La capa interfacial es una región de transición entre las fases α y β y no es homogénea; por el contrario, sus propiedades varían de aquellas que son características de la fase α hasta aquellas que lo son de la fase β .

Sea A el área de la interfase entre las fases α y β . El número de moléculas en la región de la interfase es proporcional a A . Supongamos que realizamos un proceso mecánicamente reversible que incrementa el área de la interfase en dA . El aumento del número de moléculas en la interfase es proporcional a dA y, por tanto, el trabajo necesario para incrementar el área interfacial es proporcional a dA . Representemos la constante de proporcionalidad mediante $\gamma^{\alpha\beta}$ (donde los índices α y β indican que el valor de esta constante depende de las fases en contacto). El trabajo reversible que se necesita para aumentar el área interfacial es entonces $\gamma^{\alpha\beta} dA$. La cantidad $\gamma^{\alpha\beta}$ se llama tensión interfacial o tensión superficial (Cuando una de las fases es un gas se usa generalmente el término tensión superficial). Puesto que al aumentar A se requiere efectuar trabajo positivo, la cantidad $\gamma^{\alpha\beta}$ es positiva.⁽³⁾

Supongamos que se extiende una película de jabón en un bastidor de alambre que posee un lado móvil. Para aumentar el área de la película en dA , debe aplicarse una cantidad proporcional de trabajo. La energía de Gibbs de la película aumenta en γdA , donde γ es la energía de Gibbs superficial por unidad de área. El aumento en la energía de Gibbs implica que al movimiento del alambre se opone una fuerza f ; si el alambre se mueve una distancia dx , el trabajo realizado es $f dx$. Estos dos aumentos de energía son iguales, por lo que

$$f dx = \gamma dA \quad \dots(1)$$

Si l es la longitud de la parte móvil, el aumento en el área es $2(l dx)$. El factor dos se debe a que la película tiene dos caras, por tanto.

$$f dx = \gamma (2l) dx \quad \text{o bien} \quad f = 2 \gamma \quad \dots(2)$$

La longitud de la película en contacto con el alambre es l en cada cara o sea que la longitud total es $2l$.

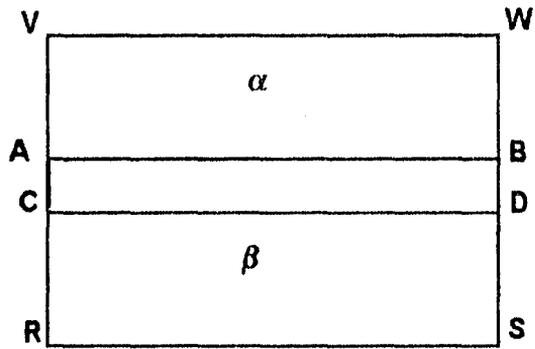


FIGURA 1. LA CAPA INTERFACIAL ENTRE DOS FASES.

La fuerza que actúa por unidad de longitud del alambre en contacto con la película es la tensión superficial del líquido, $f/2 = \gamma$. La tensión superficial actúa como una fuerza que se opone al aumento en área del líquido.⁽⁴⁾

Otra relación que involucra la tensión superficial con la curvatura de una superficie, se deriva al inflar una burbuja de jabón. Para este caso, se considerará a γ en términos de energía por unidad de área. Por su poco peso puede suponerse que, una burbuja de jabón es esférica, esto es que el campo gravitacional no afecta su forma, siendo ésta la forma de un área de superficie mínima para un determinado volumen considerado. Considérese una burbuja de jabón de radio r (figura 2). Su energía total de superficie es $4\pi r^2\gamma$, y si el radio fuera incrementado en dr , entonces el cambio en la energía de superficie sería $8\pi r\gamma dr$. Como la extensión superficial aumenta la energía de superficie, la expansión deberá ser equilibrada por una diferencia de presión ΔP a través de la película, de tal modo que el trabajo ejercido por esta diferencia de presión $\Delta P 4\pi r^2 dr$ sea justamente igual al incremento en la energía libre de superficie. Por lo tanto,⁽⁵⁾

$$\Delta P 4\pi r^2 dr = 8\pi r\gamma dr \quad \text{o} \quad \Delta P = 2\gamma / r \quad \dots (3)$$

Desde el punto de vista puramente termodinámico, la tensión superficial puede considerarse como la tendencia de un líquido a disminuir su superficie, hasta un punto en que su energía libre de superficie sea mínima, condición necesaria para que el equilibrio sea estable. Puesto que una esfera presenta un área mínima para un volumen dado, la tendencia de una partícula deberá ser la de adquirir forma esférica bajo la acción de la tensión superficial, como acontece en la realidad.⁽⁶⁾

Microscópicamente, los fenómenos de tensión superficial e interfacial se explican en términos de las fuerzas de atracción entre moléculas. Las moléculas localizadas en el interior de un líquido están, en promedio, sujetas a fuerzas de atracción iguales en todas direcciones, mientras que aquellas localizadas en una interfase aire-líquido (figura 3a) o líquido-líquido (figura 3b) experimentan fuerzas de atracción desequilibradas resultando en un tirón neto hacia el interior. Las moléculas tenderán a ir de la superficie hacia el interior del líquido. Por esta razón las gotas de líquido y las burbujas de gas tienden a adoptar una forma esférica, que es el estado de mínima energía.⁽⁷⁾

La tensión superficial γ tiene unidades de trabajo (o energía) por unidad de superficie. La unidad cgs de γ es por tanto ergios/cm², que equivale a dina/cm (puesto que 1 erg = 1 dina cm). La unidad de γ en el SI es J/m² = N/m.

$$\begin{aligned} \text{Se puede verificar que: } 1 \text{ erg/cm}^2 &= 1 \text{ dina/cm} = 10^{-3} \text{ J/m}^2 = 10^{-3} \text{ N/m} = \\ &= 1 \text{ mN/m} = 1 \text{ mJ / m}^2. \quad (3) \end{aligned}$$

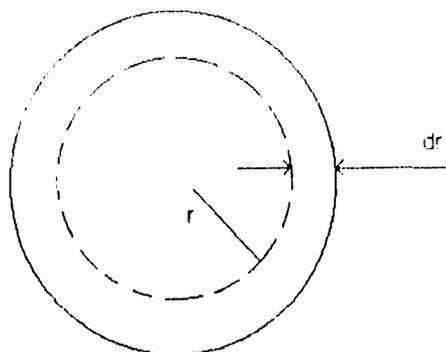
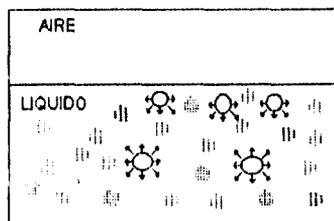
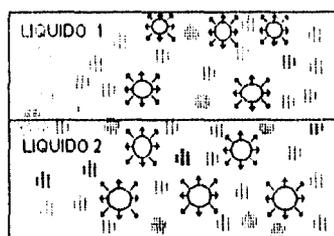


FIGURA 2. SECCION TRANSVERSAL DE UNA BURBUJA DE JABON.



(a)



(b)

FIGURA 3. FUERZAS SUPERFICIALES (a), E INTERFACIALES (b).

ENERGÍA LIBRE EN UNA INTERFASE.

Si se considera un sistema cerrado, con una composición constante, se tiene la siguiente ecuación: $q = TdS$ (4)

sustituyendo en la primera ley de la termodinámica: $dU = q + W$ (5)

y utilizando la ecuación: $W = - PdV + \gamma dA$ (6)

obtenemos: $dU = TdS - PdV + \gamma dA$ (7)

Las funciones termodinámicas comunes son:

Entalpía $H = U + PV$ (8)

Energía libre de Helmholtz $A = U - TS$ (9)

Energía libre de Gibbs $G = H - TS = U + PV - TS$ (10)

Al tomar en cuenta primero la energía libre de Helmholtz como se enuncia anteriormente. Al derivar obtenemos: $dA = dU - TdS - SdT$ (11)

Al sustituir dU: $dA = -SdT - PdV + \gamma dA$ (12)

Para sistemas donde existe una interfase la función de Gibbs no presenta el mismo comportamiento. En sistemas donde se toma en cuenta el interior de un líquido es normal considerar que el cambio en la función de Gibbs representa el trabajo total del sistema; cuando se considera un sistema donde se incluye una superficie, el planteamiento "clásico" no conduce a una simple igualdad.

Al derivar la ecuación 10 se obtiene: $dG = dU + PdV + VdP - TdS - SdT$ (13)

la cual si se sustituye da: $dG = -SdT - VdP + \gamma dA$ (14)

Para un sistema abierto de composición variable, donde μ_i y n_i son el potencial químico y el número de moles de la especie i, entonces:

$$dU = TdS - PdV + \gamma dA + \sum_i \mu_i dn_i \quad \text{.....(15)}$$

y por consecuencia se puede deducir:

$$dH = dU + PdV + VdP = -TdS + VdP + \gamma dA + \sum_i \mu_i dn_i \quad \text{.....(16)}$$

$$dA = dU - TdS - SdT = -SdT - PdV + \gamma dA + \sum_i \mu_i dn_i \quad \text{.....(17)}$$

$$dG = dH - TdS - SdT = -SdT + VdP + \gamma dA + \sum_i \mu_i dn_i \quad \text{.....(18)}$$

conocidas como ecuaciones termodinámicas de una superficie.⁽⁶⁾

EXPERIMENTOS DE TENSIÓN SUPERFICIAL.

1 - Flotación de objetos hidrofóbicos en agua. Una aguja de coser (o un broche) cuya superficie está encerada. Colocada cuidadosamente sobre la superficie del agua, forma en la superficie una pequeña depresión y permanece sobre la superficie sin hundirse, aunque su densidad sea 13 veces mayor que la del agua.^(9,10) Este fenómeno se representa en la figura 4, donde se ilustran las fuerzas que intervienen. La influencia del valor en el ángulo de contacto, determina si el objeto se hunde en el líquido o flota. Si el ángulo es mayor de 90° el objeto flota, si el ángulo es menor de 90° el objeto se hunde.

En el método del anillo se utilizan estos conceptos para obtener un valor de la fuerza presente entre el líquido y el aire (figura 5). Al intentar extraer el anillo sumergido en el líquido, se aumenta la fuerza sólido-líquido igualando la contribución de la fuerza líquido-aire y el efecto del ángulo de contacto en el sistema. Si se mide esta fuerza extra que se aplica, se obtiene el valor de la contribución de la tensión superficial y el efecto del ángulo de contacto.

2.- Manifestación de las fuerzas que actúan en una superficie. En la figura 6, un bucle de hilo está sujeto a un anillo de alambre, según se indica. Cuando el anillo y el hilo se introducen en una disolución jabonosa y posteriormente se sacan de donde están, se queda una delgada película de líquido en el anillo en la cual el hilo "flota" libremente, como se muestra en la parte (a). Si se pincha la película contenida en el interior del bucle de hilo, de forma tal que se rompe la película, el hilo toma forma circular, según se ve en (b), como si la superficie de la película que rodea al hilo radialmente se tensara hacia afuera del borde, en el sentido de las flechas que se muestran en la figura. Antes de pinchar la lámina, actuaban las mismas fuerzas, pero como había película a ambos lados del hilo, la fuerza neta ejercida por ella sobre cada porción del hilo era nula.^(9,10) Después de eliminar la película del interior del bucle queda una fuerza neta que se manifiesta en la forma circular que adopta el bucle.

3.- Estiramiento de película. Se dobla un trozo de alambre en forma de U. Entre las dos "piernas" de la U se coloca un segundo trozo de alambre, que tenga en cada extremo un pequeño anillo que le permite deslizarse. A este segundo alambre lo denominaremos el "deslizador". Ambas piernas de la U cuentan con un tope que impide que el deslizador se deslice hacia la cima de la U, pero que permite al deslizador transportarse lejos de la cima en caso de existir una fuerza que promueva dicho movimiento. Si se sumerge en una solución jabonosa el alambre en forma de U, con la parte curva apuntando hacia abajo, hasta una profundidad tal que

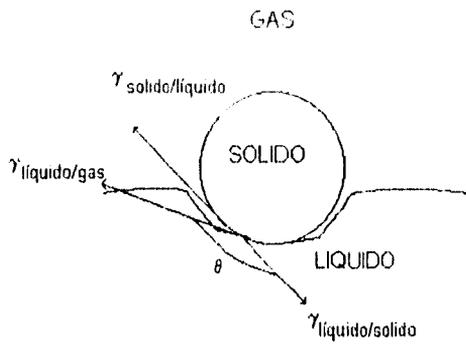


FIGURA 4 OBJETO HIDROFOBICO EN AGUA.

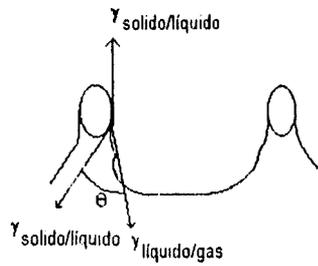


FIGURA 5. METODO DEL ANILLO.

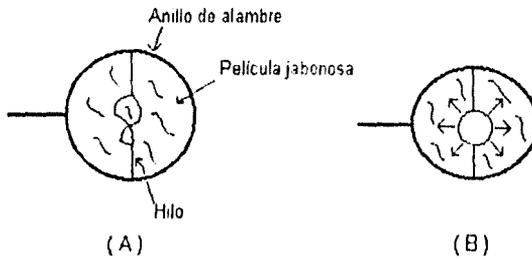


FIGURA 6 ANILLO DE ALAMBRE CON UN BUCLE FLEXIBLE DE HILO INTRODUCIDO EN UNA SOLUCION DE JABON (A) ANTES, Y (B) DESPUES DE PERFORAR LAS PELICULAS SUPERFICIALES DEL INTERIOR DEL BUCLE.

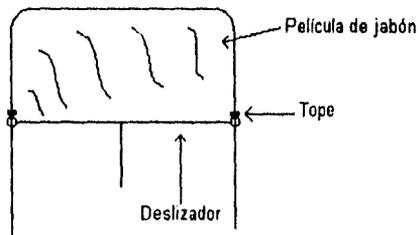


FIGURA 7. ALAMBRE EN FORMA DE U CON DESLIZADOR.

el deslizador toque la superficie de la disolución. Posteriormente se extrae el alambre y el deslizador, girándolo hasta invertir la posición de la U (figura 7). Si se tira hacia abajo el deslizador se aumenta el área de la película, las moléculas situadas inicialmente en el interior de la película del líquido se desplazan hacia las capas superficiales.^(9 10 11)

4 - Barco impulsado con jabón. Un cerillo de madera u otro objeto de material ligero que flote en el agua, puede ser impulsado por un trozo de jabón o alcanfor que se inserte en un extremo. La parte del objeto que tenga el jabón o alcanfor simulará "la popa". El movimiento se produce por efecto de la disolución del jabón o alcanfor en el agua en la parte de la popa. Al disolverse el jabón o alcanfor tiende a desplazarse horizontalmente en el agua en un sentido, provocando una reacción en el sentido contrario en el objeto que lo hace desplazarse.⁽¹²⁾

5.- Barco de alcohol. Se corta un pequeño y delgado pedazo de madera plano, en forma de barco como muestra el diseño en la figura 8. Después de esto se pega un pequeño carrete de hilo simulando el mástil. A continuación se fija al carrete un tubo capilar de vidrio que se ha estirado de uno de sus extremos y doblarlo de manera que la parte más delgada esté justo en la superficie del agua. La parte trasera del barco corresponde a "la popa" y será la región donde se coloque el tubo. Colocar un pequeño pedazo de algodón en forma de copo en la parte superior del tubo de vidrio simulando "la chimenea", el cual se impregna con alcohol mediante un gotero se coloca el barco en el agua, y se observa como se mueve hacia adelante, bajo la acción de la presión superficial que ejerce la película del alcohol al estar desbalanceada con respecto a la superficie limpia de agua que se encuentra en la parte delantera. Si ahora el recipiente que se utiliza para probar el barco es una canal, formada por un tubo de vidrio cortada longitudinalmente a la mitad, y si se hace fluir agua por la canal, entonces se podrá observar que el barco se desplace a lo largo de la canal, en virtud de que permanentemente se limpia la superficie con el agua que fluye, cuando pare el movimiento del barco toda la superficie estará contaminada con alcohol.⁽¹²⁾

6.- Formación de una superficie de revolución en forma de catenoide. Dos anillos de alambre de igual radio se sumergen juntos en una disolución jabonosa. Después de extraerlos de la solución se sopla una burbuja. Se pincha la burbuja de suerte que quede una película de jabón entre los anillos, se procede a separarlos, formándose entre los dos anillos una hermosa superficie de revolución de un catenoide.⁽¹²⁾

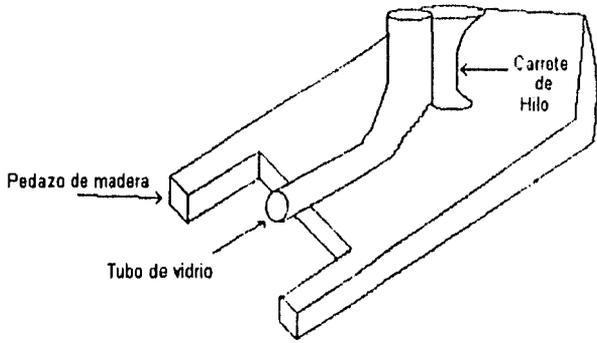


FIGURA 8. BARCO IMPULSADO MEDIANTE ALCOHOL.

7.- Visualización de la extensión de una película en la superficie del agua. Colocar sobre la superficie del agua contenida en un recipiente, polvo de licopodio, talco o corcho. Después apoye el extremo de una varilla de vidrio con una capa de grasa vegetal (o cualquier substancia que contenga grupos polares). Sobre la superficie espolvoreada del agua se notará que el polvo se mueve, como si estuviera sobre una membrana elástica. El mismo fenómeno se observa al introducir la gota de aceite vegetal en la mezcla de alcohol y agua de igual peso específico. El toque de la varilla en la superficie provoca una contracción de ésta, provocando su movimiento que se aprecia al ver como se desplaza el polvo en la superficie.⁽¹³⁾

MEDICIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL.

Existen varios métodos para medir la tensión superficial, los cuales en forma general se clasifican de la siguiente manera:

- a) Rompimiento de la superficie.
- b) Forma.

Métodos Basados en el Rompimiento de la Superficie.

- 1.- Tensiómetro de Du-Nouy.
- 2.- Placa de Wilhelmy.

Métodos Basados en la Forma.

- 1.- Presión máxima de burbuja.
- 2.- Método de volumen o pesada de gota.
- 3.- Método de la gota pendiente.
- 4.- Ascenso capilar.

ECUACIÓN DE YOUNG-LAPLACE.

Si realizamos un análisis termodinámico y tomamos como base la expresión del potencial químico de la energía libre de Helmholtz (ec. 17):

$$dA = -SdT - PdV + \gamma da + \sum_i \mu_i dn_i$$

donde A es la energía libre de Helmholtz, S la entropía, T la temperatura absoluta, P la presión, V el volumen, γ es la tensión superficial, a el área, μ_i el potencial químico y n_i el número de moles del componente i.

Si la temperatura es constante y se tiene sólo un componente la expresión anterior se escribe como:

$$dA = -PdV + \gamma da \quad \dots(19)$$

En el equilibrio la energía libre de Helmholtz es igual a cero: $dA = 0 \quad \dots(20)$

Por lo tanto: $0 = -PdV + \gamma da \quad \dots(21)$

Para dos fases, la expresión anterior toma la forma:

$$-P^A dV^A - P^B dV^B + \gamma da = 0 \quad \dots(22)$$

Las diferenciales del volumen serán iguales a: $dV = dV^A = -dV^B \quad \dots(23)$

El incremento o decremento en el volumen de una fase es igual al incremento o decremento del volumen en la otra fase.

De la ec. 22 y 23: $-P^A dV + P^B dV + \gamma da = 0 \quad \dots(24)$

o: $(-P^A + P^B) dV + \gamma da = 0 \quad \dots(25)$

dónde: $\Delta P = P^B - P^A \quad \dots(26)$

La consideración que se utiliza es que la presión de la fase A es mucho mayor que la fase B, entonces: $-\Delta P dV + \gamma da = 0 \quad \dots(27)$

Las expresiones de las diferenciales de volumen y de área para una esfera, al ser sustituidas en la ecuación anterior, obtenemos: $-\Delta P (4\pi r^2) + \gamma (8\pi r) = 0$ (28)

Al despejar la diferencia de presiones: $\Delta P = -\pi 8 r \gamma / -\pi 4 r^2$ (29)

$$\Delta P = 2 \gamma / r \quad \text{..... (30)}$$

La expresión anterior corresponde a la ecuación de Young-Laplace para una esfera.⁽¹⁴⁾

MÉTODO DE ASCENSO CAPILAR.

La ecuación (31) fué obtenida por Young y por Laplace, hacia 1805, y es la base del método del ascenso capilar, para medir la tensión superficial de interfases líquido-vapor y líquido-líquido.

$$P^{\alpha} - P^{\beta} = 2 \gamma / R \quad \text{..... (31)}$$

Según este método, se introduce un tubo capilar en el líquido, y la medida de la altura a la que asciende dentro del tubo permite calcular γ . Probablemente se habrá observado que la interfase agua-aire de una disolución acuosa en un tubo de vidrio, es curva en vez de plana.

La forma de interfase depende de las magnitudes relativas de las fuerzas de adhesión entre el líquido y el vidrio, y las fuerzas de cohesión dentro del líquido. Supongamos que el líquido forma un ángulo de contacto θ con el vidrio (figura 9). Cuando las fuerzas adhesivas superan las cohesivas, θ está en la zona $0 < \theta < 90$ (figura 9a); cuando las fuerzas cohesivas superan las adhesivas, se cumple que $90 < \theta < 180$ (figura 9b).

Supongamos que $0 < \theta < 90$. La figura 10a. muestra la situación inmediatamente después de haberse introducido un tubo capilar en un amplio recipiente con el líquido β . Los puntos 1 y 6 están a la misma altura en la fase α (que es normalmente aire o vapor del líquido β), de modo que $P_1 = P_6$. Como los puntos 2 y 5 están situados a igual distancia bajo los puntos 1 y 6 en la fase α ; $P_2 = P_5$. Los puntos 2 y 3 están muy próximos a la interfase plana fuera del tubo capilar, el 2 por encima y el 3 por debajo de ella; por tanto, $P_2 = P_3$. En consecuencia, $P_5 = P_3$. Dado que la interfase es curva en el interior del tubo capilar, sabemos, a partir de (Ec. 31), que $P_4 < P_5 = P_3$. Puesto que $P_4 < P_3$, la fase β no se encuentra en equilibrio y el líquido fluirá desde la región de presión elevada, en las cercanías del punto 3, hacia la región de baja presión en los alrededores del punto 4, ocasionando con ello el ascenso del fluido β en el interior del tubo capilar.

La condición de equilibrio se muestra en la figura 10b. En ella, $P_1 = P_6$, y puesto que los puntos 8 y 5 están situados a la misma distancia bajo los puntos 1 y 6, respectivamente, $P_8 = P_5$. También se cumple $P_3 = P_4$, puesto que la fase β está ahora en equilibrio.

Si restamos, se obtiene $P_8 - P_3 = P_5 - P_4$. Las presiones P_2 y P_3 son iguales; por tanto:

$$P_8 - P_2 = P_5 - P_4 = (P_5 - P_7) + (P_7 - P_4) \quad \text{..... (32)}$$

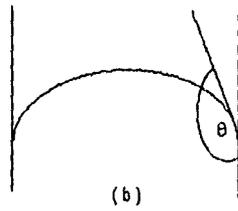
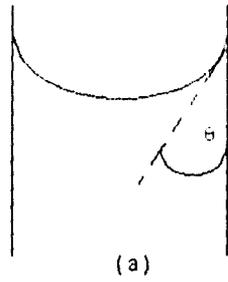
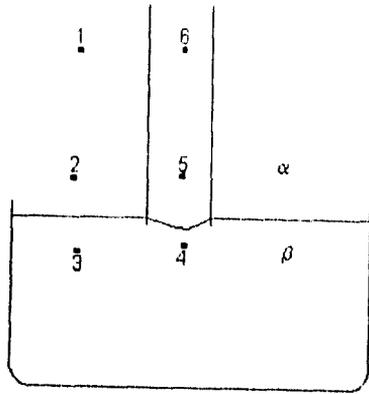
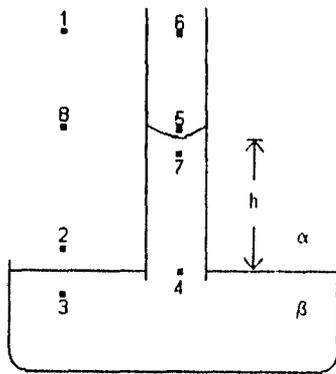


FIGURA 9. ANGULOS DE CONTACTO ENTRE UN LIQUIDO Y UN TUBO CAPILAR.



(a)



(b)

FIGURA 10. ASCENSO CAPILAR.

donde se ha sumado y restado P_7 . Si se considera que $P_2 - P_8 = \rho_a g h$ y $P_4 - P_7 = \rho_b g h$, donde ρ_a y ρ_b son las densidades de las fases α y β , y h es el ascenso capilar. Siempre que el tubo capilar sea estrecho, puede considerarse que la interfase es un segmento esférico, y la ecuación 31 conduce a $P_5 - P_7 = 2 \gamma / R$, donde R es el radio de la esfera. Sustituyendo en la ecuación se obtiene:

$$-\rho_a g h = 2\gamma / R - \rho_b g h, \quad \gamma = 1/2 (\rho_b - \rho_a) g h R \quad \dots (33)$$

Cuando las fases β y α son un líquido y un gas, el ángulo de contacto con el vidrio limpio es normalmente 0 (el Hg líquido es una excepción). (Cuando $\theta = 0$, se dice que el líquido moja completamente el vidrio). Con un ángulo de contacto igual a cero y para tubos capilares de diámetro muy reducido, la interfase es un hemisferio y el radio R se hace igual al radio r del tubo capilar (figura 11). Aquí se cumple:

$$\gamma = 1/2 (\rho_b - \rho_a) g h r \quad \text{para } \theta = 0 \quad \dots (34)$$

Para $\theta \neq 0$, podemos ver en la figura 11a que $r = R \cos \theta$; por tanto, $\gamma = 1/2 (\rho_b - \rho_a) g h r / \cos \theta$. Puesto que es difícil medir con precisión los ángulos de contacto, el método del ascenso capilar sólo es exacto cuando $\theta = 0$.⁽³⁾

MÉTODO DEL DOBLE CAPILAR PARA MEDIR LA TENSIÓN SUPERFICIAL.

Un método alternativo para determinar la tensión superficial, y que está basado en el mismo principio de ascenso en un capilar, es el de doble capilar. En este método dos tubos capilares de diferente radio interno, se introducen simultáneamente en el líquido de densidad conocida al cual se le desea determinar la tensión superficial (figura 12). La altura de líquido en cada capilar será inversamente proporcional a los radios de los capilares. De esta forma mediante la diferencia de alturas entre los dos capilares es posible calcular la tensión superficial del líquido estudiado.

Para establecer la ecuación que permite calcular la tensión superficial por este método se considera la ecuación:

$$\gamma = 1/2 \rho g h r \quad \dots (35)$$

Al introducirse dos tubos capilares de radio interno r_1 y r_2 en un líquido de tensión superficial γ y densidad ρ , la altura de líquido será h_1 en el capilar de radio r_1 y h_2 en el de radio r_2 . Al aplicar la ecuación a este sistema se tiene:

$$\text{para el capilar uno.} \quad \gamma = 1/2 \rho g h_1 r_1 \quad \text{o bien} \quad h_1 = 2 \gamma / \rho g r_1$$

$$\text{para el capilar dos.} \quad \gamma = 1/2 \rho g h_2 r_2 \quad \text{o bien} \quad h_2 = 2 \gamma / \rho g r_2$$

$$\text{Si } r_1 > r_2 \quad \text{entonces} \quad h_1 < h_2$$

$$\text{por lo tanto: } \Delta h = h_2 - h_1 = (2 \gamma / \rho g r_2) - (2 \gamma / \rho g r_1) = 2 \gamma / \rho g (1/r_2 - 1/r_1)$$

$$\text{reordenando esta ecuación.} \quad 2 \gamma / \rho g = \Delta h / (1/r_2 - 1/r_1)$$

$$\text{o bien:} \quad \gamma = 1/2 \Delta h \rho g (r_2 r_1 / (r_1 - r_2)) \quad \dots (36)$$

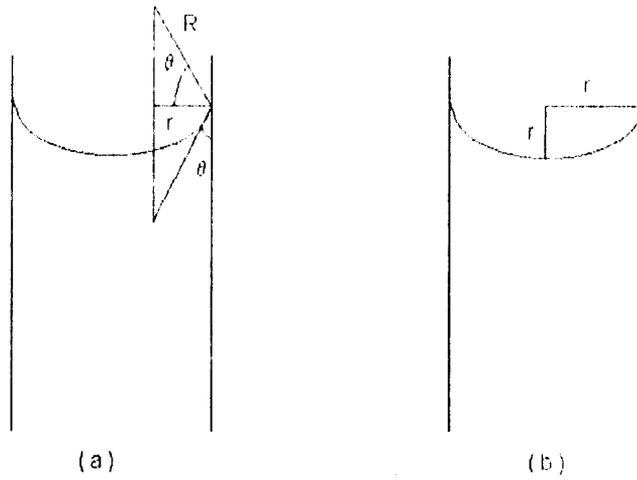


FIGURA 11. ANGULOS DE CONTACTO. (a) $\theta \neq 0$ (b) $\theta = 0$

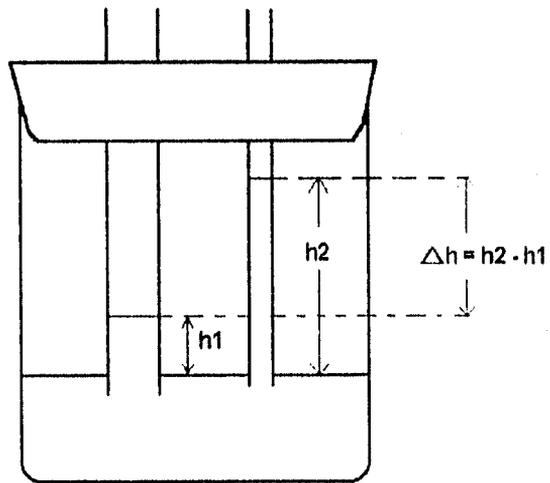


FIGURA 12 EQUIPO DE DOBLE CAPILAR.

Que es una ecuación aplicable si θ es aproximadamente igual a cero y la densidad del aire es despreciable respecto a la del líquido. Con esta ecuación es posible determinar la tensión superficial de un líquido midiendo la diferencia de altura que se da entre los dos capilares si se conoce el resto de los parámetros considerados en la ecuación. La medición de los radios capilares puede evitarse si se considera el término.

$$K = (g/2)(r_2 r_1 / (r_1 - r_2))$$

es igual a una constante característica del aparato y puede evaluarse con un líquido de referencia de tensión superficial y densidad conocida midiendo la diferencia de altura que se da entre ambos capilares; esto es:

$$\gamma = 1/2 \Delta h \rho g (r_2 r_1 / (r_1 - r_2)) = K \rho \Delta h$$

$$\text{o bien } K = \gamma / \rho \Delta h \quad \dots (37)$$

La constante así obtenida es propia del aparato y puede emplearse para la determinación de la tensión superficial de otros líquidos.⁽¹⁵⁾

CORRECCIÓN PARA EL MÉTODO DE ASCENSO CAPILAR.

Cuando el radio del tubo es apreciable, la ecuación:

$$\gamma \cos \theta = 1/2 g r h \Delta \rho \quad \dots (38)$$

Donde:

θ = Es el ángulo de contacto.

g = Es la aceleración de la gravedad (cm/s²).

r = Radio del tubo (cm).

h = La altura de la columna de líquido (cm).

$\Delta \rho$ = La diferencia de densidades, entre la del líquido que asciende en el tubo y el fluido circundante. (g/cm³).

requiere corrección por que el menisco deja de ser esférico. Si llamamos b al radio de curvatura del punto más bajo del menisco, pues en este punto los dos radios serán iguales, ya que el tubo es cilíndrico y el punto más bajo está en el eje de revolución, la presión inmediatamente bajo el centro del menisco es menor que bajo la superficie exterior justamente por $2 \gamma / b$, de modo que la altura a que asciende el punto más bajo del menisco es:

$$h = 2 \gamma / b g \Delta \rho \quad \dots (39)$$

Puede verse que $bh = \alpha^2 =$ constante capilar.

Estas ecuaciones son exactas para cualquier tamaño del tubo, pero dada la dificultad de medición de b sólo pueden usarse cuando se obtiene una relación entre b y r . La relación puede obtenerse por la ecuación fundamental de Laplace, pero esta ecuación no puede resolverse en términos finitos, por lo que se han obtenido sólo soluciones aproximadas.⁽¹⁶⁾

Sugden construyó una tabla para hallar la correspondencia entre los valores.⁽⁶⁾ El uso de las tablas de Sugden es muy sencillo. Se busca una primera aproximación de α por el supuesto de que la altura de ascenso del líquido estará dada por la fórmula aproximada $r/h = \alpha^2$ y se busca entonces el valor de r/b correspondiente a este valor de r/a . De este modo se halla b

y se obtienen una segunda aproximación de los valores r/h y b , por lectura de las tablas. y se repite el proceso hasta obtener un valor constante de α que será el verdadero valor. La tensión superficial se obtiene entonces por la ecuación:

$$2 \gamma / g \Delta \rho = r h = \alpha^2 \quad \dots (40)$$

Con valores de r/α hasta 2.2 (tubos de 5 mm a 8 mm de radio).⁽¹³⁾

MÉTODO DEL ANILLO.

El fundamento del método del anillo es determinar la fuerza necesaria para romper la película líquida, es decir la fuerza que se requiere para separar el anillo de la superficie líquida.⁽¹⁷⁾

El dispositivo del anillo (llamado tensiómetro Du Noüy) mostrado en la figura 13,⁽⁴⁾ es en realidad una balanza de torsión y su precisión depende de la torsión de un alambre denominado alambre de torsión. La torsión que pueda tener este alambre se lee en una carátula graduada como vernier con un intervalo de 0.1 a 90 dinas/cm.⁽¹⁸⁾

El tensiómetro es colocado en un lugar libre de movimientos externos y en posición horizontal utilizando un nivel en la palanca o superficie donde se coloca el líquido a medir, ajustando con los tornillos de las patas del tensiómetro. Una vez realizado esto se puede colocar el anillo, el cual debe ser completamente circular es decir sin deformaciones. En cuanto a la limpieza del anillo, se realiza con un disolvente (acetona) y después es lavado con agua destilada, en seguida se calienta al rojo vivo para ser nuevamente usado.⁽¹⁴⁾

Algunas recomendaciones y precauciones antes de comenzar la calibración del aparato son las siguientes:

- 1.- Nunca se debe de mover la palanca que controla el brazo de torsión sin el anillo, puede provocar la ruptura del alambre por exceso de torsión.
- 2.- Si la aguja que indica la posición del brazo se encuentra por encima de la marca de equilibrio (cuando el anillo se encuentra en el brazo del tensiómetro), se debe proceder a quitar la tensión hasta que la aguja coincida con la marca de equilibrio.

Para calibrar el equipo se coloca el anillo en el brazo del tensiómetro y a continuación se hace girar el brazo, hasta que la aguja que indica la posición del brazo coincida con la marca de equilibrio. Logrando esto se fija la escala en el cero. Para verificar que la posición es correcta se coloca un peso conocido m (de 500 a 800 mg) sobre el anillo y la lectura que indique el tensiómetro p (dinas/cm) debe coincidir, con la lectura que se obtenga mediante la siguiente ecuación:

$$m = 2 p L / g \quad \dots (41)$$

Donde:

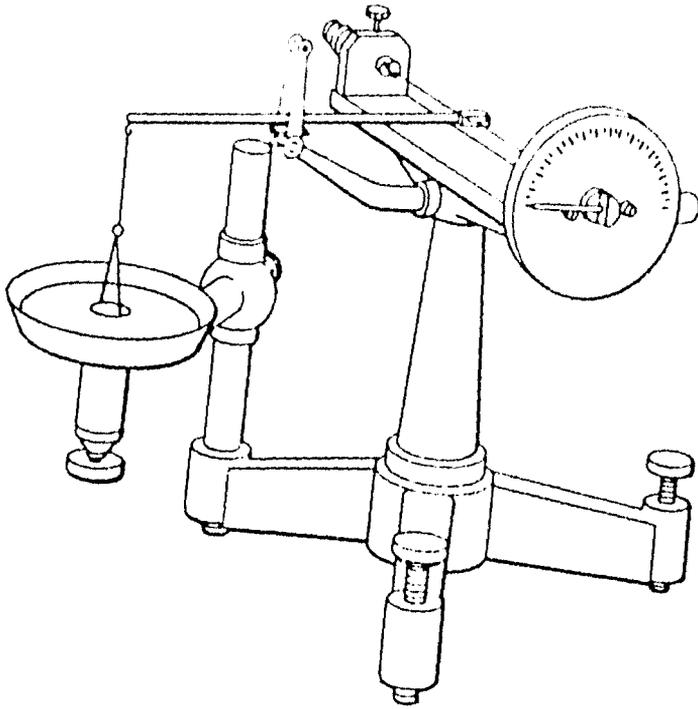


FIGURA 13. TENSÍOMETRO DE DU NOÛY.

g = Es el valor de la gravedad (cm/seg^2)

L = Es el valor de la circunferencia media del anillo empleado (dato proporcionado por el fabricante) (cm).

En caso de que los valores no sean los mismos se procede a mover la carátula lo necesario para que las lecturas coincidan, el procedimiento se repite hasta que el valor de m calculado con la ecuación sea el mismo que el adicionado sobre el anillo.⁽¹⁸⁾

Para realizar la medición, se coloca el anillo en el brazo y se levanta el líquido a estudiar sobre la plataforma hasta que el anillo se sumerge y el brazo se nivela (para el ajuste a cero del alambre de torsión). Se tira del anillo lentamente girando el alambre de torsión y al mismo tiempo se baja la altura de la plataforma de manera que el brazo se mantiene nivelado. Cuando el anillo se ha liberado, se toma la lectura en la escala de torsión.⁽⁴⁾

CORRECCIÓN DEL METODO DEL ANILLO.

Las lecturas realizadas con el tensiómetro, son valores de "tensión superficial aparente" esto se explica por que al jalar del anillo en cada determinación, éste lleva cierta cantidad de materia de la muestra, en realidad se mide el tiro máximo (p). Es por ello que se recurre al método de corrección de Harkins y Jordan,⁽¹⁹⁾ el cuál se basa en utilizar un factor que depende del tamaño del anillo y del volumen del líquido levantado. La cantidad de muestra levantada por el anillo depende de:

R = Radio del anillo medido desde el centro del anillo hasta el centro del alambre (cm).

r = Radio del alambre (cm).

ρ = Densidad del líquido levantado (g/cm^3).

Los datos del anillo utilizados son:

ϕ = Circunferencia media del anillo (cm).

R/r = Relación de radios.

El procedimiento consiste en encontrar el factor de corrección γ/p para cada determinación con el cual se obtiene la tensión superficial corregida. Se utilizan las siguientes ecuaciones para la determinación del factor de corrección:

$$R = \phi / 2 \pi \quad \dots(42)$$

$$P = 4 \pi R \rho \quad \dots(43)$$

$$M = P / g \quad \dots(44)$$

$$V = M / \rho \quad \dots(45)$$

$$R^3 / V \dots (46)$$

Donde:

P = Tiro total del anillo (dinas).

p = Tiro máximo (dinas / cm).

M = Peso del líquido levantado (gr).

g = Aceleración de la gravedad (cm / s²).

V = Volumen del líquido levantado (cm³).

Con el valor de R^3 / V y R / r se encuentra el factor de corrección en la tablas correspondientes, el cual se sustituye en la siguiente ecuación.

$$\gamma = p \times F \dots (47)$$

Donde:

F = Factor de corrección de las tablas de Harkins y Jordan.

γ = Tensión superficial corregida (dinas / cm).

TENSIÓN INTERFACIAL.

Para diferenciar la tensión superficial (interfase líquido-gas) de la tensión interfacial (interfase líquido-líquido) designaremos la primera por γ_0 y la segunda por γ_i ; si se pone una gota de agua en contacto con un aceite, un hidrocarburo u otro líquido orgánico, la interfase tiene tendencia a contraerse. Esta fuerza como antes se dijo, se representa como γ_i , y se expresa en dinas/cm, al igual que γ_0 .⁽²⁰⁾

Los valores de tensión interfacial, dependen de la distancia de la solución a su temperatura crítica de solubilidad o, en otras palabras, de la miscibilidad de los líquidos. Esto supone la existencia de un estado de equilibrio donde los líquidos están mutuamente saturados. Así, la tensión interfacial de dos líquidos puros parcialmente solubles, puestos en contacto, varía rápidamente con el tiempo del proceso de mutua saturación.

Para obtener valores de tensión interfacial estables, se debe alcanzar antes la saturación, es decir el equilibrio.⁽²¹⁾ La tabla 1 muestra valores de las tensiones interfaciales entre el agua y aquellos líquidos que son casi completamente miscibles en agua (por ejemplo, el alcohol n-butílico), tienen valores muy bajos.⁽⁴⁾

En el caso de un líquido orgánico polar de cadena de hidrocarburo relativamente corta, γ_i es pequeña; por ejemplo, para butanol y agua, γ_i es sólo de 1.8 dinas/cm, valor característico de líquidos orgánicos con grupos polares, en contacto con agua.

Ello muestra que las moléculas del líquido orgánico, butanol en este ejemplo ($\gamma_0=24$ dinas/cm), han de concentrarse en la interfase, en la cual la repulsión entre las moléculas acumuladas y las orientadas compensa la tendencia a la contracción de la interfase (figura 14). La acumulación en la interfase se debe a que las cabezas (polares) OH⁻ del butanol pueden escapar hacia el agua, mientras las colas (cadena de hidrocarburo) quedan en la fase butanol.

Análogamente, para $C_6H_5NO_2$ en contacto con agua, $\gamma_i= 25.1$ dinas/cm, mientras γ_0 de $C_6H_5NO_2= 43.9$ dinas/cm. La diferencia indica considerable orientación de las moléculas polares en la interfase. En cambio, para hidrocarburos, γ_i es aproximadamente 50 dinas/cm, valor mucho más alto que el de γ_0 en la mayor parte de los hidrocarburos, para los que γ_0 está aproximadamente entre 22 y 25 dinas/cm. Esta diferencia entre la tensión interfacial (líquido-líquido) y la tensión superficial (líquido-vapor o líquido-aire, en que la diferencia es pequeña) permite ver que la tensión superficial de un líquido está determinada fundamentalmente por la segunda fase en contacto con él, y es muy diferente si ésta segunda fase es otro líquido.

Aunque para el estudio de γ_i son útiles los métodos estáticos (por ejemplo, ascenso en capilares), para conocer bien la naturaleza de la interfase son más útiles métodos dinámicos, como el de la presión máxima de burbuja, pues γ_i cambia con el tiempo en muchos sistemas.

(20)

Tabla 1. Tensión interfacial entre el agua (α) y varios líquidos (β) a 20° C

Líquido	$\gamma^{\alpha\beta}$ (10^{-3} N / m)
Hg	375
n- C ₈ H ₁₄	51.1
n- C ₇ H ₁₆	50.2
n- C ₈ H ₁₈	50.8
C ₈ H ₈	35.0
C ₈ H ₅ CHO	15.5
C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅	10.7
n- C ₈ H ₁₇ OH	8.5
C ₈ H ₁₃ COOH	7.0
CH ₃ COOC ₂ H ₅	6.8
n- C ₄ H ₉ OH	1.8

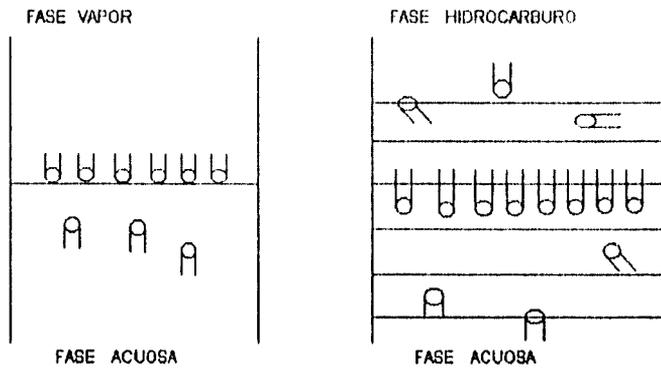
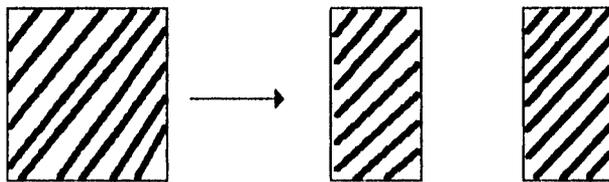
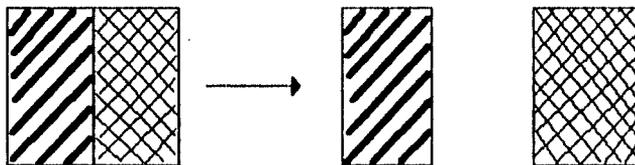


FIGURA 14 UNA MOLÉCULA CON UN GRUPO POLAR SE ORIENTA HACIA LA SUPERFICIE DEL AGUA, CON LOS GRUPOS POLARES ANCLADOS EN ELLA. UN LÍQUIDO NO POLAR SE ORIENTA EN CAPA COMPACTA.



(a) Trabajo de cohesión.



(b) Trabajo de adhesión.

FIGURA 15. ILUSTRACION ESQUEMATICA DEL TRABAJO DE COHESION Y ADHESION.

La zona interfacial (intercara) entre dos líquidos inmiscibles mutuamente saturados se contrae debido a la tensión interfacial. En principio, esta tensión interfacial puede medirse por todos los métodos que se emplean para medir la tensión superficial. Sin embargo, como las tensiones interfaciales son más sensibles aun a las impurezas que las tensiones superficiales, dichas mediciones son más difíciles de hacer.⁽²²⁾

TRABAJO DE COHESIÓN Y ADHESIÓN.

El trabajo de cohesión, W_c , se define como el trabajo reversible requerido para separar de un material con una tensión superficial γ_0 , en dos superficies de área unitaria (figura 15a). Ya que el proceso envuelve la creación de dos áreas unitarias de superficie reciente, y debido a que el trabajo requerido para este proceso es la tensión superficial, el trabajo de cohesión es simplemente.

$$W_c = 2 \gamma_0 \quad \dots (48)$$

Debe de recordarse que W_c es una función termodinámica reversible y representa una cantidad mínima de trabajo para llevar a cabo el proceso. El trabajo adicional puede ser empleado asociándolo a un proceso irreversible tal como la generación de calor.

Relacionado con W_c , se encuentra el trabajo de adhesión, $W_{a(12)}$, definido como el trabajo reversible requerido para separar un área unitaria de la interfase entre dos fases o materiales diferentes (1 y 2) para dejar dos superficies "descubiertas" de área unitaria (figura 15b).

El trabajo es dado por:

$$W_{a(12)} = \gamma_{01} + \gamma_{02} \cdot \gamma_{112} \quad \dots (49)$$

donde los subíndices se refieren a las dos fases existentes separadas, y las γ 's son las respectivas tensiones superficiales o interfaciales.⁽²³⁾

EXPERIMENTOS DE TENSIÓN INTERFACIAL.

Demostración A: Gotas de tetracloruro de carbono en una superficie de agua.

Colocar una caja petri sobre la platina de un proyector. Llenar con agua destilada la caja hasta cubrir tres cuartas partes de su capacidad. Colocar pequeñas gotas de tetracloruro de carbono en el agua. Se debe de tener cuidado de no penetrar la superficie del agua. Posiblemente al inicio no resulte la formación de gotas de tetracloruro de carbono dentro del agua (es decir, que éstas tenderán a extenderse). Sin embargo, al añadir más gotas de tetracloruro de carbono, pronto se forma una solución saturada y se encontrará el sistema listo para observar gotas. Ahora se colocan dos gotas de tetracloruro de carbono cercanamente una de la otra (separadas a 1.0 cm aproximadamente), y observar sus movimientos. Como las gotas

de tetracloruro de carbono se evaporan, se pueden agregar gotas adicionales para continuar con la observación. La diferencia del índice de refracción de los dos líquidos hace el fenómeno fácil de observar en el proyector.

Las gotas se mueven una hacia la otra y forman una gota grande después de hacer contacto, ésta observación es el resultado de la orientación preferencial de las moléculas de agua en la superficie, al inducir un dipolo en las gotas de tetracloruro de carbono, el cual es no polar pero polarizable. Al polarizar las gotas se atraen una a otra.

Demostración B: Gotas de tetracloruro de carbono en agua en presencia de un campo eléctrico que no es uniforme.

Con el equipo usado en la demostración A, es decir, una caja petri llena hasta tres cuartas partes de su capacidad con agua, coloque una sola gota de tetracloruro de carbono sobre la superficie del agua, nuevamente se debe cuidar el no atravesar la superficie del agua. Lo siguiente es crear una carga negativa en una varilla de caucho dura mediante el frotamiento de una piel de gato y después se coloca el final de la varilla adyacente a la gotita de tetracloruro de carbono. Observe el movimiento de la gota. Continúe manteniendo la varilla cerca de la gota siguiendo su movimiento (un peine que se pase a través del cabello humano puede ser utilizado en lugar de la varilla de caucho dura y la piel de gato). Repetir el procedimiento con una varilla con carga positiva, es decir, una varilla de vidrio que ha sido previamente frotada con una tela de seda. Con ambas varillas cargadas intente forzar a la gota a que toque un lado de la caja petri. El efecto de las varillas con carga positiva y negativa se observa mejor bajo condiciones de baja humedad.

Las gotas de tetracloruro de carbono son repelidas por ambas varillas cargadas. Además ninguna de las varillas cargadas puede forzar a que la gota toque la pared de la caja petri, el campo eléctrico generado por la carga negativa de la barra provoca que las moléculas polares del agua se alineen, tal que los átomos positivos de hidrógeno de las moléculas de agua son atraídos a la barra, y los átomos negativos de oxígeno son repelidos por la barra.

Demostración C: Gotas de agua en una superficie de tetracloruro de carbono.

Colocar una caja petri en la platina de un proyector que ha sido colocado dentro de una campana, vaciar tetracloruro de carbono dentro de la caja hasta tres cuartas partes de su capacidad aproximadamente. Colocar dos gotas de agua destilada en la superficie del tetracloruro de carbono, cercanas al centro de la caja petri separadas 1-2 cm aproximadamente, y observe sus movimientos. Si las gotas son colocadas cercanas a la pared de la caja petri, estas serán atraídas hacia la pared de la caja. Lo siguiente es repetir la demostración B.

manteniendo las varillas con carga positiva y negativa cerca de una gota de agua y observar los movimientos.

Las dos gotas de agua se atraen una a la otra, y poco después de chocar forman una gota, pero no inmediatamente. Debido a que las dos gotas de agua son polares, tienden a la mutua atracción en forma natural.

Demostración D: Alambres de cobre sobre una superficie de agua.

Colocar una caja petri en la platina de un proyector. Vaciar agua destilada dentro de la caja hasta que se llenen tres cuartas partes de ésta. Con unas tenazas colocar cuidadosamente dos piezas rectas de 1.0 cm de alambre de cobre (de 0.02 pulg. de diámetro) sobre la superficie del agua en el centro de la caja petri separados aproximadamente 1.0 cm. Si el alambre de cobre no es colocado horizontalmente sobre el agua, este se hundirá. Observe el movimiento de los dos alambres. Repetir el procedimiento moviendo cuidadosamente los dos alambres a diferentes posiciones. Después con un solo alambre de cobre colocado en la superficie del agua repetir la demostración B con las varillas que se encuentran cargadas positiva y negativamente.

Las puntas de los extremos de los dos alambres son atraídos o repelidos. La orientación de las moléculas de agua inducen un dipolo en cada alambre de cobre, la orientación de los dos alambres determina si estos se atraen o se repelen.

Demostración E: Gotas de 1-octanol sobre la superficie del agua.

Colocar una caja petri en la platina de un proyector. Llenar la caja con agua destilada tibia hasta alcanzar tres cuartas partes de su capacidad aproximadamente. Colocar varias gotas de 1-octanol en la superficie del agua, y observar el movimiento de las gotas de octanol. El agua tibia resalta la rapidez de movimiento de las gotas. A continuación sostenga la punta de una varilla cargada negativamente cerca de las gotas.⁽²⁴⁾

Las gotas de alcohol se mueven aleatoriamente sobre la superficie del agua rechazándose unas a otras. Las gotas en presencia de la carga negativa de la barra son atraídas por ésta, pero siguen repelliéndose entre sí. La parte final de la molécula de alcohol es atraída a la superficie polar del agua, mientras que las gotas son atraídas a la carga negativa de la barra, con esto se corrobora la carga positiva de la superficie asignada a la gota.

Demostración F: Demostración de la tensión interfacial.

La tensión interfacial o la energía entre agua y un líquido inmiscible puede ser mostrada por el movimiento de las partículas de alcanfor flotando sobre la interfase, similarmente al experimento muy conocido de colocar alcanfor sobre agua en contacto con aire. El experimento se hace más espectacular si se utilizan partículas de ácido fenilacético ($C_6H_5CH_2COOH$), en

virtud de que éstas no se disuelven rápidamente. En una caja de cristalización (3 pulg. x 6 pulg.), cuyo fondo esta pintado de negro por el exterior, se vierte agua y se cubre con una capa delgada de n-heptano. Se ilumina la caja por un lado y se agregan cristales de ácido fenilacético, y se observa el movimiento. Otros líquidos pueden ser utilizados, como por ejemplo, eter de petróleo, tolueno, y tetracloruro de carbono. Para el éxito de este experimento, no es necesario la limpieza extrema, a pesar de que la presencia de tensoactivos puede conducir a que el movimiento se detengan repentinamente.⁽²⁵⁾

El movimiento de la partícula se debe a que la disolución no es uniforme, y que al originarse una resultante neta de presión superficial movera la gota en sentido contrario.

MEDICIÓN DE LA TENSIÓN INTERFACIAL.

Los métodos utilizados para determinar la tensión interfacial, que también son empleados para medir la tensión superficial, se clasifican en estáticos, semiestáticos y dinámicos.⁽⁷⁾

- Métodos Estáticos.

- a) Método del ascenso capilar
- b) Método de gota pendiente.
- c) Método de gota en reposo.
- d) Método de dispersión luminosa.

- Métodos Semiestáticos.

- a) Método del peso o volumen de una gota.
- b) Método del anillo.
- c) Método de presión máxima en una gota.

- Métodos dinámicos.

- a) Método de las ondas capilares.
- b) Método del chorro oscilante.
- c) Método de las gotas oscilantes.

MÉTODO DEL PESO DE LA GOTA.

Este es tal vez el método más conveniente para medir en el laboratorio la tensión superficial de una interfase líquido-aire o de una interfase líquido-líquido. Como se ilustra (figura 16), el procedimiento consiste en formar gotas de líquido al final de un tubo, permitiendo la caída de las gotas dentro de un recipiente hasta que se tengan suficientes gotas recolectadas, de manera que el peso por gota pueda ser determinado fielmente. El método es muy antiguo, fue elaborado por Tate en 1864, dando una simple expresión para el peso (W) de una gota, la cual se conoce como la ley de Tate.

$$W = 2\pi r\gamma \quad \dots(50)$$

La ecuación 50 se entiende en términos, de la fuerza máxima disponible para sostener el peso de la gota que es dada por la fuerza de tensión superficial, que actúa en todo el perímetro de la boquilla, en el lugar en que se forma la interfase vidrio, aire y líquido.

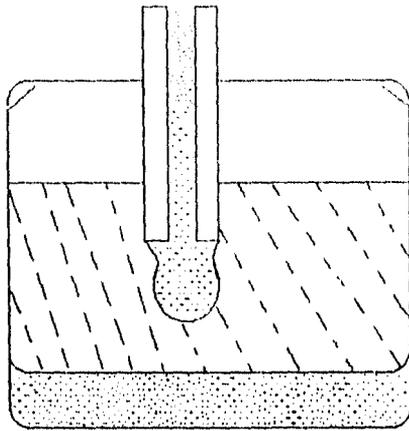


FIGURA 16. METODO DE PESO DE UNA GOTTA PARA DETERMINAR TENSIONES INTERFACIALES.

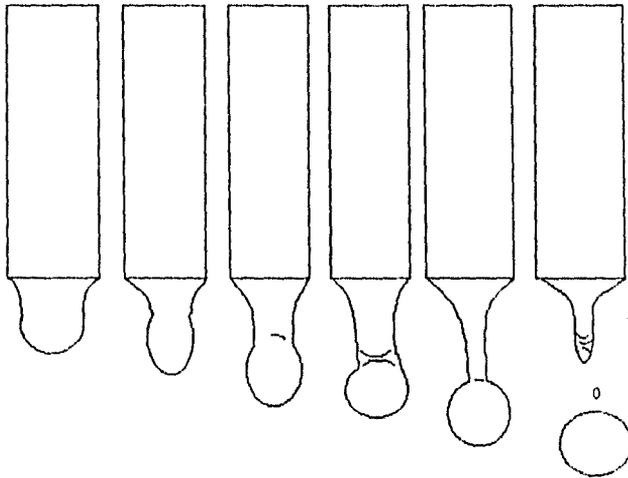


FIGURA 17. CAIDA DE UNA GOTTA.

CORRECCIÓN PARA EL MÉTODO DEL PESO DE LA GOTA.

En la práctica, se obtiene en realidad un peso W' , el cual es menor que el valor "ideal" de W . Este fenómeno tiene explicación cuando se observa el proceso de formación de la gota detenidamente. Lo que realmente sucede se ilustra en la figura 17. Solo una porción de la gota se desprende y cae de la boquilla. El 40% del líquido suele quedar unido en la boquilla. Para corregir este error, el procedimiento que se sigue generalmente es el de aplicar un factor de corrección f en la ecuación 50, de manera que W' quede dada por:

$$W' = 2\pi r \gamma f \quad \dots(51)$$

Harkins y Brown concluyeron que f puede ser función de la relación adimensional r/a o, alternativamente, $r / V^{1/3}$, donde V es el volumen de la gota. Esto ha sido verificado experimentalmente determinando el peso de la gota para agua y para benceno, utilizando tubos de diferente radio. Conociendo los valores de γ por mediciones efectuadas con el método de ascenso capilar, y por consiguiente los respectivos valores de a , los valores de f pueden ser determinados en cada caso. La variación resultante de f contra $r / V^{1/3}$ es tabulada en la tabla 2. Es recomendable la utilización de valores $r / V^{1/3}$ en la región de 0.6 a 1.2, donde el valor de f no presenta una gran variación. La tabla se utiliza como sigue. Para el valor experimental de m la masa por gota, el volumen por gota V es determinado, y el valor correcto para la tensión superficial esta dado por:

$$\gamma = m g / 2 \pi r f \quad \dots(52)$$

Es obvio que la corrección es sencilla, pero ésta depende de la naturaleza del líquido y no del diametro de la boquilla. De esta manera es incorrecto el asumir que el peso de la gota para dos líquidos resulta en una relación de las respectivas tensiones superficiales cuando se utiliza un tubo con la punta del mismo tamaño. Finalmente, los factores de corrección para $r / V^{1/3} < 0.3$ han sido determinados, utilizando gotas de mercurio. Una precaución importante que se debe tomar para el empleo de este método, es el utilizar fundamentalmente un tubo con punta pulida y que esté libre de cualquier muesca. El método de la gota, por supuesto, puede ser utilizado para la determinación de las tensiones interfaciales líquido-líquido. En este caso, las gotas de un líquido son formadas dentro del cuerpo del segundo. Las mismas ecuaciones son aplicadas, a pesar de que debe recordarse que W' y m ahora se refieren al peso y la masa de la gota menos el líquido desplazado. Sin embargo, la validez total de la tabla 2 no a sido establecida con exactitud si ambos fluidos son viscosos.⁽⁵⁾

TABLA 2. FACTORES DE CORRECCION PARA EL METODO DEL PESO DE LA GOTA.

$r / V^{1/3}$	f
0.00	1.0000
0.30	0.7256
0.35	0.7011
0.40	0.6828
0.45	0.6669
0.50	0.6515
0.55	0.6362
0.60	0.6250
0.65	0.6171
0.70	0.6093
0.75	0.6032
0.80	0.6000
0.85	0.5992
0.90	0.5998
0.95	0.6034
1.00	0.6098
1.05	0.6179
1.10	0.6280
1.15	0.6407
1.20	0.6535

$r / V^{1/3}$	f^a
1.225	0.658
1.25	0.652
1.30	0.640
1.35	0.623
1.40	0.603
1.45	0.583
1.50	0.567
1.55	0.551
1.60	0.535

^a Los valores de f en esta columna son menos precisos que los otros.

MÉTODO DEL NÚMERO DE GOTAS.

La tensión superficial relativa de un líquido puede ser determinada, con la ayuda de un estalagmómetro. Esta es una sencilla modificación del método del peso de la gota, y menos precisa. La forma de efectuar la medida consiste en contar el número de gotas formadas cuando un volumen definido de líquido se deja fluir lentamente por un tubo capilar. La relación del peso, W , de una gota del líquido problema y, W_0 , del peso de una gota de un líquido que sirve de referencia (que cae del mismo tubo capilar) es igual a la relación de sus tensiones superficiales.

$$W / W_0 = \gamma / \gamma_0 \quad \dots(53)$$

Si V es el volumen del líquido en el estalagmómetro, ρ la densidad, y n_1 el número de gotas, donde el peso, W_1 , de una sola gota está dado por la siguiente ecuación:

$$W_1 = V \rho_1 / n_1 \quad \dots(54)$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores se obtiene

$$\gamma = \gamma_0 (n_0 \rho / n \rho_0) \quad \dots(55)$$

Donde el subíndice 0, corresponde a la sustancia de referencia. Para determinar la tensión superficial de un líquido por este método, es necesario conocer el número de gotas, la densidad del líquido problema y de la sustancia de referencia, además de la tensión superficial de ésta. Por supuesto que todos estos datos deberán ser medidos a la misma temperatura.⁽²⁶⁾

CAPITULO 3

TENSOACTIVOS

AGENTES DE SUPERFICIE ACTIVA (SURFACTANTES)

A lo largo del extenso espectro de temas relacionados con las superficies y coloides, hay uno que se refiere a las especies químicas que tienen una propensión especial a localizarse (o sea, adsorberse) en la interfase, o para formar agregados coloidales en solución en concentraciones molares muy bajas. A tales materiales se les ha dado el nombre general de agentes de superficie activa o tensoactivos (surfactantes).

Las sustancias de superficie activa poseen una estructura química característica que consiste de: (1) grupo polar o hidrófilo (a fin al agua) y (2) grupo hidrocarbonado o hidrófobo que tiene poca afinidad por el agua (figura 18). El término hidrófobo será frecuentemente empleado, en lugar de "lífobo" que es más común; análogamente, el término hidrófilo puede ser empleado en lugar de "líofilo". Se debe tener siempre esto en mente, sin embargo, esta generalidad es empleada en la mayoría de las discusiones, incluso cuando el término se aplica específicamente a sistemas base agua.

Entre los materiales que poseen importantes grupos químicos que afectan la superficie, se mencionan generalmente a los anfífilicos (preferencia por ambos), indicando que estos presentan cierta afinidad por las dos fases que son esencialmente inmiscibles. Cuando una sustancia es disuelta en un disolvente (sea agua o un líquido orgánico) exhibiendo características de tensoactivo, la presencia del grupo lífobo causa un cambio de la estructura líquida, dando un incremento en la energía libre global del sistema. En una solución acuosa de tensoactivo, por ejemplo, tal cambio (en este caso ordenada) de la estructura del agua por el grupo hidrófobo decrece en conjunto con la entropía del sistema. Esta entropía es recuperada cuando las moléculas del tensoactivo son transportadas a la superficie o interfase y la asociación de las moléculas de agua liberada. El tensoactivo por lo tanto será adsorbido preferencialmente en la interfase donde puede ocurrir algún otro proceso para reducir la energía del sistema (la formación de micelas).

Puesto que se requiere menor trabajo relativamente para atraer las moléculas de tensoactivo hacia la interfase que para atraer a las moléculas del solvente, la presencia del tensoactivo decrece el trabajo requerido para incrementar el área interfacial. La estructura anfífilica de las moléculas de tensoactivo no solo resulta en la adsorción de moléculas de tensoactivo en la interfase y la consecuente alteración de las energías interfaciales correspondientes, pero también resulta en la orientación de las moléculas adsorbidas tal que el grupo lífobo queda fuera directamente del bulo del solvente (figura 19). El resultado de la orientación molecular produce algunos de los más importantes efectos macroscópicos observados por los compuestos de superficie activa.

Las estructuras químicas de los tensoactivos tienen propiedades adecuadas para variar la solubilidad de acuerdo a la naturaleza del solvente y el sistema donde será disuelto y las

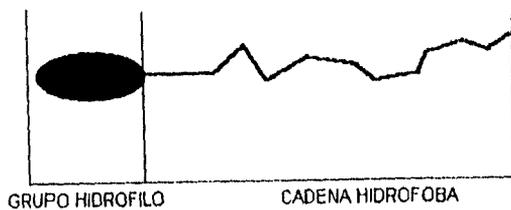


FIGURA 18. ESTRUCTURA MOLECULAR BASICA DE UN MATERIAL CON ACTIVIDAD SUPERFICIAL.

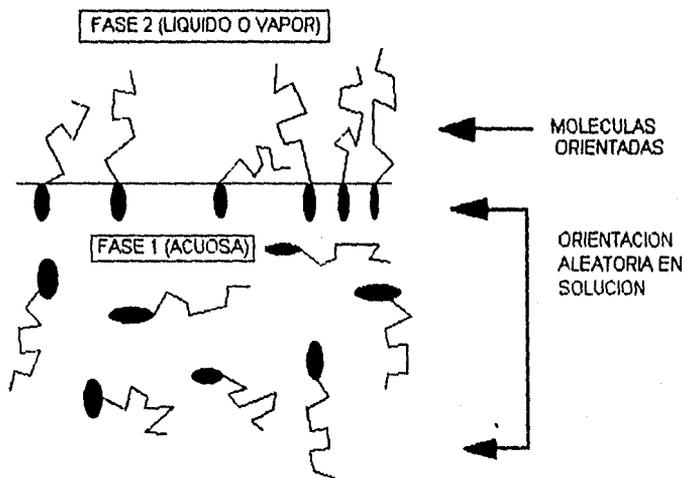


FIGURA 19. ILUSTRACION ESQUEMATICA DE LA ORIENTACION PREFERENCIAL DE LAS MOLECULAS DE TENSOACTIVO EN LA INTERFASE.

condiciones de su uso. En medio acuoso, el grupo hidrófobo (la cadena) puede ser, por ejemplo, un hidrocarburo, fluorocarbono, o una cadena de siloxano suficientemente larga para producir las características de insolubilidad deseadas cuando se elige un grupo hidrofílico adecuado. El grupo hidrofílico (o polar) puede ser iónico o polar, de esta manera puede actuar como un solubilizante funcional. Si la temperatura, la presión, o el medio del solvente de un tensoactivo cambian, alteraciones significativas en la solución y en las propiedades interfaciales del sistema pueden ocurrir. Como un resultado, cambios en las condiciones pueden requerir modificaciones en la estructura química del tensoactivo para mantener un grado deseable de actividad superficial.⁽²³⁾

CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES TENSOACTIVOS.

La clasificación se fundamenta en que el tensoactivo se disocia o no, y con base en la disociación electrolítica. Así como en la carga que presenta el ión tensoactivo (tabla 3):

Tensoactivos iónicos. Son los que se disocian en agua y a la vez se clasifican en:

Surfactantes aniónicos: Se les da este nombre por que el extremo polar de la molécula es un anión. Están constituidos por una cadena alquílica lineal o ramificada que consta generalmente de 10 a 14 átomos de carbono.

Surfactantes catiónicos: Son compuestos cuaternarios de amonio, o una amina grasa en medio ácido.

Tensoactivos no iónicos. Los surfactantes no iónicos son los que se disuelven, pero no se disocian en agua. Esta clase de surfactantes posee propiedades hidrófilas que dependen de los grupos polifuncionales que forman enlaces de hidrógeno. Los surfactantes no iónicos son el resultado de la agregación de una o varias moléculas de óxido de etileno a un alcohol graso o al fenol, ejemplo de estos tensoactivos son el nonil fenol etoxilado o el nonanol etoxilado.

Tensoactivos anfotéricos. Los surfactantes anfotéricos como su nombre lo indica, actúan dependiendo del medio en que se encuentren, en medio básico son aniónicos y en medio ácido son catiónicos.⁽²⁶⁾

BIODEGRADACIÓN DE TENSOACTIVOS.

La biodegradación puede ser definida como la eliminación o destrucción de compuestos químicos a través de la acción biológica de organismos vivos. Para los tensoactivos, tal degradación puede ser dividida en dos etapas: (1) degradación primaria, que se inicia con la modificación de la estructura química del compuesto, suficiente para eliminar algunas propiedades de la actividad superficial; y (2) degradación final, en la cual el material es completamente removido del ambiente como dióxido de carbono, agua, sales inorgánicas, u otros compuestos que son de desperdicio normal como subproductos de actividad biológica.

TABLA 3

	TIPO	EJEMPLO
TENSOACTIVOS IÓNICOS.		
ANIÓNICOS.		
	Jabones	Estearato sódico
	Alcoholes grasos sulfatados	Lauril sulfato sódico
	Esteres grasos sulfatados	Acido o grasa sulfatada
	Ac. carboxílicos sulfatados	Sales sódicas del
		Ac. oleico sulfatado
	Alfa-Olefinas sulfonadas	
	Hidrocarburos aromáticos sulfonados	Alquil bencensulfonado lineal
	Amidas grasas sulfonadas	
CATIÓNICOS.		
	Sales cuaternarias de amonio	Aminas grasas primarias
		Aminas grasas secundarias
	Aminas en medio ácido	Aminas grasas terciarias
TENSOACTIVOS NO IÓNICOS.		
	Esteres de ácidos grasos	
	Alcanolamidas	
	Alcoholes de alquiaril polietil	Alcohol láurico etoxilado
TENSOACTIVOS ANFOTÉRICOS		
	Betainas	Alquil amida propildimetil betaina
		N-dodecil-N,N dimetil betaina

Años de investigación indican que es en la primera etapa de la degradación primaria, donde la estructura química de una molécula de tensoactivo impacta más en la biodegradabilidad. Algunas de las primeras observaciones en la biodegradabilidad de tensoactivos sintéticos indican que los alquilsulfatos secundarios lineales (LAS) se degradan más fácilmente que los sulfonatos de alquibenceno ramificado (ABS) que se utilizaban en México antes de 1993.⁽²³⁾

Existen dos reacciones para producir una cadena lineal, el primero utiliza el disel como materia prima y mediante un paso por mallas moleculares separa las cadenas lineales de las ramificadas. El otro proceso consiste en polimerizar el etileno para reunir una cadena de aproximadamente 12 átomos de carbono.

Las cadenas hidrocarbonadas provenientes de cualquiera de los dos procesos anteriores se deshidrogenan en hornos y posteriormente se unen al benceno en presencia de $AlCl_3$, para dar el alquilo benceno de cadena hidrocarbonada del ABS sustancia de difícil biodegradación, que se produce por polimerización del propileno, para dar el tetrámero de propileno.

Como un resultado de investigaciones extensivas con el mejor modelo disponible de los compuestos tensoactivos, se concluye que es la naturaleza del hidrófilo la que será de menor significancia en la biodegradabilidad. A través de los años, las siguientes generalizaciones se han desarrollado, las cuales cubren la biodegradación de la mayoría de los tipos de tensoactivos:

1. La estructura química del grupo hidrófobo es el factor primario que controla la biodegradabilidad; altos grados de ramificación, especialmente en el grupo alquilo inhiben la biodegradación.
2. La naturaleza del grupo hidrófilo no tiene efecto en la biodegradabilidad.
3. Entre mayor sea el largo de la cadena mayor es el tiempo requerido para degradarse.⁽²³⁾

ECUACIÓN DE ADSORCIÓN DE GIBBS.

En las soluciones la energía de Gibbs disminuye en la medida en que las moléculas de tensoactivo se acumulen en la superficie. Esto tendrá un efecto de conservar la energía libre del sistema a un mínimo. Las consecuencias de esta acumulación, se deduce del argumento termodinámico de Gibbs, que definió una cantidad llamada exceso de superficie (Γ), que es la concentración de la especie adsorbida en la superficie, expresada en unidades de concentración por unidad de área. Partiendo de una ecuación simplificada para un sistema multicomponente:

$$SdT + A d\gamma + \sum_i n_i^s d\mu_i = 0 \quad \dots(56)$$

Donde:

n_i^s = Es el número de moléculas del componente i en la superficie.

μ_i = Es el potencial químico superficial del componente i.

A = Es el área superficial.

A temperatura constante la ecuación (56), se reduce a:

$$A d\gamma + \sum n_i^s d\mu_i = 0 \quad \dots(57)$$

Al dividir por el área superficial A.

$$d\gamma + (n_1^s d\mu_1 / A) + (n_2^s d\mu_2 / A) + \dots = 0 \quad \dots(58)$$

Las diversas fracciones n_i^s / A son el exceso de superficie Γ para cada especie de molécula. Así:

$$d\gamma + \Gamma_1 d\mu_1 + \Gamma_2 d\mu_2 + \dots = 0 \quad \dots(59)$$

Los subíndices 1,2 representan los componentes de la mezcla, considerando 1 como el solvente, y 2 como el soluto, esta definición hace notar que los excesos de superficie son realmente cantidades de exceso (moles) por unidad de área de la superficie y no concentraciones en el sentido convencional. Para un sistema de dos componentes la ecuación (59) pasa a ser:

$$d\gamma + \Gamma_1 d\mu_1 + \Gamma_2 d\mu_2 = 0 \quad \dots(60)$$

En un sistema en equilibrio (temperatura, presión y área superficial constantes), y al considerar el exceso de superficie del disolvente $\Gamma_1 = 0$, entonces;

$$d\gamma + \Gamma_2 d\mu_2 = 0 \quad \dots(61)$$

la concentración superficial del soluto queda definida por:

$$\Gamma_2 = -d\gamma / d\mu_2 \quad \dots(62)$$

El potencial químico (μ_2), se representa por:

$$\mu_2 = \mu_2^0 + RT \ln a_2 \quad \dots(63)$$

donde μ_2^0 es el potencial químico de referencia a una temperatura constante, siendo a_2 la actividad del soluto, la ecuación (62), toma la forma:⁽¹⁷⁾

$$\Gamma_2 = -(1/RT) (d\gamma / d \ln a_2)_T \quad \dots(64)$$

Un material que es adsorbido en una interfase, como es el caso de un compuesto de superficie activa o tensoactivo, normalmente produce una reducción dramática en la tensión interfacial con pequeños cambios en la concentración del interior del líquido. En disoluciones diluidas es común asumir que el coeficiente de actividad de la sustancia se puede aproximar a un valor constante tal que el último término en la ecuación 64 puede ser sustituido por la concentración molar, c_2 .

La aplicación práctica de esta relación es que la adsorción relativa de una sustancia en una interfase, es decir que la actividad superficial puede ser determinada por la medición de la tensión interfacial como una función de la concentración de soluto.⁽²³⁾

$$\Gamma_2 = -(1/RT) (d\gamma / d \ln c_2)_T \quad \dots(65)$$

EXPERIMENTOS DEMOSTRATIVOS.

Abatimiento de la tensión superficial del agua.

El abatimiento de la tensión superficial del agua es una de las propiedades más importantes y fundamentales de los surfactantes. Esto se debe a la habilidad de las moléculas del surfactante para adsorberse preferencialmente en la interfase de un sistema acuoso-aire.⁽²⁷⁾ Esto se comprueba midiendo la tensión superficial mediante alguno de los métodos existentes, de disoluciones que contengan diferentes concentraciones de tensoactivo.

Humectación.

La humectación es el desplazamiento de aire de un líquido o sólido por agua o un líquido orgánico; es un proceso de interfase en el cual un líquido se extiende sobre un sustrato. En el proceso la interfase líquido-aire tiende a disminuir y la líquido-sólido a aumentar.⁽²⁷⁾ La evaluación de los agentes humectantes se lleva a cabo mediante la prueba de Draves-Clarkson (Draves, 1939),⁽²⁸⁾ que a continuación se describe. En la cual a 5 g de madeja cruda, se ata un hilo de algodón natural encerado (de 54 pulg., un lazo contiene 120 hilos), este hilo a su vez es atado por el otro extremo a un gancho de 3 g que se encuentra unido a un peso y que se sumerge completamente en un cilindro que contiene una disolución de tensoactivo. La disolución de tensoactivo desplaza el aire en la madeja por la propagación del proceso de humectación y cuando ha sido desplazada cierta cantidad de aire, la madeja súbitamente se hunde en el cilindro. El mejor agente humectante, es el que proporciona el menor tiempo de hundimiento.⁽²⁹⁾

Efecto de un tensoactivo en el crecimiento de cristales.

Pese a que el experimento requiere cierto tiempo para llevarse a cabo, resulta tan sencillo que puede realizarse en el hogar. Se trata de hacer crecer cristales en disoluciones que además de la sal correspondiente contienen cierta cantidad de un tensoactivo, observando como afecta la cantidad de tensoactivo en la forma y velocidad de crecimiento de los cristales.

Dos métodos generales para el crecimiento de un cristal en presencia de su sal pueden ser utilizados de manera conveniente en el hogar. En ambos métodos se suspende un cristal por medio de un hilo que servirá como semilla en un recipiente que contiene la sal del cristal en disolución. En uno, el método de "jarra sellada", se sobresatura la disolución y se sella el recipiente para evitar que se evapore más agua. La semilla crece lentamente debido a la sobresaturación de la disolución.

En el segundo método, el método de "evaporación", se inicia con una disolución saturada y se permite que se evapore lentamente. Se deja el recipiente sin sellar, y se cubre la tapa con una pieza de algodón, al mismo tiempo se reduce la velocidad de evaporación y se mantiene el polvo fuera de la disolución. A medida que el agua se evapora, la disolución comienza a sobresaturarse y la semilla a crecer.⁽³⁰⁾

CONCENTRACIÓN MICELAR CRÍTICA

Las propiedades de una disolución que contiene tensoactivo serán disminuidas en intervalos de concentración pequeños. Las medidas de las propiedades del interior en la solución tales como la conductividad eléctrica, o la dispersión de la luz, al igual que la tensión superficial, como una función de la concentración de tensoactivo producen curvas que exhiben una repentina discontinuidad a cierta concentración (figura 20). El repentino cambio en la propiedad medida es interpretado como un indicador de un cambio significativo en la naturaleza de las especies del soluto afectando la cantidad medida. En el caso de las mediciones de conductividad equivalente (curva superior de la figura 20), el rompimiento puede ser asociado con un incremento en la masa por unidad de carga de las especies conductoras. Para la dispersión de la luz (curva inferior de la figura 20), el cambio en la turbiedad de la solución indica la aparición de especies esparcidas de un tamaño mayor que la del soluto monomérico. Estas y posiblemente otro tipo de mediciones son evidencia de la formación de agregados o micelas en soluciones de tensoactivos en concentraciones relativamente bien definidas.

Los resultados de los estudios de las propiedades de tensoactivos en solución, se interpretan de forma clásica en términos de una asociación esférica de las moléculas de tensoactivo denominada "micela". Se asume que la estructura debe ser un agregado de alrededor de 50 a 100 moléculas con un radio mayor a la longitud de la cadena hidrocarbonada del tensoactivo. El interior de la micela se describe esencialmente como de naturaleza hidrocarbonada, mientras que la superficie consiste de una capa de grupos polares parcialmente neutralizados por los iones contrarios. Estudios recientes en los que se han utilizado nuevas técnicas rinden mayor información acerca de la naturaleza microscópica de las estructuras asociadas. Las micelas no son especies estáticas, con rápidos intercambios de moléculas entre los agregados y la fase en solución de manera permanente.

Es por lo tanto irracional el asumir que las moléculas de tensoactivo empacadas dentro de una micela, se encuentran ordenadas de tal forma que produzcan una estructura superficial perfectamente uniforme y lisa. Si uno pudiera fotografiar una micela con una película de ultra alta velocidad, congelando el movimiento de las moléculas, la película mostraría ciertamente un grupo molecular irregular más cercano a semejanza de una pelota de golf.

A pesar de que la imagen clásica de una micela es la de una esfera, la evidencia sugiere que las micelas esféricas no son la regla y posiblemente de hecho éstas serían una excepción. Debido al empaque geométrico requerido, las estructuras elipsoidal, forma de disco, y como barra, pueden ser formas más comunes de encontrar en las micelas (figura 21), sin embargo, desde el punto de vista práctico, el modelo esférico permanece como una herramienta útil.⁽²³⁾

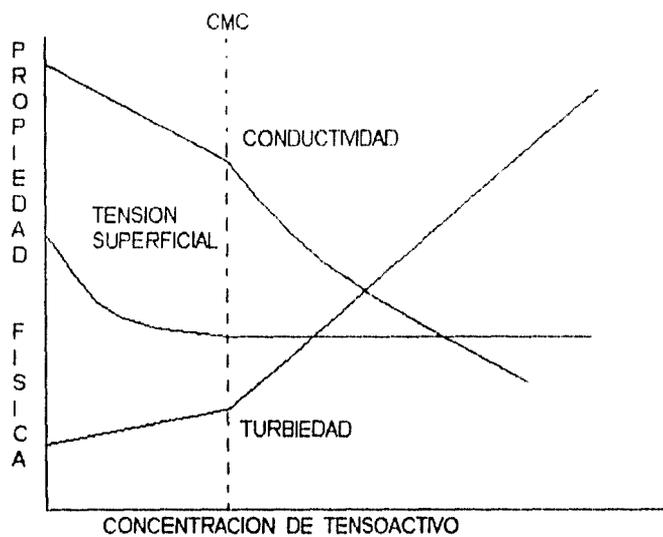


FIGURA 20. MANIFESTACIONES IMPORTANTES EN LA FORMACION DE MICELAS.

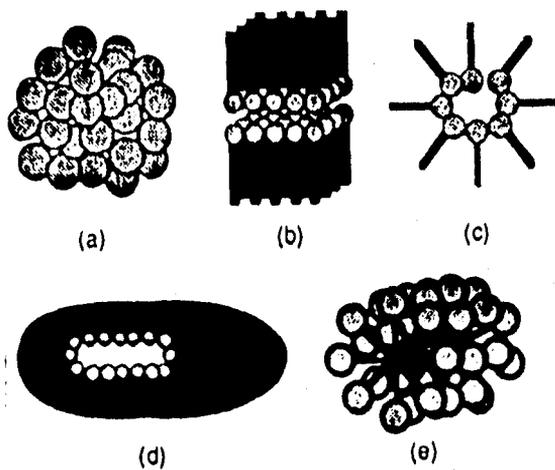


FIGURA 21. FORMAS DE LAS MICELAS: (a) ESFERICA, (b) LAMINAR, (c) INVERTIDA, (d) DISCO, (e) CILINDRICA.

La conclusión general es que por encima de un intervalo claramente estrecho de concentración, el estado físico de las moléculas de tensoactivo disueltas en agua cambian dramáticamente. Por debajo de esta concentración crítica los tensoactivos se presentan como moléculas separadas. Arriba de la tan nombrada concentración micelar crítica (C.M.C.) , los tensoactivos existen como agregados o micelas.⁽³¹⁾

EFECTO DE LAS MICELAS EN LA CONDUCTIVIDAD.

La formación de micelas afecta la conductividad de soluciones de tensoactivos iónicos por las siguientes razones:

- 1.- La resistencia viscosa total en las moléculas de tensoactivo es reducida por la agregación de partículas.
- 2.- Los iones contrarios se convierten cinéticamente en una parte de la micela a causa de la alta carga en la superficie, la cual reduce el número de iones contrarios disponibles para conducir la corriente.
- 3.- La influencia retardada de la atmósfera iónica de los iones libres contrarios en la migración de los iones de tensoactivo propicia un gran incremento en la agregación.

Son estos dos últimos factores, los que causan que la conductividad molar disminuya con la concentración más allá de la C.M.C. Normalmente tiene mayor influencia el primer factor que el de efecto contrario. Cuando las medidas de la conductividad son efectuadas en campos con altas intensidades, las atmósferas iónicas no se pueden reformar rápidamente (efecto Wien) y algunos de los iones contrarios quedan libres. Esto es interesante el notar que bajo estas condiciones la conductividad molar se incrementa con concentraciones más allá de la C.M.C.⁽³²⁾

EXPERIMENTOS PARA DETERMINAR LA C.M.C.

Los métodos disponibles para determinar los valores de C.M.C. son muchos y muy variados, pero los métodos propuestos se restringen a los que involucran aparatos que se encuentran en un laboratorio razonablemente bien equipado. El tensoactivo elegido para los experimentos fue el dodecilsulfato de sodio (DSS) por que es fácil de conseguir, económico, con un valor de C.M.C. conveniente, y se encuentra bien documentado en la literatura, pero otro tensoactivo (iónico y no-iónico) podría ser utilizado y podría sentar la base para comparar el comportamiento de diferentes tipos de tensoactivos.

Experimento A: Medida de la tensión superficial.

Los tensoactivos por naturaleza disminuyen la tensión superficial del agua en concentraciones por debajo de la C.M.C. Arriba de la C.M.C. la concentración de tensoactivo no micelizado permanece constante resultando tan sólo un pequeño cambio en la tensión superficial. Se puede utilizar cualquiera de los métodos conocidos para medir la tensión superficial (pesada de gota, ascenso capilar, tensiómetro Du Noüy, etc.). La concentración en la cual un cambio abrupto en la tensión superficial ocurre se considera como la C.M.C.

Experimento B: Mediciones de conductividad.

Un método muy utilizado para la determinación de valores de c.m.c. de tensoactivos iónicos es por medio de conductividad. La conductividad específica se incrementa con menor velocidad arriba de la C.M.C., sobre todo de la inclusión de iones contrarios (Na^+ en el caso del DSS) en la micela, reduciendo por ello esta contribución a la conductividad y decrece la carga micelar efectiva. La C.M.C. se obtiene de la gráfica conductividad equivalente contra la raíz cuadrada de la concentración.⁽³³⁾

Experimento C: Medición del cambio del espectro de un colorante.

El presente método mide la absorbancia emitida por el colorante naranja de acridina (NA) en varias concentraciones de dodecil sulfato de sodio (DSS) en solución. En la región cercana a la C.M.C. del DSS se encuentra de pronto un cambio en la absorbancia de la solución. Los reactivos a utilizar no necesitan de una purificación adicional. Las soluciones que se utilizan son 100 ml de naranja de acridina ($5.9 \cdot 10^{-5}$ M) y dodecil sulfato de sodio a una concentración de (0.0205 M). A partir de la solución 0.0205 M de DSS se preparan un conjunto de soluciones con varias concentraciones, pero con la concentración de NA constante. Una concentración adecuada para medir las dos absorbancias es de $4.72 \cdot 10^{-6}$ M NA (2 ml de la solución abastecedora) y de 0.82 a $16.4 \cdot 10^{-3}$ M de DSS (1 a 20 ml de la solución abastecedora). La absorbancia en la emisión de la longitud de onda y en la excitación es menor que 0.2 (para una celda de 1cm.). Cualquier efecto del filtro interno se puede considerar pequeño. Se mide la absorbancia a 500 nm. de longitud de onda en el espectrofotómetro.⁽³⁴⁾

CAPITULO 4

EMULSIONES

SISTEMAS DISPERSOS.

Pueden prepararse dispersiones de toda clase de sustancias en varios medios, tanto si tales sustancias son cristalinas o no cristalinas, electrólitos o no electrólitos. Las partículas en dispersión quedan generalmente al alcance del microscopio ordinario, y cuya resolución es de 0.25 micras. A diferencia de las soluciones verdaderas, que son homogéneas, las dispersiones coloidales se consideran heterogéneas siendo el medio continuo una fase y la otra la sustancia dispersa. El medio en el que ocurre la dispersión se llama medio continuo; la sustancia es la fase dispersa, y la solución coloidal completa se conoce como sistema disperso. Estos términos son análogos a los de disolvente, soluto y disolución en las soluciones ordinarias. Además, las dispersiones son inestables termodinámicamente y tienden a coagular y precipitan en reposo a menos que se tomen precauciones adecuadas. Una vez que una fase dispersa precipita, generalmente no se redispersa espontáneamente, es decir, su precipitación es un proceso irreversible. Puesto que tanto la fase como el medio disperso pueden ser sólidos, líquidos o gases, las dispersiones pueden clasificarse, como las soluciones, según su estado obteniéndose los nueve tipos de sistemas dispersos dados en la tabla 4. Realmente éstos se reducen a ocho, puesto que no existe la dispersión coloidal de un gas en otro. Se incluyen los nombres generalmente asignados a algunos tipos de dispersión, así como ejemplos de cada categoría. De los ocho tipos observados, los de mayor importancia e interés son los soles o suspensoides, emulsiones, geles, aerosoles y espumas.⁽⁶⁾

DEFINICIÓN DE EMULSIÓN.

Una de las definiciones más conocidas de una emulsión fue dada por Becher en 1965, quién dice que una emulsión es un sistema heterogéneo, constituido por un líquido inmiscible, íntimamente disperso en otro en forma de gotas cuyo diámetro debe ser entre 0.1 y 10 micras. Las gotas dispersas son conocidas como fase interna o dispersa; la fase en la cual las gotas están distribuidas es la fase externa o fase continua. Las emulsiones son inestables, y si se les permite reposar por algún tiempo, las moléculas de la fase dispersa tienden a asociarse para constituir una capa que puede precipitarse o migrar a la superficie, según la diferencia de densidades entre las dos fases. Debido a que una dispersión de gotas de líquido en otro tienen una alta energía libre asociada con su gran área interfacial, el sistema tenderá a reducir su energía libre vía la disminución del área interfacial y esto se logra cuando se unen dos o más gotas de la fase dispersa. Por lo tanto, la unión de dos o más gotas es un proceso termodinámicamente espontáneo, mientras que el proceso inverso requiere de trabajo y no ocurre en forma espontánea. De ahí que el término "estable" en emulsiones frecuentemente es usado de manera relativa y en sentido estrictamente cinético. Así pues, prácticamente todas las

TABLA 4. TIPOS DE DISPERSIONES COLOIDALES

FASE DISPERSA	MEDIO DISPERSOR	NOMBRE	EJEMPLOS
SOLIDO	GAS	AEROSOL	HUMOS
SOLIDO	LIQUIDO	SOL	AgCl, Au, As ₂ S ₃
SOLIDO	SOLIDO	-----	VIDRIO RUBI
LIQUIDO	GAS	AEROSOL	NEBLINA, NUBES
LIQUIDO	LIQUIDO	EMULSION	ACEITE EN AGUA (LECHE) AGUA EN ACEITE (CREMA)
GAS	GAS	-----	DESCONOCIDO
GAS	LIQUIDO	ESPUMA	CREMA BATIDA
GAS	SOLIDO	-----	PIEDRA POMEZ

TABLA 5. ESCALA HLB Y SU APLICACION.

OSCILACION	APLICACION
3 - 6	EMULSIONANTE W/O
7 - 9	AGENTE DE MOJADO
8 - 18	EMULSIONANTE O/W
13 - 15	DETERGENTE
15 - 18	SOLUBILIZANTE

emulsiones son termodinámicamente inestables, habiendo emulsiones que tengan una vida media de minutos, aunque también las hay cuya vida media es de días o años.

CLASIFICACIÓN DE EMULSIONES.

La mayoría de las emulsiones que han sido estudiadas o que son de importancia industrial están compuestas principalmente de agua y aceite o algún otro fluido lipofílico. De acuerdo al modo, proporción y distribución de los componentes principales en el sistema las emulsiones se clasifican:

- 1.- Emulsiones de tipo aceite en agua (o/w), si el agua constituye la fase continua.
- 2.- Emulsiones agua en aceite (w/o), cuando la fase continua está formada por aceite o cualquier otro fluido lipofílico.

Frecuentemente, el líquido de menor volumen formará la fase dispersa. Sin embargo hay numerosas excepciones que han sido introducidas en la literatura, en las cuales la fase dispersa constituye más del 75% del volumen total.

PREPARACIÓN DE EMULSIONES.

El método más simple para preparar una emulsión consiste en mezclar por agitación dos líquidos inmiscibles. Al ser inmiscibles dos líquidos es necesario aplicar una fuerza para fragmentar y formar pequeñas gotas de un líquido en otro. El estado de dispersión se mantiene mientras la agitación dure. Una vez que cesa la agitación, las gotas del líquido se vuelven a integrar y a formar un todo uniforme, debido a que las moléculas de cada líquido tienen una gran afinidad entre sí, y poca para las moléculas del otro líquido. Por lo cual, cada compuesto se reintegra a su fase original y, consecuentemente, los líquidos se vuelven a constituir en dos fases independientes.

Se ha encontrado que es más fácil mezclar dos líquidos si la diferencia entre las tensiones superficiales y la densidad, es pequeña. Sin embargo, aun escogiendo los casos más favorables, tales emulsiones tienen poca estabilidad. Para preparar emulsiones con menor trabajo, se debe introducir un agente tensoactivo dentro del sistema que es un tercer componente que reduce la tensión interfacial y ahorra gran cantidad de trabajo en la formación de una emulsión, aunque ésta no es su única función. La reducción de la tensión en la interfase facilita la formación de diminutas gotas y disminuye la velocidad a que dichas gotas se juntan. En ausencia de un agente tensoactivo, el cual actúa como un estabilizador, las gotas se unirán instantáneamente debido a la tendencia a disminuir la energía libre superficial, es decir, a causa de las fuerzas de cohesión que actúan en la interfase a medida que se ponen en contacto.⁽³⁵⁾

EL HLB.

Las letras HLB representan el equilibrio hidrófilo-lipófilo. En este método se asigna un número HLB a cada agente tensoactivo y se relacionan mediante una escala según sus aplicaciones adecuadas. La tabla 5. señala la oscilación HLB requerida para varios sistemas. Como puede verse, sólo aquellos productos con números HLB que oscilan de 4 a 6 son adecuados como emulsionantes para emulsiones w/o, mientras que sólo aquellos con números que oscilan de 8 a 18 son adecuados para la preparación de emulsiones o/w. El HLB de un emulsificante es una expresión de su balance hidrófilo-lipófilo (BHL o HLB), como se mencionó anteriormente, el balance del tamaño y fuerza de los grupos hidrófilos (afinidad hacia el agua o polares) y los lipófilos (afinidad hacia el aceite o no-polares) del emulsificante. Todos los emulsificantes consisten de una molécula que combina ambos grupos hidrófilos y lipófilos.

Un emulsificante que tiene carácter lipófilo, es asignado un número HLB bajo (menos de 9), y uno que es hidrófilo es asignado un número HLB alto (mayor de 11). Aquellos con valores entre 9-11 son intermedios.

Así, al formular una emulsión dada, se puede tomar cualquier par de agentes emulsionantes y variar su HLB neto sobre la oscilación en la que se podría esperar su eficacia. Habiendo encontrado el HLB más eficaz se pueden probar diferentes pares de agentes hasta que se encuentre el par más eficaz. Debe hacerse notar que el concepto HLB no dice nada acerca de la concentración de emulsionante. En general, el número HLB requerido para una emulsión estable no varía mucho con la concentración de emulsionante. Esto puede ser, sin embargo, un efecto en zonas donde la emulsión es, en el mejor de los casos, inestable; esto es, cuando las concentraciones de emulsionante son bajas y la concentración de la fase dispersa es baja.⁽³⁶⁾

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE HLB.

El método original para determinar el número HLB involucra un largo y laborioso procedimiento experimental. Davies ha estudiado el número HLB como derivado de una suma de factores estructurales. Desde este punto de vista ha intentado resolver la estructura del emulsionante en grupos componentes, cada uno de los cuales realiza una contribución (negativa o positiva) al número total HLB. Los números de grupo obtenidos partiendo de varias estructuras conocidas de HLB definidas están detalladas en la tabla 6. Para una estructura dada, el número HLB se calcula sustituyendo los números de grupo en la relación

$$\text{HLB} = 7 + \Sigma(\text{números de grupo hidrófilo}) - \Sigma(\text{números de grupo hidrófobo}) \quad \dots(66)$$

donde el último término a la derecha es normalmente $0.475n$, donde n es el número de grupos $-\text{CH}_2$ en el hidrófobo. Debe notarse que los grupos $-\text{CH}_2$ de la cadena polioxietilénica no están incluidos en este total, puesto que cada grupo de óxido de etileno se incluye en la cuenta como

TABLA 6 - NÚMEROS DE GRUPO HLB.

Números de grupo hidrófilos:

- SO ₄ Na	38.7
-COOK	21.1
-COONa	19.1
-N (amina terciaria)	9.4
Ester (anillo de sorbitol)	6.8
Ester (libre)	2.4
-COOH	2.1
-OH (libre)	1.9
-O-	1.3
-OH (anillo de sorbitol)	0.5

Números de grupo hidrófobos:

-CH -	-0.475
-CH ₂ -	
CH ₃ -	
=CH -	

Números de grupo derivados:

-(CH ₂ -CH ₂ -O) -	0.33
-(CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -O) -	- 0.15

una unidad. Por desgracia, el método es menos satisfactorio para otro tipo de agentes tensoactivos. Por ejemplo, los números HLB calculados de la ecuación 66 para alcoholes polioxietilados son demasiado bajos. (36)

Griffin desarrolló ecuaciones que permiten el cálculo del número de HLB para algunos tensoactivos no iónicos, en particular, las moléculas de polioxietileno derivado de alcoholes grasos y ésteres grasos de alcoholes polihídricos. La fórmula para determinar el número de HLB esta basada en datos analíticos o en datos de composición para la mayoría de las moléculas de esterres de ácidos grasos. Los valores aproximados pueden ser calculados con la ayuda de la relación:(37)

$$HLB = 20 \cdot (1 - (S/A)) = 20 \cdot (PM \text{ porción hidrófila} / PM \text{ total}) \quad \dots (67)$$

donde:

S= número de saponificación.

A= número de ácido original.

PM= peso molecular.

NÚMERO HLB REQUERIDO.

La utilidad del concepto de HLB consiste en determinar el tipo de emulsión que se forma, sea agua en aceite o aceite en agua. Un valor de HLB menor a 10 indica que se produce emulsión agua en aceite, mientras que un valor mayor de 10 indica una emulsión aceite en agua. Estos valores han sido determinados empíricamente. En el caso de que se empleen mezclas de fase aceite (una situación de importancia práctica considerable), se ha encontrado que los números HLB requeridos se pueden sumar algebraicamente por el mismo camino que los HLB de los emulsionantes. La relación de aditividad puede cambiar para ser igualmente no lineal, especialmente cuando las fases aceite difieren marcadamente en tipo químico. Por ejemplo, supongamos que se está haciendo una emulsión o/w de un lubricante textil. El producto pudiera ser 30% espíritu mineral, 50% aceite de semilla de algodón y 20% parafina clorinada, para ser emulsificados en agua. El HLB requerido de la combinación puede ser calculado como sigue:

Espíritu mineral	30% * HLB req. 14 = 4.2
Aceite de semilla de algodón	50% * HLB req. 6 = 3.0
Parafina clorinada	20% * HLB req. 8 = 1.6
HLB estimado del sistema emulsificante	8.8

Se debe comprobar estos valores estimados con unas pruebas exploratorias en el intervalo de 8 - 10, pero se sabe de antemano que combinaciones de emulsificantes en este intervalo darán los mejores resultados. Este método de calcular el HLB requerido es muy útil para emulsiones muy fluidas, pero no es generalmente práctico para emulsiones tipo cremas "sólidas" o lociones muy pesadas. En este último tipo de emulsión, un exceso de emulsificante lipofilo (bajo HLB), tal como un jabón de ácido esteárico o el SPAN 60 (monoestearato de sorbitán), se usa generalmente por su acción espesante. Generalmente una combinación de emulsificantes es recomendable en virtud de que se requiere un valor menor de HLB que con un sólo surfactante.⁽³⁶⁾

El método original de Griffin se limita a valores en el intervalo de HLB de 1 a 20, por lo tanto, cuando se utilizan tensoactivos iónicos con un poder hidrófilo mayor que el oleato de sodio, por tener por ejemplo un grupo sulfónico o sulfato, que es de mucho mayor acidez que el del oleato de sodio, habrá que mezclarlo en diferentes proporciones con ácido oleico para reducir el HLB de la mezcla a un valor que se encuentre en el intervalo de 1 a 20, y de acuerdo a la proporción que se encuentren ambos tensoactivos se determina el valor del HLB del compuesto con el sulfato. No obstante, que hay métodos teóricos como las ecuaciones anteriores descritas, para conocer el valor HLB, estas deben ser comprobadas experimentalmente. Así, si se tuviera un HLB de 40, esto quiere decir que tendrá el doble de capacidad que el oleato de sodio para producir una emulsión aceite en agua.

El método experimental para la determinación del HLB, aunque no es preciso, brevemente consiste en mezclar el o los emulsificantes desconocidos en varias proporciones con un emulsificante de HLB conocido, y compararlas.

La mezcla que mejor trabaja se asume que tiene un valor HLB igual al "HLB requerido" de manera que el valor HLB del desconocido puede ser calculado. En la práctica, se tiene que hacer un gran número de emulsiones experimentales, de las cuales un valor HLB promedio para el desconocido es finalmente calculado. Está por demás decir que tal procedimiento puede ser difícil y a la vez consumir tiempo. Sin embargo, la falta de un número HLB exacto de un emulsificante no es necesariamente una seria desventaja, ya que puede estimarse el HLB por la solubilidad en agua del emulsificante, y en muchos casos esto es adecuado para el trabajo inicial.

MÉTODO DE SOLUBILIDAD EN AGUA.

Aunque este método sólo sirve de guía, se puede obtener una idea del HLB de muchos emulsificantes de acuerdo con sus características de solubilidad o dispersabilidad, de acuerdo a la tabla siguiente.⁽³⁸⁾

HLB POR DISPERSABILIDAD

	Intervalos de HLB
No dispersable en agua.	1 - 4
Dispersión pobre.	3 - 6
Dispersión lechosa después de agitación vigorosa.	6 - 8
Dispersión lechosa estable.	8 - 10
Dispersión translúcida a clara.	10 - 13
Solución clara.	13

EXPERIMENTOS RELACIONADOS CON LAS EMULSIONES.

Barnices: Los barnices pueden ser emulsiones de aceite o cera en agua. Tienen que ser formulados de acuerdo con la finalidad de empleo. Después de aplicarse a una superficie, la emulsión se debe romper de tal manera que el ingrediente que da brillo pueda extenderse en una película lisa y uniforme. Con mucha frecuencia esto impone una serie de requisitos contradictorios al formulador. Por ejemplo, una vez aplicada, la cera de un barniz de suelo no debe ser fácilmente emulsionable, o quedaría manchada por el agua. Por otro lado, si no se conserva cierto grado de emulsionabilidad, se dificultaría quitar la capa de cera en una fecha posterior. A continuación se presenta una fórmula típica de un barniz para suelo.

Barniz de suelos de brillo seco (agente no iónico).

INGREDIENTES	PORCENTAJE
Cera carnauba	10
Tween 80	3
Agua	87

Leslie recomienda que además de la cera carnauba (que, en el pasado se empleó muchísimo) se pueden emplear otro tipo de ceras como la de abejas, candelilla, ceresina, parafina y cera montana.⁽³⁶⁾ México es un productor importante de cera de candelilla.

Emulsión aceite/agua y agua/aceite:

Se prepara una emulsión aceite en agua colocando 100 ml. de agua destilada dentro de un mezclador, al poner en marcha el mezclador, se agregan 6.6 ml. de Tween 81, 7 ml. de Span 85, y lentamente 100 ml. de aceite lubricante. Se puede utilizar aceite mineral en lugar de aceite lubricante, pero este último a pesar de ser menos costoso su punto de inflamación (49 °C) posiblemente pudiera ser alcanzado, presentando cierto peligro. En la preparación de la

emulsión agua en aceite, 100 ml. de aceite lubricante se agregan dentro del mezclador, se arranca el mezclador, y se agregan 7ml. de Span 85 y 6.6 ml. de Tween 81, y lentamente 100 ml. de agua destilada. Ambas emulsiones se vierten dentro de vasos de precipitado y su volumen, color, textura y viscosidad son comparadas.⁽³⁹⁾

CAPITULO 5

VISCOSIDAD (TIXOTROPIA)

VISCOSIDAD.

Es una medida de la resistencia al flujo o de la deformación de un fluido al actuar sobre él un esfuerzo cortante (τ) que da lugar a fuerzas que se oponen al movimiento. Como resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas, la presencia de partículas en un fluido incrementa su viscosidad. Viscosidad según Newton (μ). Se caracteriza cuando el esfuerzo tangencial que actúa entre dos láminas de igual área (A) separadas una distancia (dy), y que se desplazan con una velocidad (dv) es proporcional al gradiente transversal de velocidades dv/dy. A la constante de proporcionalidad se le conoce como viscosidad absoluta o dinámica (μ) y se aplica para flujo laminar. Matemáticamente lo anterior se expresa como;

$$\tau = F / A = \mu \, dv/dy \quad \dots(68)$$

que se denomina como la ecuación reológica del fluido, donde:

F = fuerza (dinas).

A = área (cm²).

v = velocidad (cm/s).

y = distancia (cm).

μ = viscosidad (poise).

τ = esfuerzo cortante (dinas/cm²).

Los fluidos pueden ser clasificados de acuerdo con su comportamiento bajo la acción del esfuerzo cortante y su respectiva velocidad de corte (ω).

FLUIDO NEWTONIANO.

Su comportamiento reológico se describe mediante la ley de la viscosidad de Newton, que establece una relación lineal entre el esfuerzo cortante aplicado y la velocidad de corte inducida. La constante de proporcionalidad es la viscosidad que es independiente de la velocidad de corte, (figura 22).

FLUIDO NO NEWTONIANO.

En este caso el fluido no cumple con la ley de viscosidad de Newton, por lo que no hay una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte, es decir, la viscosidad no permanece constante sino que es función de la velocidad de corte. A su vez, de acuerdo al comportamiento de esfuerzo cortante contra la velocidad de corte existen dos tipos de fluidos: uno que es dependiente del tiempo en que se aplica el esfuerzo y el otro independiente de éste.

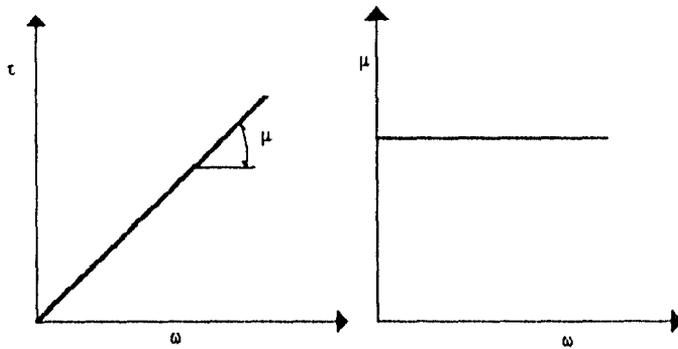


FIGURA 22 COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE UN FLUIDO NEWTONIANO.

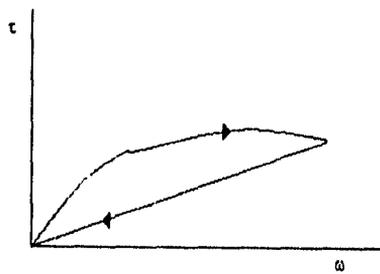


FIGURA 23 CURVA DE UN FLUIDO TIXOTROPICO.

FLUIDO INDEPENDIENTE DEL TIEMPO.

Sus propiedades reológicas no cambian durante la aplicación del esfuerzo cortante. En este tipo de fluido se encuentran, el fluido plástico de Bingham, el pseudoplástico y el dilatante.

FLUIDO DEPENDIENTE DEL TIEMPO.

Las propiedades reológicas de este tipo de fluido cambian con el tiempo en el que actúa el esfuerzo cortante y la velocidad de corte. Dentro de esta clasificación se encuentran el tixotrópico y el reopéctico.

FLUIDO REOPÉCTICO.

En un fluido reopéctico la viscosidad y el esfuerzo cortante aumenta con el tiempo, cuando la velocidad de corte es constante, ejemplos de estos fluidos son la bentonita y el yeso.

FLUIDO TIXOTRÓPICO.

La viscosidad disminuye conforme pasa el tiempo en que actúa el esfuerzo cortante y la velocidad de corte permanece constante, ejemplos de este tipo de fluidos se tienen en una solución de polímeros, la manteca o la pintura.⁽⁴⁰⁾ Un fluido tixotrópico se caracteriza por lo siguiente:

- 1.- Se desarrolla su estructura mientras el fluido está en reposo.
- 2.- La estructura puede ser destruida mediante la aplicación de una cizalla.
- 3.- El proceso de destrucción y reconstrucción de la estructura es reversible y ocurre isotérmicamente.
- 4.- Cuando se corta un flujo laminar, bajo condiciones de velocidad de corte constante, el fluido se comporta como sigue:
 - a) El esfuerzo cortante disminuye con el tiempo, si el fluido se encontraba previamente en reposo o es cortado bajo condiciones de baja velocidad de corte.
 - b) El esfuerzo cortante aumenta con el tiempo, si el fluido fué cortado previamente bajo condiciones de alta velocidad de corte.
 - c) No importa cuales son las condiciones previas de corte, si se aplica una velocidad de corte y se mantiene constante por un largo periodo, el esfuerzo cortante se aproxima a un valor de equilibrio que depende solamente de la velocidad de corte.
- 5.- La respuesta del esfuerzo cortante a un cambio brusco en la velocidad de corte es inmediata (no existe el retraso característico de la respuesta elástica).

Una prueba cualitativa tradicional para demostrar la existencia de la tixotropía es la tan nombrada prueba del lazo. Esta asume que un fluido tixotrópico, después de un largo periodo de decremento continuo regresa a su estado original. Porque de la caída de la estructura del

fluido que ocurre durante el experimento se obtiene una curva del fluido (velocidad de corte contra esfuerzo cortante) con un lazo de histéresis. Un ejemplo de una de las posibles figuras de una curva de flujo se muestra en la figura 23; las flechas indican la cronología del proceso.⁽⁴¹⁾

PRUEBAS NORMALIZADAS PARA LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE MATERIALES NO-NEWTONIANOS POR MEDIO DEL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD).

Campo de aplicación. Estos métodos cubren la determinación de la viscosidad aparente y el adelgazamiento por corte (*shear thinning) y propiedades tixotrópicas de materiales no-newtonianos en el rango de velocidad de corte de 0.1 a 50 s.

Preparación de la muestra. Llenar un bote de 1-pinta o 1-cuarto a menos de 1 pulg. (25 mm) del tope con la muestra y llevarla tan cerca como sea posible a una temperatura de 25 °C u otra temperatura mayor pero conveniente para la prueba. Agitar vigorosamente en el agitador o su equivalente por 10 min., retirar la muestra del agitador, y permitir que se mantenga sin perturbaciones por 60 min. a 25 °C antes de la prueba (Nota 1). Comenzar la prueba en un tiempo menor de 65 min. después de que se removió el bote del agitador. No se debe transferir la muestra del contenedor en el cual se agitó.

Nota 1.- El tiempo de agitación puede ser reducido si es necesario, como un acuerdo entre el usuario y el fabricante, pero en cualquier caso, éste no debe ser menor a 3 min

Método A - Viscosidad Aparente.

Procedimiento: Llevar a cabo todas las medidas tan cerca como sea posible a 25 °C, o cualquier otra temperatura mayor pero conveniente. Colocar el instrumento en la posición de ajuste. Bajar el viscosímetro a un nivel de tal manera que el huso quede inmerso a la profundidad adecuada. Nivelar el instrumento utilizando el nivel de burbuja. Inclinar el huso seleccionado (Nota 2), e insertarlo dentro de uno de los dos lados del centro de la superficie del material, y sujetar el huso al instrumento de la siguiente forma: Detener firmemente la conexión superior de la flecha con el pulgar y el índice; apretar con la mano izquierda la rosca del huso insertándolo firmemente a la conexión de la parte superior de la flecha, ser muy cuidadoso cuando se conecte para evitar la presión excesiva que puede afectar la alineación. Evitar girar el disco de tal forma que el indicador toque el freno en ambos extremos de la escala.

Nota 2.- Seleccionar la combinación huso/velocidad que de una escala mínima leída de 10 pero preferentemente en la mitad o en la porción superior de la escala. La velocidad y el huso a utilizar puede diferir por acuerdo entre usuarios y productores.

Bajar el viscosímetro hasta la ranura (marca de inmersión) en la que la flecha solo toque el material. Ajustar el nivel del viscosímetro si es necesario. Mover el contenedor del material lentamente en un plano horizontal, hasta que el huso sea colocado en el centro del contenedor aproximadamente, de modo que la prueba se pueda realizar en una región sin perturbaciones por la cobertura del huso. Arrancar el viscosímetro, ajustar la velocidad (rpm) seleccionada (Nota 2) para el material que se pondrá a prueba, dejar que trabaje el viscosímetro hasta que el indicador se estabilice (Nota 3). Después de que se estabilice, presione el embrague y parar el motor de tal forma que cuando se detenga el indicador podrá ser observado (Nota 4).

Nota 3.- En pinturas tixotrópicas, el indicador no siempre se estabiliza, en ocasiones se llega a un pico y éste gradualmente decrece de acuerdo al rompimiento de la estructura, en estos casos se considera el tiempo de rotación o el número de revoluciones preferentemente para ser leídos en el viscosímetro, se debe de estar de acuerdo entre el usuario y el productor.

Nota 4.- Siempre se libera el embrague mientras que el huso se encuentra todavía inmerso de tal forma que el indicador debe de flotar, y regresar a cero.

Calculos.

Calcular la viscosidad aparente en cada velocidad, como sigue: $v = f \times s$

Donde:

v = viscosidad de la muestra en centipoises, mPa s.

f = el factor de la escala suministrada con el instrumento (ver tabla 7).

s = escala leída del viscosímetro.

Método B - Viscosidad bajo condiciones de cambios en la velocidad, grado de adelgazamiento por corte y tixotropía.

Procedimiento. Hacer todas las mediciones con el viscosímetro Brookfield tan cerca como sea posible a 25 °C, u otra temperatura mayor pero conveniente, seleccionar un huso que pueda ser utilizado en todas las velocidades deseadas (Nota 2). Colocar el instrumento en la posición de ajuste, bajar el viscosímetro a un nivel de tal manera que el huso quede inmerso a la profundidad adecuada, nivelar el instrumento utilizando el nivel de burbuja. Inclinar el huso seleccionado (Nota 2), e insertarlo en un lado de la superficie del material y sujetar el huso al

**TABLA 7. Factores para convertir las lecturas de la escala a centipoises
(Milipascales segundos)**

VELOCIDAD rpm	Factores para husillos de la serie RV						
	1	2	3	4	5	6	7
0.5	200	800	2000	4000	8000	20M	80M
1	100	400	1000	2000	4000	10M	40M
2	50	200	500	1000	2000	5M	20M
2.5	40	160	400	800	1600	4M	16M
4	25	100	250	500	1000	2.5M	10M
5	20	80	200	400	800	2M	8M
10	10	40	100	200	400	1M	4M
20	5	20	50	100	200	500	2M
50	2	8	20	40	80	200	800
100	1	4	10	20	40	100	400

VELOCIDAD rpm	Factores para husillos de la serie LV			
	1	2	3	4
0.3	200	1000	4000	20M
0.6	100	500	2000	10M
1.5	40	200	800	4M
3	20	100	400	2M
6	10	50	200	1M
12	5	25	100	500
30	2	10	40	200
60	1	5	20	100

Nota: M = 1000

instrumento de la siguiente forma: Detener firmemente la conexión superior de la flecha con el pulgar y el índice; apretar con la mano izquierda la rosca del huso insertándolo firmemente en la conexión de la parte superior de la flecha, se debe de ser muy cuidadoso cuando se conecte, para evitar la presión excesiva que puede afectar la alineación. Bajar el viscosímetro hasta la ranura (marca de inmersión) en la que la flecha solo toque el material, ajustar el nivel del viscosímetro si es necesario, mover el contenedor del material lentamente en un plano horizontal, hasta que el huso sea colocado aproximadamente en el centro del contenedor, de modo que la prueba se pueda realizar en una región sin perturbaciones por la cobertura del huso, colocar el viscosímetro en la velocidad de rotación más lenta (Nota 5 y 6), arrancar el viscosímetro y registrar la escala leída después de diez revoluciones (u otro número mayor de revoluciones conveniente).

Nota 5.- Cuando las ocho velocidades del viscosímetro pueden ser utilizadas, bajas o altas velocidades, se permite que solo cuatro velocidades del viscosímetro se utilicen, en un mutuo acuerdo entre productores y usuarios.

Incrementar la velocidad del viscosímetro gradualmente y registrar la escala leída después de diez revoluciones (o el tiempo equivalente para cada combinación de huso/velocidad) en cada velocidad, después de las observaciones llevadas a cabo hasta la velocidad límite disminuir la velocidad en intervalos, hasta llegar a la velocidad más baja, registrar la lectura de la escala después de diez revoluciones (o el tiempo equivalente) en cada velocidad.

Nota 6.- Es preferible cambiar la velocidad cuando el motor esté en marcha.

Después de que ha sido tomada la última lectura en la velocidad más baja, desconectar el viscosímetro y dejarlo a un lado y el espécimen sin perturbaciones se coloca de manera conveniente por el resto del período, al terminar este período se coloca el viscosímetro en la velocidad más baja y se registra la escala leída después de diez revoluciones (u otro número mayor de revoluciones conveniente).

Cálculos e Interpretación de los Resultados.

Calcular la viscosidad aparente para cada velocidad como se muestra en la sección anterior. Si se desea, determine el grado de adelgazamiento por corte por el siguiente método: Índice de adelgazamiento por corte (algunas veces erróneamente llamado el índice tixotrópico). Dividir la viscosidad aparente de una velocidad de rotación baja por la viscosidad a una

velocidad diez veces más alta. Las combinaciones típicas de velocidades son 2 y 20 rpm, 5 y 50 rpm, 6 y 60 rpm pero la selección está sujeta al acuerdo entre el productor y el usuario. La relación de la viscosidad resultante es un índice del grado de adelgazamiento por corte.

Una gráfica normal o log-log de viscosidad contra la velocidad del viscosímetro en rpm puede ser útil en la caracterización del comportamiento de grado de adelgazamiento por corte del material. Tales gráficas pueden ser utilizadas para hacer comparaciones entre pinturas y otros materiales.

Si se desea, estimar el grado de tixotropía (bajo condiciones de reducida resistencia al corte de la estructura) por alguno de los siguientes métodos:

Calcular la relación entre el valor de la viscosidad a la velocidad más baja durante el periodo de incremento de la velocidad, entre el valor de la viscosidad a la velocidad más baja durante el periodo de decremento de la velocidad, esta relación da el grado de tixotropía.

Calcular la relación entre el valor de la viscosidad a la velocidad más baja, y después de un cierto periodo de reposo tomar una nueva lectura a las mismas condiciones iniciales, esta relación dará el grado de tixotropía.⁽⁴²⁾

*SHEAR THINNING: Mecánica de fluidos. El fenómeno en el cual los fluidos no-newtonianos sujetos a un esfuerzo cortante sufren una reducción en su viscosidad; ejemplos de esto son los materiales pseudoplásticos, tal como ciertos materiales poliméricos, pigmentos en suspensiones, etc.

CAPITULO 6

ADSORCIÓN

ADSORCIÓN

Hemos observado ya que las fuerzas moleculares en la superficie de un líquido se encuentran en un estado de insaturación o sin balancear, lo cual es válido también para las situadas en la superficie de un sólido donde las moléculas o iones no tienen satisfechas todas sus fuerzas de unión con otras partículas, por lo cual atraen hacia sí, reteniéndolas en su superficie, a las de los gases o a otras sustancias que se ponen en contacto. Este fenómeno de concentración de una sustancia sobre la superficie de un sólido o líquido se denomina adsorción, y la sustancia atraída hacia la superficie se llama fase adsorbida, mientras que aquella a que se adhiere es el adsorbente.

La adsorción es distinta de la absorción y entre ambas debe establecerse una clara diferencia. En este último proceso la sustancia no se retiene en la superficie, sino que pasando a través penetra y se distribuye por todo el cuerpo de un sólido o líquido. Así sucede con el agua absorbida por una esponja, o el vapor de agua absorbido por el cloruro de calcio anhidro; mientras que el ácido acético en solución y varios gases son adsorbidos por el negro de humo. Cuando existe duda del proceso que tiene lugar, a veces se emplea el término sorción.⁽⁶⁾

La diferencia entre la adsorción física y la quimisorción viene ilustrada por las curvas de energía-potencial que se muestran en la figura 24 para la adsorción de un gas diatómico X_2 sobre un metal M. La curva P representa la energía de interacción física entre M y X_2 . Esta incluye inevitablemente una contribución negativa de corto alcance (fuerza atractiva) que procede de las fuerzas de dispersión de London-van der Waals, y una contribución positiva de todavía más corto alcance (repulsión de Born) debida a un solapamiento de las nubes electrónicas. También se incluye una contribución atractiva de fuerzas de van der Waals si existen dipolos permanentes. La curva C representa la quimisorción en la que el adsorbato X_2 se disocia para dar $2X$. por esta razón se representa a distancias grandes una energía igual a la energía de disociación de X_2 . La curva también está caracterizada por un mínimo relativamente profundo, que representa el calor de quimisorción situado a una distancia menor de la superficie sólida que el mínimo relativamente poco profundo de la curva de adsorción física.

De estas curvas se desprende que la adsorción física inicial es una característica más importante que la quimisorción. Si no existiera la adsorción física, la energía de activación para la quimisorción sería igual a la alta energía de disociación de las moléculas del gas de adsorbato. En realidad, una molécula de gas de adsorbato se adsorbe primero físicamente, lo cual implica aproximarse a la superficie sólida por un camino de baja energía. La transición de adsorción física a quimisorción tiene lugar en el punto en que se cortan las curvas P y C, donde la energía es igual a la energía de activación para la quimisorción. La magnitud de esta energía de activación depende, por consiguiente, de la forma de las curvas de adsorción física y

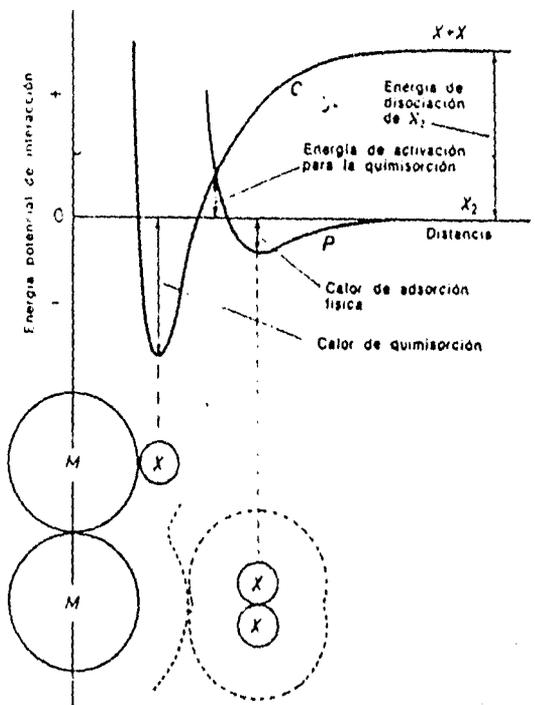


FIGURA 24.- CURVAS DE ENERGÍA POTENCIAL PARA ADSORCIÓN FÍSICA Y QUIMISORCIÓN.

quimisorción, y varía mucho de un sistema a otro; por ejemplo, es baja para la quimisorción de hidrógeno en la mayoría de las superficies de metales.⁽³²⁾

ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.

La relación entre la cantidad de sustancia adsorbida por un adsorbente y la presión o concentración de equilibrio a una temperatura constante se denomina isoterma de adsorción. Se han observado en general cinco tipos de isotermas en la adsorción de gases en sólidos, que se muestran en la figura 25. En los casos de la quimisorción sólo se presentan isotermas del tipo I, mientras que en la física tienen lugar los cinco casos.

En las isotermas del tipo I, la cantidad de gas adsorbido para una cantidad dada de adsorbente se incrementa con relativa rapidez con la presión y después más lentamente, conforme la superficie comienza a cubrirse con moléculas de gas. Para representar la variación de la cantidad de adsorción por unidad de área o de masa con la presión, Freundlich propuso la ecuación:

$$y = kP^{1/n} \quad \dots (69)$$

donde "y" es el peso o volumen de gas adsorbido por unidad de área o de masa de adsorbente, P es la presión de equilibrio, y k y n son constantes empíricas que dependen de la naturaleza del sólido y gas y de la temperatura. Esta ecuación se puede verificar de la manera siguiente: al tomar logaritmos de ambos lados de la ecuación (69) resulta:

$$\log_{10} y = \log_{10} k + 1/n \log_{10} P \quad \dots (70)$$

Si graficamos $\log_{10} y$ contra el $\log_{10} P$, resulta una línea recta, cuya pendiente es igual a $1/n$ y la ordenada en el origen es $\log_{10} k$.

TEORIA DE LA ADSORCIÓN DE LANGMUIR.

Langmuir consideró que la superficie de un sólido está formada por espacios elementales, cada uno de los cuales podría adsorber una molécula de gas. Supuso que todos los espacios elementales exhiben afinidad idéntica por la molécula gaseosa y que la presencia de ésta en un espacio no afectaba las propiedades de los espacios vecinos.

Si θ es la fracción de la superficie que ocupan las moléculas de gas, la velocidad de evaporación de la superficie es r_0 , donde r es la velocidad de evaporación de la superficie completamente cubierta a una temperatura dada. La velocidad de adsorción de las moléculas sobre la superficie es proporcional a la fracción del área que no está cubierta $(1 - \theta)$ y a la presión del gas. Por tanto la velocidad de condensación se expresa mediante $k(1 - \theta)P$ donde k es una constante a cierta temperatura e incluye un factor para considerar el hecho de que no toda molécula de gas que golpee un espacio desocupado podrá adherirse.

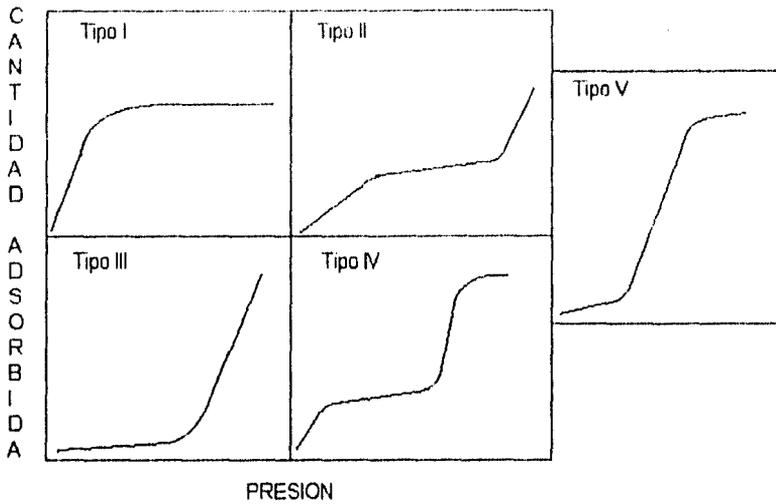


FIGURA 25. TIPOS DE ISOTERMAS DE ADSORCION.

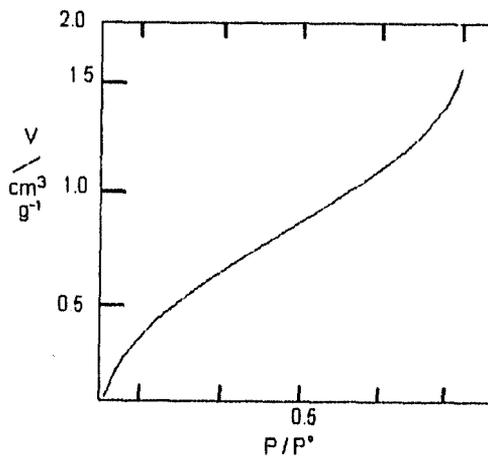


FIGURA 26. ISOTERMA DE ADSORCION DEL NITROGENO SOBRE EL CLORURO DE POTASIO FINAMENTE DIVIDIDO A 89.9 K.

En el equilibrio, la velocidad de evaporación del gas adsorbido es igual a la velocidad de condensación.

$$r_i = k(1 - \theta)P \quad \dots(71)$$

$$\theta = kP / r + kP = 1 / (1 + r/kP) \quad \dots(72)$$

$$\text{o} \quad P = (r/k) (\theta / 1 - \theta) \quad \dots(73)$$

Como el volumen v del gas adsorbido es proporcional a θ , la Ec. 72 puede expresarse

$$v = v_m / (1 + k'/P) \quad \dots(74)$$

donde v_m es el volumen de gas adsorbido cuando la superficie total se halla cubierta y $k' = r/k$.

En consecuencia, v es directamente proporcional a P a presiones muy bajas donde $k'/P \gg 1$. Conforme aumenta la presión, el volumen adsorbido se incrementa y se aproxima asintóticamente al valor de v_m .

Resulta conveniente determinar la constante k' y v_m trazando $1/v$ en función de $1/P$, ya que

$$1/v = 1/v_m + k'/v_m P \quad \dots(75)$$

Datos como los de la figura 26 no muestran la saturación asintótica y no proporcionan una gráfica lineal, salvo a presiones bajas. Por esta razón, la adsorción sobre sólidos es más compleja que lo que indica la teoría de Langmuir.

La deducción de la isoterma de adsorción de Langmuir involucra cinco suposiciones implícitas: (1) el gas adsorbido se comporta idealmente en la fase de vapor, (2) el gas adsorbido está confinado a una capa monomolecular, (3) la superficie es homogénea, o sea, la afinidad de las moléculas de gas por cada sitio de enlace es la misma, (4) no hay interacción lateral entre las moléculas de adsorbato y (5) las moléculas de gas adsorbidas están localizadas, es decir, no tienen movimiento sobre la superficie. A pesar de que la primera suposición es aceptable a presión baja, la segunda casi siempre deja de tener validez conforme aumenta la presión del gas adsorbido. A medida que la presión del gas tiende a la presión de saturación de vapor, el vapor se condensa sin limitación sobre todas las superficies si el ángulo de contacto θ es de cero, como se muestra en la figura 26. La tercera suposición no es confiable por que las superficies reales son heterogéneas; la afinidad de las moléculas de gas es diferente sobre caras cristalinas distintas, y las aristas, las cuarteaduras y las imperfecciones cristalinas generan diferentes tipos de sitios de enlace. La heterogeneidad conduce a una disminución de la energía de enlace conforme aumenta la cobertura de la superficie. Lo incorrecto de la cuarta suposición se demostró experimentalmente cuando se observó que en ciertos casos el calor de adsorción puede aumentar con la concentración superficial de las moléculas adsorbidas. Este efecto, el cual es opuesto al que se espera que resulte de la heterogeneidad de la superficie, es producto de atracciones laterales de las moléculas adsorbidas. La quinta suposición es incorrecta por que hay varios tipos de evidencia de que las películas superficiales pueden ser móviles.⁽²²⁾

ISOTERMAS DE LOS TIPOS II - V.

La explicación propuesta a los tipos de isotermas II y III es que la adsorción es en capas multimoleculares, es decir, lleva apareada la formación de muchas capas moleculares sobre la superficie en lugar de ser una sola. En base a este postulado Brunauer, Emmett y Teller derivaron para este tipo de isotermas la relación:

$$P / v(P^0 - P) = 1/v_m c + (c - 1/v_m c) P/P^0 \quad \dots(76)$$

En esta ecuación v es el volumen reducido a las condiciones estándar, del gas adsorbido a la presión P y temperatura T , P^0 la presión de vapor saturado del adsorbato a la misma T , v_m el volumen del gas adsorbido cuando la superficie se cubre con una capa unimolecular, reducido a las condiciones estándar, y c es una constante a una temperatura dada aproximadamente igual a:

$$c = e^{(E_1 - E_2)/RT} \quad \dots(77)$$

Aquí E_1 es el calor de adsorción de la primera capa, y E_2 es el de licuefacción del gas. Se deduce que las isotermas del tipo II se obtienen cuando $E_1 > E_2$ y las del tipo III cuando $E_1 < E_2$.

La ecuación (76) se comprueba al graficar $P / v(P^0 - P)$ contra P/P^0 . La gráfica debe ser una línea recta con una pendiente igual que $c - 1/v_m c$ y una intersección de $1/v_m c$. A partir de estos datos, es posible hallar v_m y también c .

Para explicar los tipos de isotermas IV y V se ha sugerido que las sustancias que llevan a cabo no sólo una adsorción de muchas capas moleculares sino también la condensación del gas en los poros y capilares del adsorbente. Los dos tipos surgen de nuevo de las magnitudes relativas de E_1 y E_2 . Cuando $E_1 > E_2$, se obtienen isotermas del tipo IV, mientras que cuando $E_1 < E_2$, resultan las del tipo V.

Aunque estas teorías explican relativamente bien las isotermas complejas, son insuficientes para explicar cuantitativamente todos los fenómenos observados.

ADSORCIÓN DE SOLUTOS POR SÓLIDOS.

Las superficies sólidas pueden adsorber también sustancias disueltas. Así, cuando una solución de ácido acético en agua se agita con carbón activado, disminuye la concentración de ácido en dicha solución. Análogamente se puede emplear el carbón activado para extraer el amoníaco de las soluciones de hidróxido amónico, fenolftaleína de las soluciones ácidas o básicas, etc. También el cloruro de plata recién precipitado tiende a adsorber a los iones cloro como plata dependiendo de cuales estén en exceso, mientras que el trisulfuro de arsénico tiende a adsorber los iones de azufre procedentes de las soluciones en que se precipitan. Por regla general el carbón activado es mucho más efectivo en adsorber no electrólitos que electrólitos desde una solución, y el grado de adsorción depende del peso molecular del adsorbato. Por el contrario, los sólidos inorgánicos tienden a adsorber electrólitos con mayor facilidad que los no electrólitos. Esta tendencia de los adsorbentes para atraer ciertas sustancias

de preferencia a otras, conduce en ocasiones al fenómeno de adsorción negativa, es decir, la concentración de un soluto se incrementa en realidad después de un tratamiento con el agente adsorbente. Las soluciones de cloruro potásico agitadas con negro de humo animal ofrecen un ejemplo al caso. La explicación sugerida para la adsorción negativa es la de que el solvente, en este caso agua, se adsorbe de preferencia al electrólito, y en consecuencia se eleva la concentración del soluto. Sin embargo, a concentraciones elevadas, el cloruro de potasio muestra adsorción positiva, siendo adsorbida la sal de preferencia al agua.

La adsorción a partir de las soluciones sigue en general los lineamientos establecidos antes para los gases y se halla sujeta a los mismos factores. Como se señaló anteriormente, algunos adsorbentes son más específicos que otros al atraer sustancias en la superficie. También conforme quedó establecido, el aumento de la temperatura hace decrecer el grado de adsorción y viceversa. La adsorción de solutos, como los gases, involucra el establecimiento de un equilibrio entre la cantidad adsorbida en la superficie y la concentración de sustancia en la solución. La variación del grado de adsorción con la concentración de soluto se encuentra establecido por la ecuación de Freundlich, que en este caso parece trabajar mejor que en el de los gases. A este fin, cabe escribir la ecuación (68), así:

$$y = kC^{1/n} \quad \dots(78)$$

donde "y" es la masa de sustancia adsorbida por unidad de la masa adsorbente, C es la concentración de soluto en el equilibrio, mientras que k y n son constantes empíricas. De nuevo, al tomar logaritmos de ambos miembros de la ecuación (78), resulta:

$$\log_{10} y = \log_{10} k + 1/n \log_{10} C \quad \dots(79)$$

y por lo tanto una representación gráfica del $\log_{10} y$ contra el $\log_{10} C$ debe ser lineal con una pendiente igual a $1/n$ y la intersección en el origen vale $\log_{10} k$. La figura 27 nos muestra una gráfica tal, basada en los datos obtenidos por la adsorción del acético a 25 °C desde una solución acuosa llevada a cabo por el negro de humo animal. En la figura y se expresa en gramos de ácido acético adsorbidos por gramo de adsorbente, mientras que C se expresa en moles por litro. De la pendiente e intersección con el eje de ordenadas de la línea recta encontramos que $n=2.32$, $k=0.160$ y, por tanto, de estos datos resulta que para una temperatura de 25 °C $y = 0.160 C^{1/2.32}$. (6)

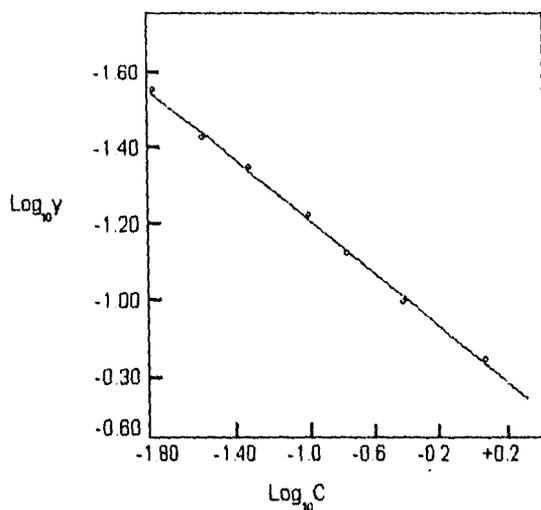


FIGURA 27. APLICACION DE LA ECUACION DE FREUNDLICH A LA ADSORCION DEL ACIDO ACETICO POR EL NEGRO DE HUMO A 25°C.

EXPERIMENTO PARA ILUSTRAR LA ISOTERMA DE LANGMUIR.

El adsorbente utilizado en el experimento es arena café para construcción, la cual primeramente se cieme para remover partículas de diámetro mayor o igual a 1mm. La arena se lava varias veces con grandes cantidades de agua y finalmente se seca en un horno a 100 °C.

Una muestra comercial disponible de la sal de cloruro del colorante básico, verde de malaquita (CI 4200) es utilizada para preparar dos soluciones abastecedoras con 25% de metanol-agua(v/v), la primera disolución abastecedora (disolución A) tendrá una absorbancia de aproximadamente 2.0 y la segunda (disolución B) con una absorbancia de aproximadamente 1.0, cuando se mide a la longitud de onda máxima del colorante (610 nm.) y en una celda de 1.0 cm. El valor para la absorptividad molar para el colorante en la longitud de onda máxima se encontró de $6.0 \cdot 10^4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, y ésta da un valor para la concentración de la disolución A de $3.3 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$. Se pesan lo más preciso posible muestras de 1.0 g. de la arena, éstas se colocan en 8 matraces erlenmeyer de 250 ml., a continuación se agrega la solución respectiva en cada matraz siguiendo el orden mostrado en la tabla.

Experimento #	Volúmenes Recomendados	
	Vol. de disolución A (ml)	Vol. de disolución B (ml)
1	25	----
2	40	----
3	80	----
4	80	----
5	100	----
8	150	----
7	----	25
8	----	40

Los matraces se tapan con tapones de goma o caucho, después envolverlos con hojas de metal y agitarlos vigorosamente en un agitador mecánico por 2.5 horas. Al finalizar la agitación las absorbancias de las disoluciones en los matraces son medidas a la longitud de onda máxima del colorante. Algunas de las disoluciones en especial las de volúmenes pequeños, donde se observa un poco de turbiedad al término de las 2.5 horas, son centrifugadas antes de medir su absorbancia.⁽⁴³⁾

CAPITULO 7

PROYECTOS

EL PROYECTO EXPERIMENTAL.

El proyecto experimental tiene la finalidad de que el alumno ponga en práctica los conocimientos adquiridos durante el curso, mediante el desarrollo de un tema en particular de su interés relacionado con la materia y que combine tanto el aspecto teórico como el aspecto práctico. Por lo que se le debe de prestar atención especial en su realización y no ser considerado como un simple requisito para aprobar la materia. Es en realidad en este punto donde el alumno puede hacer derroche de su creatividad, empleando todos los recursos tanto materiales como humanos que se encuentren a su alcance, para lograr un trabajo de calidad. Donde la primera persona que debe de quedar completamente satisfecha con el trabajo realizado es el propio alumno, por desgracia esto en la práctica es solo una utopía.

Entre los factores que en la actualidad impiden que se realicen los proyectos con el grado de calidad que merecen, se encuentran entre otros: el poco tiempo que tienen los alumnos para efectuarlos, debido a que se le otorga más tiempo del semestre para cubrir el programa de prácticas y además de que es poco el tiempo real de laboratorio, considerando los días feriados y que éste trabajo debe terminarse antes de que acabe el semestre; dando como resultado que algunos de los grupos pierdan horas de laboratorio y traten de reponerse en otros horarios y no en las mejores condiciones. Esto provoca que no se cuente con tiempo suficiente para realizar el proyecto y por consecuencia presentando trabajos que en algunas ocasiones resultan verdaderamente mediocres.

Una de las formas en que se puede ayudar a mejorar esta situación es involucrando al alumno en la realización de su proyecto con suficiente anticipación, proporcionando orientación, desde la forma en que debe de presentarse el trabajo, hasta dar información sobre los temas que se pueden desarrollar y los lugares donde se localiza la información pertinente. De acuerdo con lo expuesto en las líneas anteriores, a continuación se presenta una pequeña bibliografía con algunos de los temas relacionados con la materia y que pueden ser utilizados como una buena orientación del tema requerido; toda esta información se encuentra disponible en la biblioteca y hemeroteca de la Facultad de Química de la U.N.A.M.

ADHESIVOS.

- 1.- Norma ASTM, D1084-88, Parte 15. Standard test methods for viscosity of adhesives.
- 2.- Norma ASTM, D1337-91, Parte 15. Standard test method for storage life of adhesives by consistency and bond strength.
- 3.- Norma ASTM, D2556-91, Parte 15. Standard test method for apparent viscosity of adhesives having shear-rate-dependent flow properties.
- 4.- Norma ASTM, D2918-71, Parte 15. Standard practice for determining durability of adhesives joints stressed in peel.
- 5.- Norma ASTM, D3808-79, Parte 15. Standard practice for qualitative determination of adhesion of adhesives to substrates by spot adhesion test method.
- 6.- Norma ASTM, D3930-90a, Parte 15. Standard specification for adhesives for wood-based materials for construction of manufactured homes.

ÁNGULO DE CONTACTO.

- 1.- Pirie J.,S.B., Gregory W.,D. The measurement of wettability.
J.Chem.Educ. 50,(10),682-684,(1973).
- 2.- Young A.,J., Phillips J.,R. An indirect method for the measurement of contact angles.
J.Chem.Educ. 43,(1),36-37,(1966).
- 3.- Lopez R.,A., Cerro R.,L. Liquid filament rise in corners of square capillaries: a novel method for the measurement of small contact angles.
Chem.Eng.Sci. 49,(14),2395-2398,(1994).
- 4.- Hidalgo V.,A. Medición de ángulos de contacto de mercurio soportes de catalizador y su influencia en la caracterización de sólidos porosos. Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. México 1994.
- 5.- Saldaña V.,E. Estudio de superficies de biomateriales cerámicos empleo de la técnica de ángulos de contacto. Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M. México 1994.
- 6.- Tomlinson, F. Jr., Patterson H.,T. A simple method for measuring solid-liquid contact angles. J.Colloid Sci. 18,217-222,(1963).

ANILLOS DE LIESEGANG.

- 1.- Hueda, Y., Irazoque, G., Talanquer, V. Los anillos del tiempo.
Educación Química. 4,(4),202-207,(1993).

CAPILARIDAD.

- 1.- Carnali O.,J., Kotkin A.,C. Determination of the capillary nature of simple woven textiles.
J.Colloid Interface Sci. 159,319-323,(1993).

CELDA HELE-SHAW.

- 1.- Walker, J. Fluid interfaces including fractal flows can be studied in a Hell-Shaw cell. Scientific American. 257,(5).134-138,(1987).

COAGULACIÓN.

- 1.- Nowicki, W., Nowicka, G. Verification of the Schulze-Hardy rule. J.Chem.Educ. 71,(7).824-826,(1994).
- 2.- Nowicki, W., Nowicka, G. Coagulation Kinetics. J.Chem.Educ. 68,(6).523-525,(1991).
- 3.- Trujillo S.,L.C. Estudio experimental comparativo para remover arsenico y plomo del agua por coagulación, sembrado e inducción magnetica. Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. México 1994.
- 4.- Juárez R.,V.A. Influencia del uso de coagulantes en la filtración de efluentes secundarios. Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M. México 1990.
- 5.- Timasheff N.,S. Turbidity as a criterion of coagulation. J. Colloid Interface Sci. 21,489-497,(1966).

COLOIDES.

- 1.- Dalas, E., Koutsoukos P.,G. An inexpensive device for the measurements of particle size distribution. J.Chem.Educ. 67,(4).356-357,(1990).
- 2.- Ueno, K., Kina, K. Colloid titration -a rapid method for the determination of charged colloid. J.Chem.Educ. 62,(7).627-629,(1985).
- 3.- Friberg S.,E., Bendixsen, B. A simple experiment illustrating the esturcture of association colloids. J.Chem.Educ. 56,(8).553-555,(1979).
- 4.- Mejía D.,M.R. Uso e importancia de algunos hidrocoloides aplicados a productos carnicos. Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M. México 1990.
- 5.- Walker, J. The physics and chemistry of a failed sauce béarnaise. Scientific American 241,(6).178-190,(1979).

DETERGENTES.

- 1.- Grompone M.,A. Determination of iron in a bar of soap. J.Chem.Educ. 64,(12).1057-1058,(1987).
- 2.- Kriz S.,G., Kriz D.,K. Analysis of phosphates in detergents. J.Chem.Educ. 48,(8).551-552,(1971).
- 3.- Bossert R.,G. The metallic soaps. J.Chem Educ. 27,(1).10-15,(1950).
- 4.- Ruiz M., M.A. El desarrollo de los jabones y detergentes en México. Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M. México 1992.

5 - Fernández R.,S. Determinación de propiedades fisicoquímicas en champúes.

Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M. México 1990.

EMULSIONES.

- 1.- Aronson P.,M., Petko F.,M. Highly concentrated water-in-oil emulsions: influence of electrolyte on their properties and stability. *J.Colloid Interface Sci.* 159,134-149,(1993).
- 2.- Elworthy P.,H., Florence A.,T., Rogers J.,A. Stabilization of oil-in-water emulsions by nonionic detergents. *J.Colloid Interface Sci.* 35,(1),34,(1971).
- 3.- Davies S. S. The properties of emulsions stabilized by mixtures of anionic surfactant and anionic polyelectrolyte. *J.Colloid Interface Sci.* 35,(4),665,(1971).
- 4.- Saito, H., Shinoda, K. The stability of w/o type emulsions as a function of temperature and of the hydrophilic chain length of the emulsifier. *J.Colloid Interface Sci.* 32,(4),647,(1970).
- 5.- Valverde L.,C.G. Polimerización de estireno en emulsión iniciada por microondas.
Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M. México 1993.
- 6.- Avilés A.,M.C. Estudio experimental del comportamiento de la dolomita sobre las emulsiones inversas en la perforación, terminación y reparación de pozos petroleros.
Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M. México 1993.
- 7.- Rodríguez J.,M. Nucleación y fenómenos interfaciales en la polimerización en emulsión.
Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M. México 1991.
- 8.- Martínez H.,J.I. Polimerización en emulsión inversa. Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M.
México 1990.
- 9.- Norma ASTM, D1290-82, Parte 15. Standard test method for sediment in water-emulsion polishes by centrifuge.
- 10.- Norma ASTM, D1793-87, Parte 15. Standard test method for water spotting of emulsion for polishes.

ESPUMAS.

- 1.- Garrett R.,P., Moore R.,P. Foam and dynamic surface properties of micellar alkyl benzene sulphonates. *J.Colloid Interface Sci.* 159,214-225,(1993).
- 2.- Rossen R.,W., Shi, J., Zeilinger S.,C. Percolation modeling of foam generation in porous media. *AIChE J.* 40,(8),1082,(1994).
- 3.- Kunii, M., Hosokai, K., Yamaguchi, K., Onodera, M., Ohkawa, A. Changes in liquid hold-up in foam and size of foam by perforated plates and contribution to mechanical foam-breaking. *Canadian J.Chem.Eng.* 72,212,(1994).
- 4.- Norma ASTM, D1173-53, Parte 15. Standard test method for foaming properties of surface active agents.

- 5.- Norma ASTM, D4009-81, Parte 15 Standard test method for foam stability of hand dishwashing detergents.
- 6.- Walker, J. Reflections on the rising bubbles in a bottle of beer. *Scientific American* 245,(6),172-178,(1981).
- 7.- Norma ASTM, D3510-88, Parte 5. Standard test method for foam in aqueous media (blender test).
- 8.- Norma ASTM, D3601-88, Parte 5. Standard test method for foam in aqueous media (bottle test).

FLOCULACIÓN

- 1.- Álvaro, M., Esplá, M., Llinares, J. A small-scale, easy-to-run wastewater-treatment plant. *J.Chem. Educ.* 70,(5),A127-A133,(1993).
- 2.- Crees O.,L., Senogles, E. An improved demonstration of colloid flocculation. *J.Chem.Educ.* 63,(8),715-716,(1986).
- 3.- Solís T.,A. Electroflocculación para el tratamiento de aguas residuales industriales. Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M. México 1992.
- 4.- Morales G.,E. Diseño de una planta piloto para la remoción de arsénico del agua de pozos, mediante el proceso de coagulación-floculación. Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M. México 1990.
- 5.- Norma ASTM, D2035-80, Parte 11. Standard practice for coagulation-flocculation jar test of water.

GELES.

- 1.- Suib S.,L. Crystal growth in gels. *J.Chem.Educ.* 62,(1),81-82,(1985).

HUMECTACIÓN.

- 1.- Norma ASTM D5039-90, Parte 15. Standard test methods for identification of wire side of paper.

ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.

- 1.- Potgieter J.,H. Adsorption of methylene blue on activated carbon. *J.Chem.Educ.* 68,(4),349-350,(1991).
- 2.- Brina, R., De Battistí, A. Determination of the specific surface area of solids by means of adsorption data. *J.Chem.Educ.* 64,(2),175-176,(1987).
- 3.- Dandy A.,J. Adsorption isotherm using a colorimetric method. *J.Chem.Educ.* 41,(1),47-48,(1964).

- 4 - Boleslaw L.,D. Surface area of activated charcoal by Langmuir adsorption isotherm
J.Chem.Educ. 38 (7) 357-358,(1961).
- 5 - Garfias, F.J. The hydrogen bond formation theory of surface activity Aqueous solutions of nonelectrolytes at the liquid-air interface. J.Chem Phys 75 (7),3615-3623,(1981).
- 6 - Luna T.,D.M. Isotermas de adsorción de nitrato de níquel, nitrato de cobalto y heptamolibdato de amonio en titanio Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M. México 1991.

MICELAS.

- 1 - Goodling, K., Johnson, K., Lefkowitz L., Wesley, W.B., Luminescent characterization of sodium dodecyl sulfate micellar solution properties. J.Chem.Educ. 71,(1),A8-A12,(1994).
- 2.- Abuin E.,B., Lissi E.,A. Substrate partitioning and chemical equilibrium in a micellar solution. J.Chem.Educ. 69,(4),340-342,(1992).
- 3 - Franklin C.,T., Benson B.,S. When are two aqueous salt solutions insoluble in each other. J.Chem.Educ. 63,(9),821-822,(1986).
- 4.- Shah S.,S., Henschel L.,G. Absorption spectroscopy in homogeneous and micellar solutions. J.Chem.Educ. 60,(8),685-686,(1983).
- 5.- McFann J.,G., Johnston P.,K.. Solubilization in nonionic reverse micelles in carbon dioxide. AichE J. 4,(3),543,(1994).
- 6.- Ichikawa ,S., Imai, M., Shimizu, M. Solubilizing water involved in protein extraction using reversed micelles. Biotechnology and Bioengineering. 39,20-26,(1992).
- 7.- Ayala A.,G., Kamat, S., Beckman J.,E. Protein extraction and activity in reverse micelles of anionic detergent. Biotechnology and Bioengineering. 39,806-814,(1992).
- 8.- Oh S.,G., Shah D.,O. The effect of micellar lifetime on the rate of solubilization and detergency in sodium dodecyl sulfate solutions. JAOCS 70,(7),673-678,(1993).
- 9.- Herrmann K.,W. Micellar properties of some zwitterionic surfactants. J.Colloid Interface Sci. 22,305-359,(1966).

MICROEMULSIONES.

- 1.- Casado ,J., Izquierdo, C., Fuentes, S. Microemulsions as a new working medium in physical chemistry. J.Chem.Educ. 71,(5),446-450,(1994).
- 2.- Mathias L.,J., Moore D.,R. A simple, inexpensive molecular weight measurement for water-soluble polymers using microemulsions. J.Chem.Educ. 62,(6),545-548,(1985).
- 3.- Ajith C.,J., Animesh K.,R. Formation of microemulsion: effect of temperature and polyacrylamide. J.Colloid Interface Sci. 156,202-206,(1993).

- 4.- Pfammatter, N., Hochköppler, A., Luisi P.,L. Solubilization and growth of candida pseudotropicalis in water-in-oil microemulsions. *Biotechnology and Bioengineering* 40,167-172,(1992).
- 5.- Famiglietti, M., Hochköppler, A., Wehrli, E., Luisi P., L. Photosynthetic activity of cyanobacteria in water-in-oil microemulsions. *Biotechnology and Bioengineering*. 40,173-178,(1992)
- 6.- Sanz C., A., Bidner M., S., Cena N., H. Estudio experimental de las microemulsiones utilizables en los procesos de inundación química de yacimientos petrolíferos. *Revista del IMP* 20,(4),46-59,(1988).

MOJADO.

- 1.- Roquero, P., Talanquer, V., Irazoque, G. ¿ Cuándo Moja? ¿ Cuándo No?. *Educación Química*. 3,(3),214-220,(1992).
- 2.- Norma ASTM, D1913-83. Parte 15. Standard test method for resistance to wetting of garment-type leathers (spray test).

SOLUBILIDAD.

- 1.- Trammell G.,L. When oil and water do not mix. *J.Chem.Educ.* 64,(12),1022-1023,(1987).

TENSIÓN INTERFACIAL.

- 1.- Ahmad, J. Interfacial spreading. *J.Chem.Educ.* 52,(8),534-535,(1975).
- 2.- Chavepeyer, G., Platten J.,K. Interfacial tension measurements by the ring method in partially miscible liquids near a consolute critical temperature. *J. Colloid Interface Sci.* 155,92-97,(1993).
- 3.- Norma ASTM, D1331-89, Parte 15. Standard test method for surface and interfacial tension of solutions of surface active agents.
- 4.- Walker, J. Funny things happen when drops of oil or other substances are placed on water. *Scientific American* 249,(6),146-154,(1983).
- 5.- Norma ASTM, D971-82. Parte 5. Standard test method for interfacial tension of oil against water by the ring method.

TENSIÓN SUPERFICIAL.

- 1.- Meyer F.,E., Wyshe M.,G. The cross-sectional area of the t-butyl group from surface tension data. *J.Chem.Educ.* 63,(11),996-997,(1986).
- 2.- Sanchez R.,M., Gordillo, B., Rushforth S.,D. An inexpensive Du Nuoy tensiometer. *J.Chem.Educ.* 60,(1),70-71,(1983).

- 3.- Henderson C.,D., Micale J.,F. Dynamic surface tension measurement with the drop mass technique. *J.Colloid Interface Sci.* 158,289-294,(1993).
- 4.- Castilho P. S.G.,C.M., Catarino, F.A., Vieira S.A.,J.B. The surface tension of cork from contact angle measurements. *J.Colloid Interface Sci.* 156,195-201,(1993).
- 5.- Pike P.,F., Bonnet C.,J. The end correction in the Wilheimy technique for surface tension measurements. *J.Colloid Interface Sci.* 34,(4),597,(1970).
- 6.- Chen G.,X., Afacan, A., Chuang K.,T. Effects of surface tension on tray point efficiencies. *Canadian J.Chem.Eng.* 72,814,(1994).
- 7.- Moya N.,L.M. Medición de la tensión superficial en sistemas polieter lineal + alcano lineal en las cercanías del punto crítico. Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M. México 1991.
- 8.- Munguía L.,R.H. Efecto de la tensión superficial en la polimerización en emulsión. Tesis Lic.Fac de Química U.N.A.M. México 1990.
- 9.- Norma ASTM, D1590-60, Parte 11. Standard test method for surface tension of water.
- 10.- Boucher E.,A., Grinchuk T.,M., Zettlemoyer A.,C. Measurement of surface tensions of surfactants solutions. *J.Colloid Interface Sci.*23,600-603,(1967).

TENSOACTIVOS.

- 1.- Crisp P.,T., Eckert J.,M., Gibson N.,A. The determination of anionic surfactants in natural and waste waters. *J.Chem.Educ.* 60,(5),104-105,(1983).
- 2.- Saito, S. Behavior of some solubilizates in nonionic surfactant-poly(acrylic acid) complexes at low temperature. *J.Colloid Interface Sci.* 158,77-84,(1993).
- 3.- Smolen F.,V., Grimwood D.,L. An in vivo study of the interaction of ionic surfactants with human epidermis. *J.Colloid Interface Sci.* 36,(3),308,(1971).
- 4.- Uchiyama, H., Christian D.,S., Tucker E.,E. Solubilization of trichloroethylene by polyelectrolyte surfactant complexes. *AlchE J.* 40,(12),1969,(1994).
- 5.- Drouin C.,M., Cooper D.,G. Biosurfactants and Aqueous two-phase fermentation. *Biotechnology and Bioengineering* 40,86-90,(1992).
- 6.- Park J.,W., Takahata, Y., Kajuchi, T., Akehata, T. Effects of nonionic surfactant on enzymatic hydrolysis of used newspaper. *Biotechnology and Bioengineering* 39,117-120,(1992).
- 7.- Chiwetelu C.,I., Hornof, V., Neale G.,H. Use of mixed surfactants to improve the transient interfacial tension behaviour of heavy oil/alkaline systems. *Canadian J.Chem.Eng.* 72,534,(1994).

CAPITULO 8

PROPUESTA DE LA GUIA EXPERIMENTAL Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA.

Anteriormente en los capítulos 2,3,4,5 y 6 se ha presentado un marco teórico, de lo que se considera como el conocimiento indispensable que el alumno debe de adquirir, durante el curso de laboratorio de Fenómenos de Superficie.

En este capítulo se presenta primero el formato propuesto que se le dará al alumno para cada experimento, a continuación algunos resultados del experimento citado y además de el análisis de resultados respectivo, todo esto; con el objetivo de concluir la presentación del trabajo de esta tesis.

Solamente el formato de la primera sesión de laboratorio no presenta resultados, ni análisis de estos, por tratarse de experimentos demostrativos.

Todo el trabajo de experimentación que se presenta se realizó con el equipo y substancias con que cuenta el laboratorio de Fenómenos de Superficie (Laboratorio 4-E anexo).

TENSIÓN SUPERFICIAL E INTERFACIAL

OBJETIVO.

Confirmar la evidencia física del fenómeno de tensión superficial y/o interfacial.

PROBLEMA.

Proponer algunos experimentos sencillos donde se observe el efecto de la tensión superficial y la tensión interfacial respectivamente.

CUESTIONARIO.

- 1.- Defina el concepto de tensión superficial.
- 2.- Defina el concepto de tensión interfacial.
- 3.- Mencione algunas de las unidades en que se expresa la tensión superficial.
- 4.- Describa detalladamente al menos dos experimentos donde sea apreciable el fenómeno de tensión superficial y dos sobre la tensión interfacial.
- 5.- Mencionar al menos tres procesos industriales, en donde los fenómenos superficiales sean de importancia fundamental para el desarrollo de dichos procesos; en cada caso explicar en qué etapa del proceso su aplicación es fundamental.

BIBLIOGRAFÍA.

- Levine I., N. Físicoquímica McGraw-Hill México 1981.
- Young D., H. University Physics Addison-Wesley U.S.A. 1992.
- Sears W., F. & Zemansky W., M. Física Universitaria SITESA México 1988.
- Sutton M., R. Demonstration Experiments in Physics McGraw-Hill U.S.A. 1938.
- Toral, M.T. Físicoquímica de Superficies y Sistemas Dispersos. Ediciones Urma España 1973.
- Prall R., B. Demonstrations of interfacial phenomena. J.Chem.Educ. 68,(7),592,(1991).
- McCulloch,L. Demonstrating interfacial tension. J.Chem.Educ. 26,(6),338,(1949).

MEDICIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL

OBJETIVO

Comprender el fundamento de algunos métodos para medir experimentalmente la tensión superficial, y comparar los errores experimentales obtenidos.

PROBLEMA.

Ordene en forma decreciente de precisión los siguientes métodos experimentales: Tensiómetro de Du Noüy, estalagmómetro, pesada de gota y ascenso capilar (doble y sencillo).

CUESTIONARIO.

- 1.- Describa con precisión lo que mide cada uno de los métodos empleados.
- 2.- ¿Alguno de los métodos mide directamente la tensión superficial?
- 3.- En aquellos métodos en los cuales la medición sea indirecta, ¿Cómo se relaciona la variable con la tensión superficial?
- 4.- En el uso del Tensiómetro de Du Noüy es necesario observar con cuidado que se mide también el peso del líquido que carga el anillo, ¿Cómo se puede excluir esta fuerza de aquella de la tensión superficial?
- 5.- ¿Considera usted que el diámetro del capilar afecta en la determinación experimental de la tensión superficial, tanto en el método del estalagmómetro como en el de pesada de gota?. Explicar.
- 6.- ¿Es posible determinar la tensión superficial por el método de Ascenso capilar a cualquier tipo de líquido? ¿Todos los líquidos ascienden por el capilar?. Justifique ambas respuestas.

BIBLIOGRAFÍA.

- Gonzales P., C.H. Reestructuración y actualización del programa experimental de fisicoquímica farmacéutica. Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. 1988.
- Adamson A.,W. Physical chemistry of surfaces John Wiley & Sons N.Y. 1990.
- Garfias F.J., Toral M.T. Métodos de determinación de tensiones superficiales e interfacial y su clasificación por la simetría de la intercara. Revista de la Sociedad Química Mexicana. 22,(3),(1978).
- Sanchez C. S. Curva de Coexistencia líquido-líquido y propiedades de superficie del sistema HEE + agua. Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M. 1987.

ABREVIATURAS DE LAS HOJAS DE CÁLCULO.

Para el método del capilar sencillo:

Altura 1= La altura donde se encuentra la base del capilar con la superficie del líquido(cm).

Altura 2= La altura hasta donde sube la columna del líquido (cm).

delta h= Diferencia entre la altura 2 y la altura 1 (cm).

a^2 = Constante del capilar al cuadrado (cm^2).

r/a = Radio del tubo entre la constante del capilar.

r/b = Radio del tubo entre el radio de curvatura del punto más bajo del menisco.

b= Radio de curvatura del punto más bajo del menisco (cm).

Ten. Sup. = Tensión superficial (N/m^2 o dinas/cm).

% Error = Porcentaje de error experimental (se compara contra un valor reportado en la literatura).

Para el método del doble capilar:

h_1 = Altura que alcanza la columna de líquido en el primer capilar (cm).

h_2 = Altura que alcanza la columna de líquido en el segundo capilar (cm).

delta h= Diferencia de alturas entre h_1 y h_2 (cm).

K = Constante del equipo.

Ten. Sup.= Tensión superficial (dinas/cm).

% Error= Porcentaje de error experimental (se compara contra un valor reportado en la literatura).

Para el método del anillo:

Valor = Es el valor que proporciona el tensiómetro (dinas/cm).

P= Tiro total del anillo (dinas).

M= Peso del líquido levantado (gramos).

V= Volumen del líquido levantado (cm^3).

R^3/V = Radio del anillo al cubo entre el volumen del líquido levantado.

R/r = Radio del anillo entre el radio del alambre.

Ten.Sup.= Tensión superficial (dinas/cm).

% Error = Porcentaje de error experimental (se compara contra un valor reportado en la literatura).

CUADRO 1.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DE LA
ACETONA A 23 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL CAPILAR SENCILLO.							
Lectura	Altura 2	Altura 1	delta h.	a ²	r / a	r / b	b
	cm	cm	cm	cm ²		de tablas	cm
1.-	74.115	73.84	0.475	0.05841	0.48735	0.9346	0.11878
2.-	74.13	73.82	0.51	0.0604	0.45165	0.9372	0.11843
3.-	74.135	73.655	0.48	0.057	0.48492	0.9346	0.11878
4.-	74.12	73.625	0.495	0.05862	0.45845	0.9372	0.11843
5.-	74.11	73.83	0.48	0.057	0.48492	0.9346	0.11878
6.-	74.135	73.635	0.5	0.05921	0.45816	0.9372	0.11843
7.-	74.135	73.81	0.525	0.062	0.44578	0.9398	0.11811
8.-	74.11	73.895	0.415	0.04971	0.49785	0.9265	0.1198
9.-	74.11	73.81	0.5	0.05921	0.45816	0.9372	0.11843
10.-	74.085	73.675	0.41	0.04927	0.50007	0.9236	0.12018
Lectura	a ²	Ten. Sup.	Ten. Sup.	% de Error			
	cm ²	N / m ²	dinas / cm				
1.-	0.05272	0.020391	20.39189	13.9583			
2.-	0.05661	0.021894	21.89445	7.8183			
3.-	0.05328	0.020608	20.60654	13.0528			
4.-	0.05494	0.02125	21.25049	10.3355			
5.-	0.05328	0.020608	20.60654	13.0528			
6.-	0.0555	0.021465	21.46514	9.4297			
7.-	0.05827	0.022538	22.5384	4.9012			
8.-	0.04606	0.017816	17.81607	24.8267			
9.-	0.0555	0.021465	21.46514	9.4297			
10.-	0.04551	0.017601	17.60142	25.7324			

CUADRO 2.- RESULTADOS DE TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA

A 23 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL CAPILAR SENCILLO.

Lectura	Altura 2 cm	Altura 1 cm	della h cm	a ² cm ²	r / a	r / b de tablas	b cm
1.-	74.56	73.345	1.215	0.13863	0.37233	0.9728	0.114103
2.-	74.56	73.2	1.36	0.15489	0.39356	0.9746	0.113892
3.-	74.6	73.285	1.315	0.14976	0.387	0.9746	0.113892
4.-	74.56	73.29	1.27	0.14491	0.38067	0.9728	0.114103
5.-	74.5	73.2	1.3	0.14806	0.38478	0.9746	0.113892
6.-	74.57	73.3	1.27	0.14491	0.38067	0.9728	0.114103
7.-	74.585	73.305	1.28	0.14605	0.38216	0.9728	0.114103
8.-	74.54	73.26	1.28	0.14605	0.38216	0.9728	0.114103
9.-	74.545	73.3	1.245	0.14205	0.3769	0.9728	0.114103
10.-	74.545	73.305	1.24	0.14148	0.37614	0.9728	0.114103
Lectura	a ² cm ²	Ten. Sup. N / m ²	Ten. Sup. dinas / cm	% de Error			
1.-	0.138635	0.067665	67.6656	7.2311			
2.-	0.154894	0.075601	75.60136	3.6487			
3.-	0.149769	0.073099	73.09993	0.2193			
4.-	0.144911	0.070728	70.72882	3.0315			
5.-	0.14806	0.072265	72.26579	0.9243			
6.-	0.144911	0.070728	70.72882	3.0315			
7.-	0.146052	0.071285	71.28572	2.2680			
8.-	0.146052	0.071285	71.28572	2.2680			
9.-	0.142059	0.069336	69.3366	4.9399			
10.-	0.141488	0.069058	69.0581	5.3220			

CUADRO 3.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DEL DECANO
A 23 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL CAPILAR SENCILLO

Lectura	Altura 2 cm	Altura 1 cm	delta h. cm	a ² cm ²	r / a	r / b de tablas	b cm
1.-	73.875	73.08	0.595	0.06989	0.41985	0.9474	0.117162
2.-	73.555	72.995	0.56	0.06595	0.4322	0.9424	0.117784
3.-	73.735	72.94	0.595	0.06989	0.41985	0.9474	0.117162
4.-	73.385	72.94	0.445	0.05315	0.48146	0.9293	0.119444
5.-	74	73.4	0.6	0.07029	0.41865	0.9474	0.117162
6.-	73.715	73	0.715	0.08314	0.38494	0.9545	0.116291
7.-	73.455	72.94	0.515	0.06099	0.44944	0.9398	0.11811
8.-	73.485	72.94	0.525	0.062	0.44576	0.9398	0.11811
9.-	73.335	72.845	0.49	0.05819	0.46012	0.9346	0.118767
10.-	73.285	72.705	0.59	0.0693	0.42162	0.9449	0.117472
	a ² cm ²	Ten. Sup. N / m ²	Ten. Sup. dinas / cm	% de Error			
1.-	0.069711	0.024885	24.88559	4.4297			
2.-	0.065959	0.023546	23.5462	1.1909			
3.-	0.069711	0.024885	24.88559	4.4297			
4.-	0.053152	0.018974	18.97432	20.3763			
5.-	0.070297	0.025094	25.09479	5.3076			
6.-	0.083148	0.029682	29.68237	24.5588			
7.-	0.060828	0.021713	21.71381	8.8604			
8.-	0.062007	0.022135	22.1354	7.1112			
9.-	0.058196	0.020774	20.77494	12.8202			
10.-	0.069308	0.024741	24.74173	3.8280			

CUADRO 4.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DE LA GLICERINA A 23 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL CAPILAR SENCILLO.

Lectura	Altura 2 cm	Altura 1 cm	delta h. cm	a ² cm ²	r / a	r / b de tablas	b cm
1.-	74.025	73.26	0.765	0.08875	0.37257	0.9587	0.11602
2.-	73.95	73.11	0.84	0.09702	0.35635	0.961	0.1155
3.-	74.04	73.22	0.82	0.09492	0.38028	0.9589	0.11575
4.-	73.995	73.15	0.845	0.0976	0.3553	0.961	0.1155
5.-	73.99	73.22	0.77	0.08933	0.37138	0.9587	0.11602
6.-	73.88	73.01	0.85	0.09817	0.35425	0.961	0.1155
7.-	74.025	73.13	0.895	0.10315	0.3456	0.9631	0.11525
8.-	74.12	73.22	0.9	0.10372	0.34464	0.9631	0.11525
9.-	73.77	73.275	0.495	0.05882	0.45843	0.9372	0.11843
10.-	74.03	73.175	0.855	0.09875	0.35321	0.961	0.1155
Lectura	a ² cm ²	Ten. Sup. N / m ²	Ten. Sup. dinas / cm	% de Error			
1.-	0.088758	0.054725	54.72516	12.5796			
2.-	0.097023	0.059821	59.82107	4.4392			
3.-	0.094992	0.058525	58.52505	6.5095			
4.-	0.097601	0.060177	60.17745	3.8689			
5.-	0.089338	0.055082	55.08278	12.0084			
6.-	0.088178	0.060533	60.53321	3.3016			
7.-	0.103151	0.063599	63.59939	1.5965			
8.-	0.103727	0.063954	63.95453	2.1638			
9.-	0.058828	0.036146	36.14679	42.2575			
10.-	0.098756	0.060880	60.88958	2.7323			

CUADRO 5 - RESULTADOS DE LA TENSION SUPERFICIAL DEL METANOL

A 23 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODGO DEL CAPILAR SENCILLO

Lectura	Altura 2 cm	Altura 1 cm	delta h cm	a ² cm ²	r / a	r / b de tablas	b cm
1.-	73.875	73.385	0.49	0.05819	0.46012	0.9348	0.11876
2.-	73.875	73.465	0.41	0.04927	0.50005	0.9238	0.12018
3.-	73.86	73.38	0.48	0.057	0.48489	0.9348	0.11876
4.-	73.855	73.365	0.49	0.05819	0.46012	0.9348	0.11876
5.-	73.845	73.325	0.52	0.06141	0.44789	0.9398	0.11811
6.-	73.83	73.34	0.49	0.05819	0.46012	0.9348	0.11876
7.-	73.83	73.335	0.495	0.05862	0.45843	0.9372	0.11843
8.-	73.82	73.33	0.49	0.05819	0.46012	0.9348	0.11876
9.-	73.82	73.325	0.495	0.05862	0.45843	0.9372	0.11843
10.-	73.79	73.375	0.415	0.04971	0.4978	0.9265	0.1198

Lectura	a ² cm ²	Ten. Sup. N / m ²	Ten. Sup. dinas / cm	% de Error
1.-	0.058196	0.022513	22.51354	0.3825
2.-	0.049274	0.019062	19.062	15.6549
3.-	0.057008	0.022053	22.05395	2.4161
4.-	0.058196	0.022513	22.51354	0.3825
5.-	0.061417	0.023759	23.75961	5.1310
6.-	0.058196	0.022513	22.51354	0.3825
7.-	0.058626	0.022679	22.67989	0.3535
8.-	0.058196	0.022513	22.51354	0.3825
9.-	0.058626	0.022679	22.67989	0.3535
10.-	0.049719	0.019234	19.23415	14.8931

CUADRO 7.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DEL
DECANO A 23 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL DOBLE CAPILAR

Lectura	h1	h2	delta h.	Ten. Sup.	% Error
	cm	cm	cm	dinas / cm	
1.-	77.935	76.955	0.98	19.63124	17.6196
2.-	77.82	76.475	1.345	28.94287	13.0628
3.-	77.435	76.48	0.975	19.53108	18.0399
4.-	77.89	76.46	1.43	28.64558	20.2081
5.-	77.89	76.445	1.445	28.94806	21.4890
6.-	77.47	76.445	1.025	20.53267	13.8369
7.-	77.47	76.43	1.04	20.83315	12.5759
8.-	77.87	76.43	1.44	28.64590	21.0487
9.-	77.37	76.43	0.94	18.82996	20.9821
10.-	77.37	76.43	0.94	18.82996	20.9821

CUADRO 8.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DEL
METANOL A 23 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL DOBLE CAPILAR

Lectura	h1	h2	delta h.	Ten. Sup.	% Error
	cm	cm	cm	dinas / cm	
1.-	77.385	76.185	1.2	26.04994	15.2653
2.-	77.425	76.185	1.24	26.91827	19.1074
3.-	77.375	76.17	1.205	26.15848	15.7455
4.-	77.4	76.17	1.23	26.70119	18.1469
5.-	77.06	76.195	0.865	18.77769	16.9130
6.-	77.525	76.195	1.33	28.67202	27.7523
7.-	77.465	76.17	1.295	28.11223	24.3904
8.-	77.46	76.17	1.29	28.00389	23.9101
9.-	77.34	76.135	1.205	26.15848	15.7455
10.-	77.445	76.135	1.31	28.43785	25.8312

CUADRO 9.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL
DE LA GLICERINA A 23 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL DOBLE CAPILAR.					
Lectura	h2	h1	delta h.	Ten. Sup.	% Error
	cm	cm	cm	dinas / cm	
1.-	80.245	77.985	2.26	78.19209	24.9075
2.-	79.51	77.975	1.535	53.10834	15.1624
3.-	79.52	77.875	1.645	56.91415	9.0828
4.-	80.18	77.985	2.195	75.94320	21.3150
5.-	79.58	77.59	1.99	68.85058	9.9849
6.-	79.52	77.225	2.295	79.40303	28.8419
7.-	79.41	77.475	1.935	68.94765	6.9451
8.-	79.34	77.68	1.68	58.12509	7.1484
9.-	79.39	77.38	2.03	70.23449	12.1957
10.-	79.41	77.655	1.755	60.71996	3.0032

CUADRO 10.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL
DE LA ACETONA A 23 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL DOBLE CAPILAR.					
Lectura	h2	h1	delta h.	Ten. Sup.	% Error
	cm	cm	cm	dinas / cm	
1.-	78.635	77.765	0.87	18.88143	20.3315
2.-	78.59	77.845	0.745	16.16856	31.7781
3.-	78.83	77.845	0.785	17.03669	28.1152
4.-	78.63	77.83	0.8	17.36224	26.7416
5.-	78.61	77.83	0.78	16.92818	28.5731
6.-	78.61	77.83	0.78	16.92818	28.5731
7.-	78.58	77.83	0.75	16.27710	31.3202
8.-	78.58	77.81	0.77	16.71115	29.4888
9.-	78.575	77.81	0.765	16.60264	29.9467
10.-	78.575	77.795	0.78	16.92818	28.5731

CUADRO 11 - RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DE LA ACETONA A 25 GRADOS CENTIGRADOS

MÉTODO DEL ANILLO

Lectura	Valor dinas/cm	P dinas	M gramos	V cm. cub.	R ³ /V	R/r
1.-	28.9	322.9936	0.330279	0.417546	2.089109	53.928
2.-	27	324.1944	0.331506	0.419098	2.081372	53.928
3.-	27.3	327.7965	0.335190	0.423755	2.058500	53.928
4.-	27.3	327.7965	0.335190	0.423755	2.058500	53.928
5.-	27.4	328.9972	0.336418	0.425307	2.050987	53.928
6.-	27.3	327.7965	0.335190	0.423755	2.058500	53.928
7.-	27.5	330.198	0.337645	0.426859	2.043529	53.928
8.-	27.5	330.198	0.337645	0.426859	2.043529	53.928
9.-	27.6	331.3987	0.338873	0.428411	2.036125	53.928
10.-	27.9	335.0008	0.342557	0.433068	2.014231	53.928

Lectura	Factor de corrección	Ten. Sup. dinas / cm	% Error
1.-	0.8	21.52	9.1883
2.-	0.8	21.6	8.8608
3.-	0.8	21.84	7.8481
4.-	0.8	21.84	7.8481
5.-	0.8	21.92	7.5105
6.-	0.8	21.84	7.8481
7.-	0.8	22	7.1730
8.-	0.8	22	7.1730
9.-	0.8	22.08	6.8354
10.-	0.8	22.32	5.8228

CUADRO 12.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA
A 24 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL ANILLO						
Lectura	Valor	P	M	V	R ³ /V	R / r
	dinas/cm	dinas	gramos	cm. cub.		
1.-	72.3	868.1205	0.887701	0.890310	0.979770	53.928
2.-	73.5	882.5292	0.902435	0.905087	0.963774	53.928
3.-	73.3	880.1277	0.899979	0.902624	0.966404	53.928
4.-	74.1	889.7335	0.909802	0.912475	0.955970	53.928
5.-	74.1	889.7335	0.909802	0.912475	0.955970	53.928
6.-	74.9	899.3392	0.919824	0.922327	0.945759	53.928
7.-	71.9	863.3176	0.882790	0.885384	0.985221	53.928
8.-	72.6	871.7227	0.891385	0.894004	0.975721	53.928
9.-	72	864.5184	0.884018	0.886616	0.983852	53.928
10.-	72.1	865.7191	0.885246	0.887847	0.982488	53.928
Lectura	Factor de corrección	Ten. Sup. dinas / cm	% ERROR			
1.-	0.937	67.7451	7.1222			
2.-	0.939	69.0165	5.3791			
3.-	0.939	68.8287	5.6366			
4.-	0.94	69.654	4.5051			
5.-	0.94	69.654	4.5051			
6.-	0.94	70.406	3.4741			
7.-	0.937	67.3703	7.6360			
8.-	0.939	68.1714	6.5377			
9.-	0.937	67.464	7.5075			
10.-	0.937	67.5577	7.3791			

CUADRO 13.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DEL DECANO
A 24 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL ANILLO.						
Lectura	Valor	P	M	V	R ³ / V	R / r
	dinas/cm	dinas	gramos	cm. cub		
1.-	26.7	320.5922	0.327823	0.449011	1.942710	53.928
2.-	26.7	320.5922	0.327823	0.449011	1.942710	53.928
3.-	26.8	321.7929	0.329051	0.450693	1.935461	53.928
4.-	26.6	319.3915	0.328595	0.447330	1.950014	53.928
5.-	26.6	319.3915	0.328595	0.447330	1.950014	53.928
6.-	26.6	319.3915	0.328595	0.447330	1.950014	53.928
7.-	26.7	320.5922	0.327823	0.449011	1.942710	53.928
8.-	26.4	316.9900	0.324140	0.443968	1.984786	53.928
9.-	26.4	316.9900	0.324140	0.443968	1.984786	53.928
10.-	26.7	320.5922	0.327823	0.449011	1.942710	53.928

Lectura	Factor de corrección	Ten. Sup. dinas / cm	% Error
1.-	0.893	23.8431	0.0550
2.-	0.893	23.8431	0.0550
3.-	0.893	23.9324	0.4297
4.-	0.891	23.7006	0.5430
5.-	0.891	23.7006	0.5430
6.-	0.891	23.7006	0.5430
7.-	0.893	23.8431	0.0550
8.-	0.891	23.5224	1.2908
9.-	0.891	23.5224	1.2908
10.-	0.893	23.8431	0.0550

CUADRO 14.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DE LA GLICERINA A 23 GRADOS CENTIGRADOS.						
MÉTODO DEL ANILLO.						
Lectura	Valor	P	M	V	R ³ /V	R / r
	dinas/cm	dinas	gramos	cm. cub.		
1.-	64.1	769.6615	0.787021	0.624125	1.409172	53.928
2.-	63.5	762.4572	0.779655	0.618283	1.422487	53.928
3.-	63	758.4538	0.773516	0.613414	1.433776	53.928
4.-	63.8	766.0593	0.783338	0.621204	1.415798	53.928
5.-	64.1	769.6615	0.787021	0.624125	1.409172	53.928
6.-	63.4	761.2584	0.778427	0.617309	1.424730	53.928
7.-	64	768.4608	0.785794	0.623151	1.411374	53.928
8.-	64.5	774.4644	0.791933	0.628019	1.400433	53.928
9.-	64.7	776.8658	0.794388	0.629967	1.398104	53.928
10.-	64.2	770.8622	0.788249	0.625098	1.406977	53.928
Lectura	Factor de corrección	Ten. Sup. dinas / cm ²	% Error			
1.-	0.913	58.5233	6.5123			
2.-	0.913	57.9755	7.3874			
3.-	0.913	57.519	8.1168			
4.-	0.913	58.2494	6.8498			
5.-	0.913	58.5233	6.5123			
6.-	0.913	57.8842	7.5332			
7.-	0.913	58.432	6.6581			
8.-	0.913	58.8885	5.9289			
9.-	0.915	59.2005	5.4305			
10.-	0.913	58.6148	6.3665			

CUADRO 15.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DEL						
METANOL A 23 GRADOS CENTIGRADOS.						
MÉTODO DEL ANILLO.						
Lectura	Valor	P	M	V	R ³ / V	R / r
	dinas/cm	dinas	gramos	cm. cub.		
1.-	27.5	330.198	0.337845	0.428751	2.044045	53.928
2.-	26.5	318.1908	0.325367	0.411233	2.121179	53.928
3.-	26.4	316.9900	0.324140	0.409681	2.129214	53.928
4.-	26.7	320.5022	0.327823	0.414337	2.105290	53.928
5.-	26.6	319.3915	0.326595	0.412785	2.113205	53.928
6.-	26.7	320.5922	0.327823	0.414337	2.105290	53.928
7.-	26.9	322.9938	0.330279	0.417440	2.089837	53.928
8.-	26.9	322.9938	0.330279	0.417440	2.089837	53.928
9.-	27.1	325.3951	0.332734	0.420544	2.074216	53.928
10.-	27.3	327.7985	0.335190	0.423648	2.059020	53.928
Lectura	Factor de corrección	Ten. Sup. dinas / cm	% Error			
1.-	0.8	22	2.6549			
2.-	0.886	23.479	3.8894			
3.-	0.886	23.3904	3.4973			
4.-	0.886	23.6562	4.6735			
5.-	0.886	23.5676	4.2814			
6.-	0.886	23.6562	4.6735			
7.-	0.8	21.52	4.7788			
8.-	0.8	21.52	4.7788			
9.-	0.8	21.68	4.0708			
10.-	0.8	21.84	3.3628			

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En la determinación de la tensión superficial por el método del capilar sencillo, se utilizó un catetómetro, un vaso de precipitado de 100ml. , varios capilares de 1.5 a 1.8 mm. de diámetro externo y un tapón de hule del número 8. El montaje del equipo solo presenta un pequeño problema en ajustar el capilar a la superficie del líquido.

En cuanto a los resultados obtenidos, se observa que la acetona presenta entre un 7 a 13 % de desviación en su valor de tensión superficial. El agua varía entre 1 a 4%, el decano de 1 a 12%, la glicerina entre 2 a 13%, por último el metanol presenta variaciones de 0.3 a 5%.

Algunos de los errores presentes en la determinación del valor de la tensión superficial son: el control de la temperatura de trabajo, la pureza de las sustancias empleadas, la limpieza de los capilares, la posición vertical que guarden con la superficie y la precisión del medio para efectuar la medición de la columna de agua. Estos errores se deben considerar difíciles de eliminar, al considerar las condiciones de trabajo y el poco presupuesto que se tiene para mejorar el equipo.

Todos los resultados fueron sometidos a una corrección, empleando el método de Sjugen. En este método, se emplea una iteración numérica para obtener el valor de la constante del capilar, sin el empleo de esta corrección los porcentajes de error se presentan entre un 10 y un 20%.

Para el método del doble capilar, se utilizó el equipo con que actualmente cuenta el laboratorio. Este equipo consta de un tubo de ensayo de aproximadamente 4 cm. de diámetro, dos tubos capilares de diferente diámetro, un tapón de hule con perforaciones para colocar los tubos, una base de madera para colocar el equipo con un papel milimétrico o una regla (para hacer la lectura). En lugar de la regla y el papel se utilizó el catetómetro para tomar las alturas; como primer paso se obtiene la constante del equipo, para simplificar el trabajo a realizar al evitarse el medir los radios de los capilares. Al obtener esta constante que es característica del equipo, el trabajo se simplifica de manera significativa. Se utilizó como líquido de referencia agua a 23° C , con un valor de tensión superficial de 72.5 dinas/cm.

La variación de la constante del equipo utilizado es de 4% en promedio, el porcentaje de error en el caso del decano va de 12 a 21%, para el metanol de 15 a 25%, en la glicerina de 3 a 25% y para la acetona de 20 a 31%.

Entre las causas de errores experimentales destacan: en algunas ocasiones los capilares se encuentran muy cercanos o chocan contra las paredes del recipiente que los contiene; la separación entre ambos capilares es insuficiente, es difícil lograr que los tubos entren en contacto con la superficie a la misma altura, lo difícil que es limpiar los tubos, la temperatura de trabajo entre otros.

Este es uno de los experimentos donde se requiere modificar el equipo, para obtener mejores resultados, al contar con un equipo adecuado para limpiar los capilares se reduciría el error experimental. Además de contar con un recipiente de mayor tamaño para evitar que choquen los capilares contra las paredes.

En este caso no se pueden aplicar factores de corrección, debido a que se utiliza una simplificación al obtener la constante del equipo. Si se obtiene la constante del equipo se desconoce el valor de los radios de los capilares, por lo que no aplica el método de Sudgen para corregir las lecturas.

Por último se empleó el método del anillo en la determinación de la tensión superficial, el equipo utilizado consta de un tensiómetro de Du Nouy, una caja petri y un anillo de platino-iridio, básicamente. Antes de comenzar a tomar las lecturas se debe de calibrar el equipo, además de limpiar cuidadosamente el anillo.

Respecto a los porcentajes de error experimental; la acetona presenta de un 6 a 9%, el agua de 3.5 a 7.5%, el decano de 1.3%, la glicerina de 5.4 a 8.1% y el metanol de 2.8 a 5%.

Entre los errores presentes en el laboratorio se encuentran: el control de la temperatura, la pureza de las disoluciones, la calibración del aparato, que el anillo se encuentre en buenas condiciones de trabajo, el líquido que queda pegado al anillo, etc. Es imposible que se obtengan buenos resultados cuando el equipo presenta daños, no se debe trabajar con un anillo que presente deformaciones, la mayoría de los tensiómetros cuentan con otro tipo de alambre en lugar de su alambre de torsión original. El no calibrar el tensiómetro después de cierto número de lecturas provoca un error de lectura.

Para este método se corrigieron los valores mediante el procedimiento de Harkins y Jordan, el cual considera la masa de líquido que queda pegada al anillo entre otras cosas; sin estas correcciones el porcentaje de error aumenta en promedio un 20% el cual es considerable.

De los tres métodos analizados el que toma más tiempo en efectuarse es el del anillo (15 minutos aproximadamente), ordenando los líquidos estudiados considerando su porcentaje de error experimental quedan clasificados de la siguiente forma: Decano < metanol < agua < glicerina < acetona.

Por lo anteriormente expuesto se recomienda el empleo de alcanos y alcoholes de cadena lineal en el laboratorio, para que el alumno llegue a resultados satisfactorios.

MEDICIÓN DE LA TENSIÓN INTERFACIAL.

OBJETIVO.

Comprender el fundamento de algunos métodos para medir experimentalmente la tensión interfacial, y comparar los errores experimentales obtenidos.

PROBLEMA.

Ordene en forma decreciente de precisión los siguientes métodos experimentales: Tensiómetro de Du Noüy, estalagmómetro y pesada de gota.

CUESTIONARIO.

- 1.- Describa con precisión lo que mide cada uno de los métodos empleados.
- 2.- ¿Alguno de los métodos mide directamente la tensión interfacial?
- 3.- En aquellos métodos en los cuales la medición sea indirecta, ¿Cómo se relaciona la variable con la tensión interfacial?
- 4.- ¿Qué métodos son comunes a la tensión superficial y la interfacial y por qué?
- 5.- En el método del Tensiómetro de Du Noüy es importante colocar el anillo sobre la superficie del líquido más denso antes de colocar el menos denso. Explique la razón de esto.
- 6.- ¿Por qué es importante colocar siempre la misma cantidad de líquido menos denso en el Tensiómetro de Du Noüy?
- 7.- ¿Cree usted que en los métodos del estalagmómetro y pesada de gota, las densidades de los líquidos se deben considerar para colocarlos en el tubo contenedor y en el capilar? Justifique su respuesta.

BIBLIOGRAFÍA.

- Valdes R.P. Determinación de la tensión interfacial con el tensiómetro de gota rotatoria. Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. México 1992.
- Adamson A.W. Physical chemistry of surface. John Wiley & Sons. N.Y. 1990.

ABREVIATURAS DE LAS HOJAS DE CÁLCULO.

Para el método del peso de la gota:

Peso 1= Peso de uno de los líquidos más el peso del tubo y su base (g).

Peso 2= Peso 1 más el peso del segundo líquido agregado (g).

delta P. = El peso 2 menos el peso 1 (g).

de gotas= El número de gotas del segundo líquido agregado.

Masa/gota = La masa de una sola gota en promedio (g).

Volumen= Volumen de una sola gota (g).

$V^{1/3}$ = Volumen de la gota elevado a la 1/3.

$r/V^{1/3}$ = Radio de la gota entre el valor de $V^{1/3}$.

Ten. Int.= Tensión interfacial (N/m).

% Error= Porcentaje de error experimental (se compara contra un valor reportado en la literatura).

Para el método del número de gotas (estalagmómetro):

de gotas= El número de gotas del líquido de referencia para cierto volumen.

gotas= El número de gotas del segundo líquido agregado.

Densidad= La densidad del segundo líquido agregado (g/cm^3).

Ten. Int.= Tensión interfacial (dinas/cm).

% Error= Porcentaje de error experimental (se compara contra un valor reportado en la literatura).

Para el método del anillo:

Valor= Es el valor que proporciona el tensiómetro (dinas/cm).

P= Tiro total del anillo (dinas).

M= Peso del líquido levantado (cm^3).

V= Volumen del líquido levantado (cm^3).

R^3/V = Radio del anillo al cubo entre el volumen del líquido levantado.

R/r = Radio del anillo entre el radio del alambre.

Ten. Int.= Tensión interfacial (dinas/cm).

% Error= Porcentaje de error experimental (se compara contra un valor reportado en la literatura).

CUADRO 16.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN INTERFACIAL PARA EL SISTEMA
AGUA-BENCENO A 22 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL PESO DE LA GOTA.							
Lectura	Peso 1	Peso 2	delta P.	# de gotas	Masa/gota	Volumen	V ^{1/3}
	g	g	g		g	cm ³	
1.-	81.03	83.7	2.67	240	0.011125	0.093307	0.453587
2.-	82.11	84.72	2.61	248	0.010524	0.088267	0.445250
3.-	78.43	81.14	2.71	247	0.010971	0.092020	0.451473
4.-	79.33	82.03	2.7	247	0.010931	0.091881	0.450917
5.-	85.96	88.87	2.91	247	0.011781	0.098812	0.462317
6.-	99.14	102.07	2.93	247	0.011662	0.099491	0.463374
7.-	83.52	86.26	2.74	252	0.010873	0.091193	0.450116
8.-	87.29	89.97	2.68	247	0.010850	0.091002	0.449801
9.-	88.88	91.52	2.64	259	0.010965	0.091967	0.451385
10.-	84.75	87.51	2.76	251	0.010996	0.092225	0.451807
Lectura	r / V ^{1/3}	Factor de corrección	Ten. Int. N / m	% Error			
1.-	0.077168	1	49.62723	41.7921			
2.-	0.078807	1	46.94711	34.1346			
3.-	0.077523	1	48.94320	39.8377			
4.-	0.077619	1	48.76260	39.3217			
5.-	0.075705	1	52.55525	50.1579			
6.-	0.075532	1	52.91645	51.1889			
7.-	0.077757	1	48.50316	38.5805			
8.-	0.077812	1	48.40139	38.2897			
9.-	0.077539	1	48.91461	39.7560			
10.-	0.077466	1	49.05185	40.1482			

CUADRO 17. - RESULTADOS DE LA TENSION INTERFACIAL PARA EL SISTEMA							
AGUA-n-HEXANO A 23 GRADOS CENTIGRADOS.							
MÉTODO DEL PESO DE LA GOTA.							
Lectura.	Peso 1	Peso 2	delta P.	# de gotas	Masa/gota	Volumen	V ^{1/3}
	g	g	g		g	cm ³	
1.-	80.82	83.19	2.57	158	0.018285	0.047949	0.363299
2.-	77.83	80.28	2.65	157	0.018878	0.049758	0.367808
3.-	75.4	78.08	2.68	157	0.018942	0.049944	0.368270
4.-	78.28	78.9	2.84	158	0.018708	0.049255	0.368568
5.-	77.71	80.43	2.72	158	0.017215	0.050747	0.370234
6.-	79	81.72	2.72	158	0.017215	0.050747	0.370234
7.-	78.47	81.16	2.69	159	0.018918	0.049872	0.368093
8.-	77.95	80.65	2.7	162	0.018666	0.049130	0.368259
9.-	76.88	79.56	2.68	158	0.018962	0.050001	0.368410
10.-	78.3	80.98	2.68	158	0.018962	0.050001	0.368410
Lectura	r / V ^{1/3}	Factor de corrección	Ten. Int. N / m	% Error			
1.-	0.098339	1	72.55980	41.9957			
2.-	0.095158	1	75.29502	47.3484			
3.-	0.095038	1	75.57916	47.9044			
4.-	0.095480	1	74.53614	45.8833			
5.-	0.094534	1	76.79481	50.2834			
6.-	0.094534	1	76.79481	50.2834			
7.-	0.095084	1	75.47015	47.6911			
8.-	0.095560	1	74.34792	45.4950			
9.-	0.095002	1	75.66547	48.0733			
10.-	0.095002	1	75.66547	48.0733			

CUADRO 18.- RESULTADOS DE LA TENSION INTERFACIAL PARA EL SISTEMA							
AGUA-TETRACLORURO DE CARBONO A 23 GRADOS CENTIGRADOS.							
MÉTODO DEL PESO DE LA GOTA.							
Lectura	Peso 1	Peso 2	delta P.	# de gotas	Masa / gota	Volumen	V ^{1/3}
	g	g	g		g	cm ³	
1.-	91.58	95.34	3.76	288	0.013055	0.022287	0.281424
2.-	86.98	90.03	3.05	230	0.013260	0.022638	0.282891
3.-	84.32	88.21	3.89	298	0.013053	0.022284	0.281410
4.-	87.48	91.26	3.78	290	0.013034	0.022251	0.281272
5.-	91.18	95.02	3.88	295	0.013084	0.022337	0.281633
6.-	85.24	89.22	3.98	297	0.013400	0.022877	0.283882
7.-	86.67	90.46	3.79	291	0.013024	0.022234	0.281197
8.-	88.85	92.39	3.54	272	0.013014	0.022218	0.281130
9.-	83.09	86.73	3.64	280	0.013	0.022193	0.281024
10.-	90.35	94.01	3.66	275	0.013309	0.022720	0.283234
Lectura	r / v ^{1/3}	Factor de corrección	Ten. Int. N / m	% Error			
1.-	0.124367	1	58.23920	29.4205			
2.-	0.123722	1	59.15508	31.4557			
3.-	0.124373	1	58.23088	29.4020			
4.-	0.124434	1	58.14520	29.2116			
5.-	0.124274	1	58.36941	29.7098			
6.-	0.123290	1	59.77873	32.8418			
7.-	0.124467	1	58.09868	29.1082			
8.-	0.124497	1	58.05897	29.0155			
9.-	0.124544	1	57.99137	28.8697			
10.-	0.123572	1	59.37019	31.9338			

CUADRO 19.- RESULTADOS DE LA TENSION INTERFACIAL PARA EL SISTEMA AGUA-TOLUENO A 23 GRADOS CENTIGRADOS.							
MÉTODO DEL PESO DE LA GOTA.							
Lectura	Peso 1	Peso 2	delta P.	# de gotas	Masa/gota	Volumen	V ^{1/3}
	g	g	g		g	cm ³	
1.-	86.52	89.15	2.63	226	0.011637	0.088007	0.444811
2.-	86.83	89.15	2.52	225	0.0112	0.084700	0.439170
3.-	84.68	87.4	2.72	227	0.011982	0.090617	0.449168
4.-	80.05	82.65	2.6	226	0.011504	0.087003	0.443113
5.-	86.8	91.28	2.48	225	0.011022	0.083356	0.436634
6.-	85.35	87.96	2.61	226	0.011548	0.087337	0.443681
7.-	79.49	81.56	2.07	218	0.009495	0.071809	0.415653
8.-	87.23	89.81	2.58	223	0.011569	0.087495	0.443947
9.-	83.91	86.55	2.64	223	0.011838	0.089530	0.447362
10.-	84.74	87.29	2.55	223	0.011434	0.086477	0.442220
Lectura	r / V ^{1/3}	Factor de corrección	Ten. Int. N / m	% Error			
1.-	0.078685	1	51.91195	43.8004			
2.-	0.079695	1	49.96180	38.3983			
3.-	0.077922	1	53.45189	48.0662			
4.-	0.078986	1	51.31980	42.1601			
5.-	0.080121	1	49.16875	38.2015			
6.-	0.078885	1	51.51718	42.7069			
7.-	0.084204	1	42.35785	17.3348			
8.-	0.078836	1	51.61012	42.9643			
9.-	0.078236	1	52.81036	46.2891			
10.-	0.079146	1	51.01000	41.3020			

CUADRO 20.- RESULTADOS DEL NÚMERO DE GOTAS PROMEDIO PARA EL SISTEMA AGUA-AIRE A 23 GRADOS CENTIGRADOS.			
MÉTODO DEL NÚMERO DE GOTAS (ESTALAGMÓMETRO).			
Lectura	# de gotas	Lectura	# de gotas
1.-	28	6.-	33
2.-	30	7.-	34
3.-	30	8.-	33
4.-	30	9.-	35
5.-	33	10.-	34
Número de gotas en promedio: 32.5			

CUADRO 21.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN INTERFACIAL PARA EL SISTEMA AGUA-TETRACLORURO DE CARBONO A 22 A 22 GRADOS CENTIGRADOS.				
MÉTODO DEL NÚMERO DE GOTAS.				
Lectura	# gotas	Densidad g / cm ³	T. Interfacial dinas / cm	% Error
1.-	30	1.584	42.859968	4.755628
2.-	34	1.584	37.817618	15.96084
3.-	31	1.584	41.477388	7.828025
4.-	37	1.584	34.751325	22.77483
5.-	30	1.584	42.859968	4.755628
6.-	32	1.584	40.181220	10.70839
7.-	30	1.584	42.859968	4.755628
8.-	35	1.584	36.737115	18.36196
9.-	38	1.584	33.836816	24.80707
10.-	32	1.584	40.181220	10.70839

**CUADRO 22.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN INTERFACIAL
PARA EL SISTEMA AGUA-n-HEXANO A 22
GRADOS CENTIGRADOS.**

MÉTODO DEL NÚMERO DE GOTAS.

Lectura	# gotas	Densidad g / cm ³	T. Interfacial dina / cm	% Error
1.-	18	0.695	38.523072	28.77220
2.-	17	0.695	38.671488	34.22939
3.-	17	0.695	38.671488	34.22939
4.-	17	0.695	38.671488	34.22939
5.-	18	0.695	38.523072	28.77220
6.-	18	0.695	38.523072	28.77220
7.-	17	0.695	38.671488	34.22939
8.-	18	0.695	38.523072	28.77220
9.-	18	0.695	38.523072	28.77220
10.-	17	0.695	38.671488	34.22939

**CUADRO 23.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN INTERFACIAL
PARA EL SISTEMA AGUA-TOLUENO A 22
GRADOS CENTIGRADOS.**

MÉTODO DEL NÚMERO DE GOTAS.

Lectura	# gotas	Densidad g / cm ³	T. Interfacial dina / cm	% Error
1.-	8	0.866	36.281582	0.502943
2.-	7	0.866	41.464642	14.86050
3.-	8	0.866	36.281582	0.502943
4.-	8	0.866	36.281582	0.502943
5.-	8	0.866	36.281582	0.502943
6.-	8	0.866	36.281582	0.502943
7.-	8	0.866	36.281582	0.502943
8.-	8	0.866	36.281582	0.502943
9.-	7	0.866	41.464642	14.86050
10.-	8	0.866	36.281582	0.502943

CUADRO 24. - RESULTADOS DE LA TENSION INTERFACIAL				
PARA EL SISTEMA AGUA-BENCENO A 22				
GRADOS CENTIGRADOS.				
MÉTODO DEL NÚMERO DE GOTAS.				
Lectura	# gotas	Densidad T. Interfacial		% Error
		g / cm ³	dina / cm	
1.-	8	0.879	32.714593	6.529732
2.-	8	0.879	32.714593	6.529732
3.-	7	0.879	37.388106	6.823162
4.-	7	0.879	37.388106	6.823162
5.-	7	0.879	37.388106	6.823162
6.-	8	0.879	32.714593	6.529732
7.-	7	0.879	37.388106	6.823162
8.-	8	0.879	32.714593	6.529732
9.-	7	0.879	37.388106	6.823162
10.-	8	0.879	32.714593	6.529732

CUADRO 25 - RESULTADOS DE LA TENSIÓN INTERFACIAL PARA EL SISTEMA
AGUA-TOLUENO A 21 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL ANILLO.

Lectura	Valor dina / cm	P dinas	M gramos	V cm. cub.	R ³ /V	R/r
1.-	28.5	318.1908	0.325387	2.479371	0.351823	53.928
2.-	28.4	316.99	0.32414	2.470015	0.353155	53.928
3.-	25.9	310.9884	0.318001	2.423234	0.359973	53.928
4.-	27	324.1944	0.331508	2.528151	0.345307	53.928
5.-	23.4	280.9684	0.287305	2.189331	0.398432	53.928
6.-	24.2	290.5742	0.297128	2.28418	0.38528	53.928
7.-	25.1	301.3807	0.308178	2.348385	0.371448	53.928
8.-	23.8	285.7713	0.292217	2.228758	0.391735	53.928
9.-	25.3	303.7821	0.310634	2.387097	0.36851	53.928
10.-	24.7	298.5778	0.303287	2.310961	0.377481	53.928

Lectura	Factor de corrección	Ten. Int. dina / cm	% Error
1.-	1.031	27.3215	24.3172
2.-	1.031	27.2184	24.6028
3.-	1.031	28.7029	26.0307
4.-	1.038	27.872	22.5152
5.-	1.017	23.7978	34.0781
6.-	1.02	24.884	31.8232
7.-	1.024	25.7024	28.8022
8.-	1.017	24.2046	32.9512
9.-	1.027	25.9831	28.0247
10.-	1.024	25.2928	29.9368

CUADRO 26.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN INTERFACIAL PARA EL SISTEMA
AGUA-n-HEXANO A 21 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL ANILLO.						
Lectura	Valor	P	M	V	R ³ /V	R/r
	dina / cm	dinas	gramos	cm. cub.		
1.-	38.9	467.08	0.477615	1.412771	0.617439	53.928
2.-	37.9	455.0728	0.465337	1.376453	0.63373	53.928
3.-	35.6	427.4563	0.437098	1.292921	0.674673	53.928
4.-	34.1	409.4455	0.41868	1.238444	0.704351	53.928
5.-	33.1	397.4383	0.406402	1.202126	0.72563	53.928
6.-	36.3	435.8613	0.445692	1.318344	0.661663	53.928
7.-	34.4	413.0476	0.422364	1.249339	0.698208	53.928
8.-	35.2	422.6534	0.432186	1.278394	0.68234	53.928
9.-	36.8	441.8649	0.451831	1.336503	0.652673	53.928
10.-	34.5	414.2484	0.423592	1.252971	0.696184	53.928
Lectura	Factor de corrección	Ten. Int. dina / cm	% Error			
1.-	0.976	37.9664	23.2382			
2.-	0.973	36.8787	25.4414			
3.-	0.967	34.4252	30.3979			
4.-	0.962	32.8042	33.6753			
5.-	0.96	31.776	35.7541			
6.-	0.967	35.1021	29.0293			
7.-	0.962	33.0928	33.0918			
8.-	0.965	33.968	31.3223			
9.-	0.967	35.5856	28.0518			
10.-	0.965	33.2925	32.6880			

CUADRO 27 - RESULTADOS DE LA TENSIÓN INTERFACIAL PARA EL SISTEMA
 AGUA- TETRACLORURO DE CARBONO A 21 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL ANILLO.						
Lectura	Valor	P	M	V	R ³ / V	R / r
	dina / cm	dinas	gramos	cm. cub.		
1.-	30	360.216	0.368341	0.627604	1.389888	53.928
2.-	23	276.1658	0.282394	0.481163	1.812897	53.928
3.-	23	276.1658	0.282394	0.481163	1.812897	53.928
4.-	24	288.1728	0.294672	0.502083	1.73736	53.928
5.-	24.3	291.7749	0.298356	0.508359	1.715911	53.928
6.-	23.1	277.3663	0.283622	0.483255	1.805049	53.928
7.-	27.1	325.3951	0.332734	0.566935	1.530621	53.928
8.-	23.5	282.1692	0.288533	0.491623	1.774325	53.928
9.-	27	324.1944	0.331506	0.564843	1.54432	53.928
10.-	27.3	327.7965	0.33519	0.571119	1.527349	53.928
Lectura	Factor de corrección	Ten. Int. dina / cm	% Error			
1.-	0.913	27.39	39.1333			
2.-	0.896	20.608	54.2044			
3.-	0.896	20.608	54.2044			
4.-	0.9	21.6	52.0000			
5.-	0.9	21.87	51.4000			
6.-	0.896	20.6978	54.0053			
7.-	0.906	24.5528	45.4387			
8.-	0.895	21.0325	53.2611			
9.-	0.906	24.462	45.6400			
10.-	0.906	24.7338	45.0360			

CUADRO 28. - RESULTADOS DE LA TENSIÓN INTERFACIAL PARA EL SISTEMA
AGUA-BENCENO A 22 GRADOS CENTIGRADOS.

MÉTODO DEL ANILLO						
Lectura	Valor	P	M	V	R ³ / V	R / r
	dina / cm	dinas	gramos	cm. cub.		
1.-	30.1	361.4167	0.36568	3.099629	0.28142	53.928
2.-	30.9	371.0224	0.379391	3.182011	0.274134	53.928
3.-	29.2	350.6102	0.358518	3.006949	0.290094	53.928
4.-	26.4	316.99	0.32414	2.718611	0.320862	53.928
5.-	27.6	331.3987	0.338873	2.842185	0.306911	53.928
6.-	27.9	335.0008	0.342557	2.873078	0.303611	53.928
7.-	26.7	320.5922	0.327823	2.749505	0.317257	53.928
8.-	28.4	341.0044	0.348896	2.924567	0.298266	53.928
9.-	28.8	345.8073	0.353807	2.965758	0.294123	53.928
10.-	29.2	350.6102	0.358518	3.006949	0.290094	53.928
Lectura	Factor de corrección	Ten. Int. dina / cm	% Error			
1.-	1.05	31.605	9.7000			
2.-	1.056	32.6304	6.7703			
3.-	1.043	30.4556	12.9840			
4.-	1.045	27.588	21.1771			
5.-	1.054	29.0904	16.8846			
6.-	1.054	29.4066	15.9811			
7.-	1.049	28.0083	19.9783			
8.-	1.043	29.6212	15.3680			
9.-	1.043	30.0384	14.1760			
10.-	1.043	30.4556	12.9840			

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En la determinación de la tensión interfacial de algunos líquidos, se utilizó el método del peso de la gota, el método del estalagmómetro o número de gotas y el método del anillo.

El método del peso de la gota y el de número de gotas se realizaron de manera simultánea, debido a que se emplea el mismo equipo. El cual consiste de un estalagmómetro, una pinza de Mohr, un tapón de hule o corcho, un tubo de ensayo (3 cm X 8 cm) con base metálica y para el caso del peso de la gota una balanza analítica.

Para el método del peso de la gota los porcentajes de error experimental son los siguientes: en el sistema agua-benceno de 38 a 50%, en el caso de agua- n-hexano de 45 a 50%, para agua-tetracloruro de carbono de 29 a 31% y para el sistema agua-tolueno de 38 a 43%.

Entre los factores de error presentes se encuentran: la pureza de los líquidos utilizados, el manejo del goteo, el control de la temperatura, la limpieza del equipo, etc.

El manejo del goteo resulta difícil de controlar por medio de las pinzas de Mohr. Además, se tiene el problema de la limpieza de los estalagmómetros. Nuevamente para disminuir en lo posible los errores experimentales se aplican factores de corrección, estos factores se utilizan siguiendo el trabajo de Harkins y Brown, mencionado en un capítulo anterior de este trabajo.

Es importante mencionar nuevamente, que el método del número de gotas solo puede ser utilizado si se conoce: la densidad y la tensión superficial de uno de los líquidos, y la densidad del otro líquido. Como primer paso se encuentra el número de gotas para el líquido que servirá de referencia, en este caso el líquido es el agua y el número de gotas en promedio es de 32.5.

Para el sistema agua-tetracloruro de carbono el error experimental es de 4 a 24%, en el sistema agua-n-hexano de 26 a 34%, para el sistema agua-tolueno de 0.5 a 14% y en el sistema agua-benceno de 7%. Al considerar que se trabaja este método de forma similar al anterior, los factores de error experimental son los mismos básicamente. Otro punto importante, es el hecho de que el método del número de gotas es una modificación del de peso de la gota, por esta razón es menos exacto y carece de una manera de corregirlo. Sin embargo, los resultados presentados corresponden a la utilización de un valor de tensión superficial experimental. El cual es de 67.66 dinas/cm.

De los métodos manejados con anterioridad, se decide emplear nuevamente el método del anillo por su fácil manejo y buenos resultados. Solamente se sustituye la caja de petri por un vaso de precipitados de 50 ml, debido a que se tienen problemas para mantener los dos líquidos, se emplearon 10 ml de cada una de las soluciones para poder observar el fenómeno de manera clara.

Los porcentajes de error experimental son los siguientes: para el sistema agua-tolueno de 24 a 34%, agua- n-hexano 23 a 35%, agua-tetracloruro de carbono 45 a 54% y para agua-benceno de 9 a 20%. Además de los errores que ya se mencionaron con anterioridad, el anillo tiende a pegarse a la pared del vaso. Para eliminar este error se puede utilizar un cristizador.

Nuevamente se aplican los factores de corrección de Harkins y Jordan para disminuir los errores experimentales, empleando las modificaciones pertinentes.

Lo interesante de algunos de los resultados obtenidos entre el peso de la gota y el número de gotas, se observa al ver que el segundo presenta los porcentajes de error más bajos, por las consideraciones que explicaron anteriormente. Además, en el método del estalagmómetro se pueden considerar fracciones de gota, mientras que en el método de pesada de gota no.

TENSOACTIVOS (SURFACTANTES)

OBJETIVO.

Comprender lo que es un agente activo de superficie (surfactante) y su clasificación.

PROBLEMA.

Proponer experimentos donde se manifieste el efecto de los tensoactivos, en la tensión superficial del agua y/o la humectación.

CUESTIONARIO.

- 1.- Defina que es un tensoactivo (surfactante).
- 2.- ¿Cuales son los compuestos de un detergente y que es el jabón?
- 3.- ¿Cómo se clasifican los tensoactivos?
- 4.- Describa detalladamente la diferencia entre un tensoactivo biodegradable y uno que no lo es.
- 5.- Explique cual es la prueba de Draves-Clarkson.
- 6.- ¿Cuales son los métodos que se proponen para medir la tensión superficial del agua en presencia de tensoactivo?

BIBLIOGRAFÍA.

- Myers, D. Surfaces, interfaces and colloids: principles and applications. VCH Publishers, Inc. U.S.A. 1991.
- Nicanor P., E. Tratabilidad de detergentes en aguas residuales y planteamiento para el cambio de elaboración de detergentes. Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. México 1994.
- Andrade P., H. Estudio de mercado de la industria de surfactantes en México. Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. México 1995.
- Munro L.A. The evaluation of wetting agents J.Chem.Educ. 31.85-88,(1954).
- Rosen J.M. Surfactants and interfacial phenomena John Wiley & Sons. U.S.A. 1989.

ABREVIATURAS DE LAS HOJAS DE CÁLCULO.

Para el método del anillo:

Concen.= Es la concentración de la disolución (ml/litro o mol/litro).

Valor= Es el valor que proporciona el tensiómetro (dinas/cm).

P= Tiro total del anillo (dinas).

M= Peso del líquido levantado (cm³).

V= Volumen del líquido levantado (cm³).

R³/V= Radio del anillo al cubo entre el volumen del líquido levantado.

R/r= Radio del anillo entre el radio del alambre.

Ten. Sup.=Tensión superficial (dinas/cm).

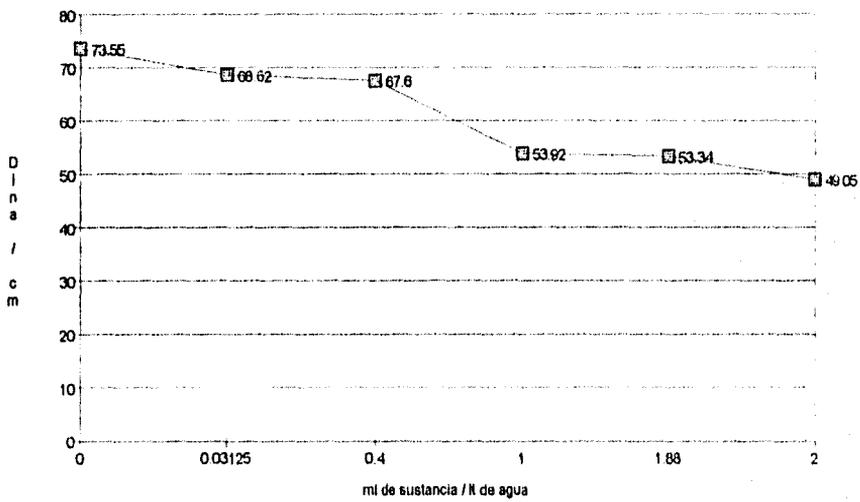
Para la prueba de Draves (Humectación):

Concen.=Es la concentración de la disolución (ml/litro, g/litro o mol/litro).

Tiempo= El tiempo que tarda el hilo unido a la madeja en doblarse (segundos).

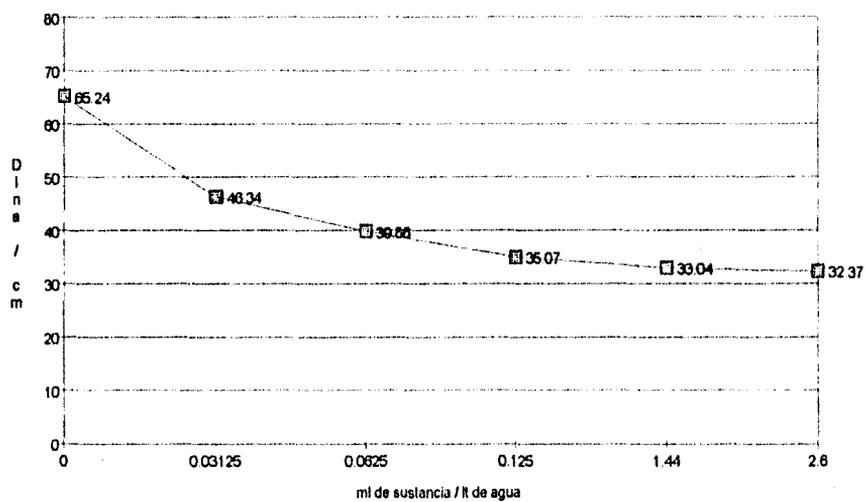
CUADRO 29.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DEL DOWNY A 21 GRADOS CENTIGRADOS.						
MÉTODO DEL ANILLO.						
Lectura	Concen. ml/ litro	Valor dinas/cm	P dinas	M gramos	V cm. cub.	R ³ / V
1.-	0	78	936.5616	0.95768	0.95938	0.90922
2.-	0.031	73	876.5256	0.89629	0.91946	0.9487
3.-	0.4	72	864.5184	0.88401	0.91589	0.9524
4.-	1	58.3	700.0197	0.7158	0.7287	1.19705
5.-	1.88	57.8	694.0161	0.70967	0.71952	1.21232
6.-	2	53.5	642.3852	0.65887	0.67021	1.30152
Lectura	R / r	Factor de corrección	Ten. Sup. dinas/cm			
1.-	53.928	0.943	73.554			
2.-	53.928	0.94	68.82			
3.-	53.928	0.939	67.608			
4.-	53.928	0.925	53.9275			
5.-	53.928	0.923	53.3494			
6.-	53.928	0.917	49.0595			

GRÁFICA 1.-Tensión Superficial VS Concentración (DOWNY)



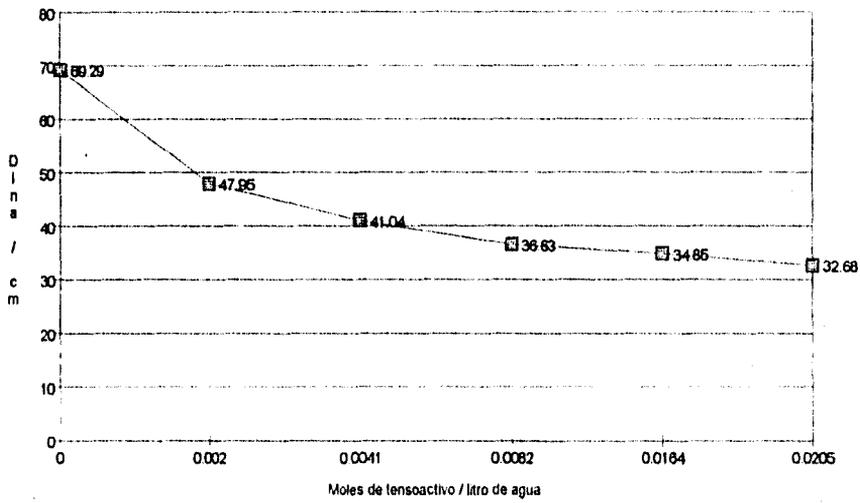
CUADRO 30.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DEL						
VEL ROSITA A 21 GRADOS CENTIGRADOS.						
MÉTODO DEL ANILLO.						
Lectura	Concen.	Valor	P	M	V	R ³ /V
	ml / litro	dinas/cm	dinas	gramos	cm. cub.	
1.-	0	70	840.504	0.85946	0.86098	1.01314
2.-	0.03125	50.65	608.1646	0.62188	0.63392	1.37802
3.-	0.0625	44	528.3188	0.54023	0.55591	1.56913
4.-	0.125	39.15	470.0818	0.48068	0.4928	1.77006
5.-	1.44	37	444.2684	0.45428	0.46574	1.87291
6.-	2.8	36.25	435.281	0.44507	0.4583	1.91186
Lectura	R / r	Factor de corrección	Ten. Sup. dinas/cm			
1.-	53.928	0.932	65.24			
2.-	53.928	0.915	46.3447			
3.-	53.928	0.906	39.864			
4.-	53.928	0.896	35.0784			
5.-	53.928	0.893	33.041			
6.-	53.928	0.893	32.3712			

GRÁFICA 2.-Tensión Superficial VS Concentración (VEL ROSITA)



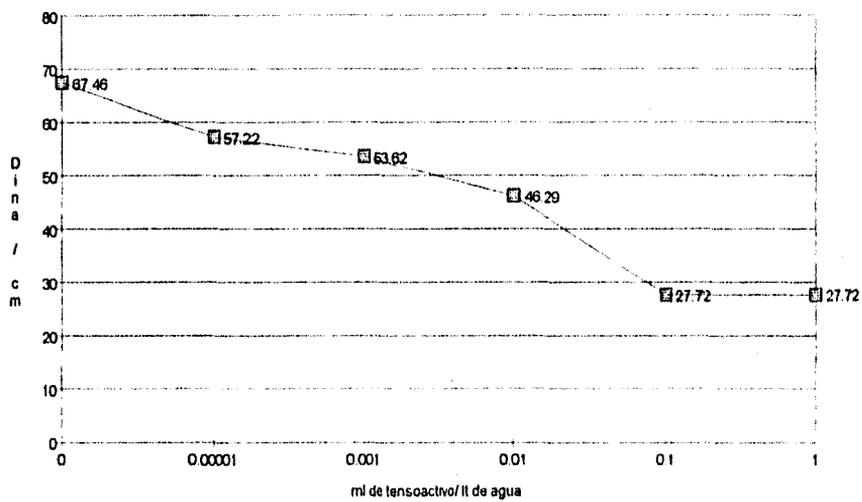
CUADRO 31.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DEL						
DODECIL SULFATO DE SODIO A 21 GRADOS						
CENTIGRADOS.						
MÉTODO DEL ANILLO						
Lectura	Concen.	Valor	P	M	V	R ³ /V
	mol / ll.	dinas/cm	dinas	gramos	cm. cub.	
1.-	0	73.8	888.1313	0.90611	0.90772	0.96097
2.-	0.002	52.3	827.9765	0.64214	0.65786	1.32595
3.-	0.0041	45.3	543.9261	0.55819	0.56981	1.53085
4.-	0.0082	40.7	488.6930	0.49971	0.51331	1.69933
5.-	0.0164	38.9	467.0800	0.47761	0.48991	1.78052
6.-	0.0205	36.8	439.4635	0.44937	0.45515	1.91848
Lectura	R / r	Factor de corrección	Ten. Sup. dinas / cm			
1.-	53.928	0.939	69.2982			
2.-	53.928	0.917	47.9591			
3.-	53.928	0.906	41.0418			
4.-	53.928	0.9	36.63			
5.-	53.928	0.896	34.8544			
6.-	53.928	0.893	32.6838			

GRÁFICA 3.-Tensión Superficial VS Concentración (DSS)



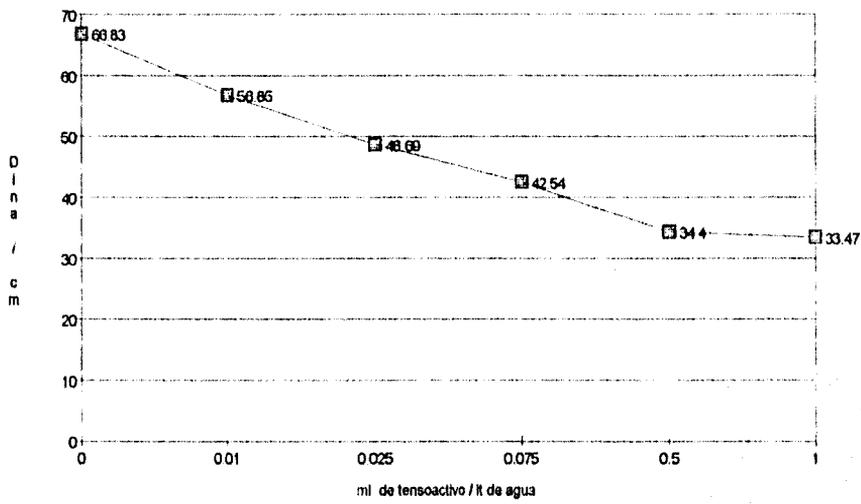
CUADRO 32.- RESULTADOS DE LA TENSION SUPERFICIAL DEL						
SPAN 80 A 22 GRADOS CENTIGRADOS						
MÉTODO DEL ANILLO.						
Lectura	Concen.	Valor	P	M	V	R ³ /V
	ml / litro	dinas/cm	dinas	gramos	cm. cub.	
1.-	0	72	884.5184	0.88401	0.88558	0.98499
2.-	0.00001	61.6	739.8435	0.75632	0.77983	1.11885
3.-	0.001	58.1	697.8183	0.71335	0.73202	1.19163
4.-	0.01	50.6	607.5643	0.62126	0.63728	1.36882
5.-	0.1	31.4	377.0260	0.38553	0.39416	2.21304
6.-	1	31.4	377.0260	0.38553	0.39610	2.20218
Lectura	R / r	Factor de corrección	Ten. Sup. dinas / cm			
1.-	53.928	0.937	67.464			
2.-	53.928	0.929	57.2264			
3.-	53.928	0.923	53.6263			
4.-	53.928	0.915	46.299			
5.-	53.928	0.883	27.7262			
6.-	53.928	0.883	27.7262			

GRÁFICA 4.-Tensión Superficial VS Concentración (SPAN 80)



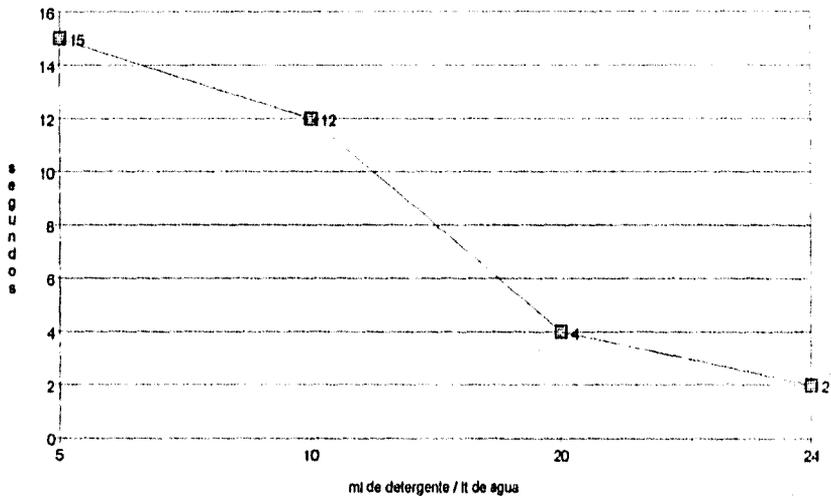
CUADRO 33.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DEL TWEEN 80 A 21 GRADOS CENTIGRADOS.						
MÉTODO DEL ANILLO.						
Lectura	Concen.	Valor	P	M	V	R ³ /V
	ml / litro	dinas/cm	dinas	gramos	cm. cub.	
1.-	0.	71.4	857.3140	0.87665	0.87820	0.99327
2.-	0.01	61.2	734.8408	0.75141	0.77457	1.12618
3.-	0.025	53.1	637.5823	0.65198	0.66902	1.30384
4.-	0.075	46.8	559.5355	0.57215	0.58688	1.48631
5.-	0.5	38.4	461.0784	0.47147	0.48203	1.80962
6.-	1	37.4	449.0692	0.45919	0.47179	1.84889
Lectura	R / r	Factor de corrección	Ten. Sup. dinas / cm			
1.-	53.928	0.936	66.8304			
2.-	53.928	0.929	56.8548			
3.-	53.928	0.917	48.6927			
4.-	53.928	0.913	42.5458			
5.-	53.928	0.896	34.4084			
6.-	53.928	0.895	33.473			

GRÁFICA 5.-Tensión Superficial VS Concentracion (TWEEN 80)

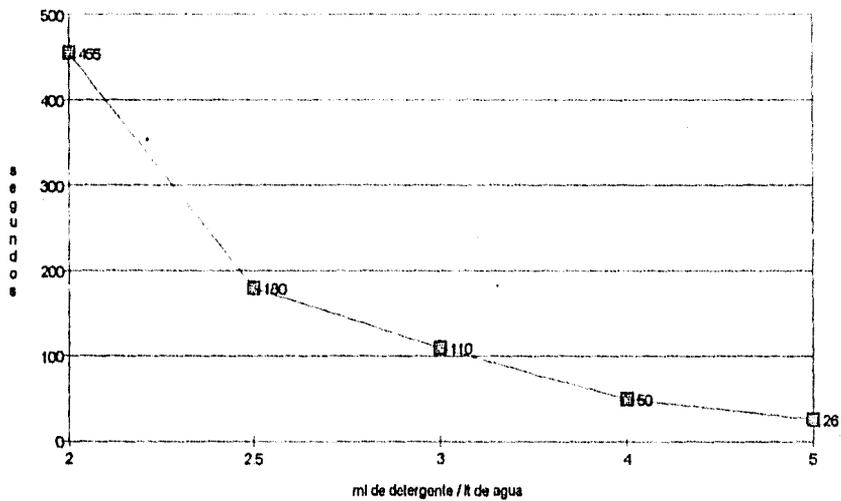


CUADRO 34. - RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DRAVES EN					
DIFERENTES LIQUIDOS A 22 GRADOS CENTIGRADOS.					
AJAX LIMON			DISH DROP		
Lectura	Concen.	Tiempo	Lectura	Concen.	Tiempo
	ml/ litro	segundos		g/ litro	segundos
1.-	24	2	1.-	2	455
2.-	20	4	2.-	2.5	180
3.-	10	12	3.-	3	110
4.-	5	15	4.-	4	50
			5.-	5	28
DODECIL SULFATO DE SODIO					
Lectura	Concen.	Tiempo			
	mol/ litro	segundos			
1.-	0.002	3600			
2.-	0.0041	34			
3.-	0.0082	12			
4.-	0.0164	10			
5.-	0.0205	8			

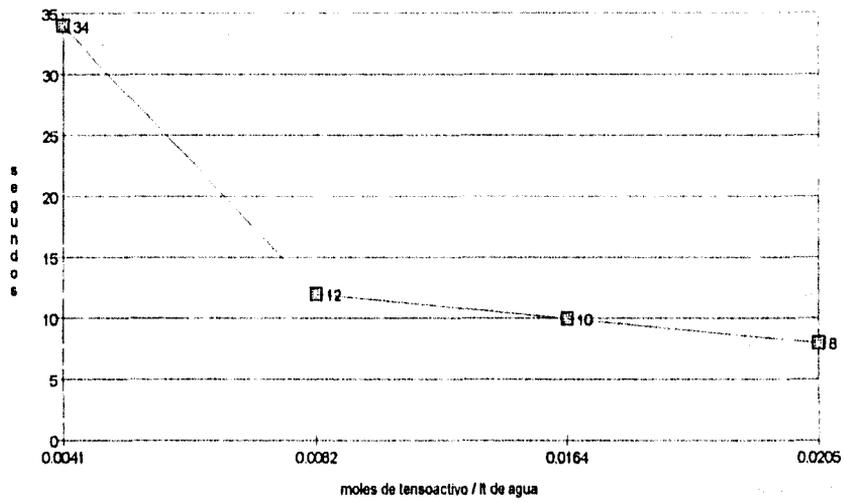
GRÁFICA 6.-Tiempo VS Concentración (AJAX LIMON)



GRÁFICA 7.-Tiempo VS Concentración (DISH DROP)



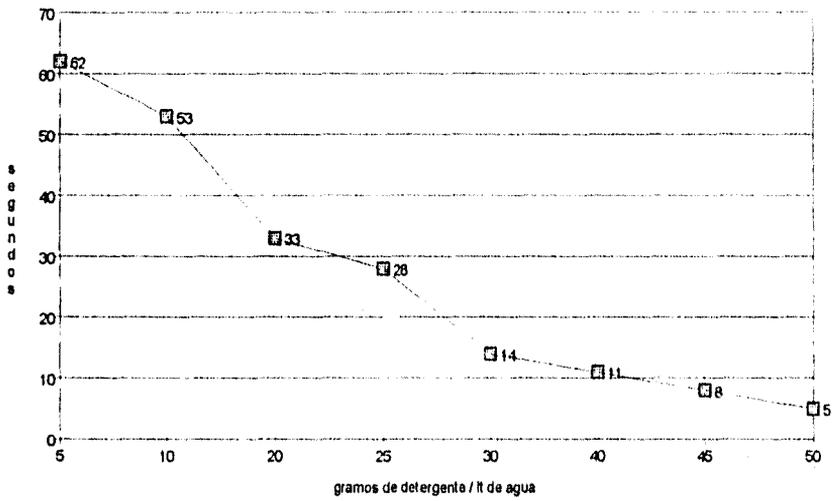
GRÁFICA 8.-Tiempo VS Concentración (DSS)



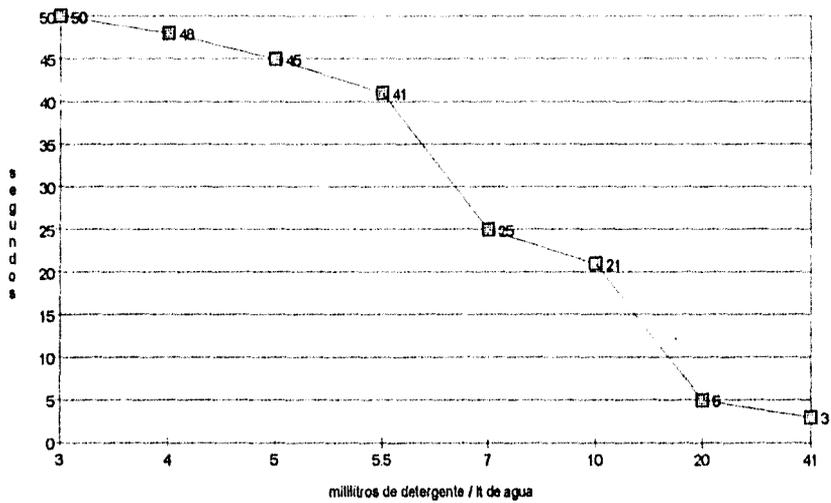
**CUADRO 35.- RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DRAVES EN
DIFERENTES LIQUIDOS A 22 GRADOS CENTIGRADOS.**

MAESTRO LIMPIO			VEL ROSITA		
Lectura	Concen. g / litro	Tiempo segundos	Lectura	Concen. ml/ litro	Tiempo segundos
1.-	50	5	1.-	41	3
2.-	45	8	2.-	20	5
3.-	40	11	3.-	10	21
4.-	30	14	4.-	7	25
5.-	25	28	5.-	5.5	41
6.-	20	33	6.-	5	45
7.-	10	53	7.-	4	48
8.-	5	62	8.-	3	50

GRÁFICA 9.-Tiempo VS Concentración (MAESTRO LIMPIO)



GRÁFICA 10.-Tiempo VS Concentración (VEL ROSITA)



ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En esta sección se realizaron dos tipos de experimentos relacionados con los tensoactivos. Durante el primero, donde se observa la variación de la tensión superficial del agua mediante el método del anillo, a medida que se agrega mayor cantidad de tensoactivo.

Los tensoactivos que se utilizaron son: dos no iónicos el span 80 y el tween 80, un aniónico el dodecil sulfato de sodio. Además, de un suavizante de telas comercial llamado downy y un detergente para ropa cuyo nombre es vel rosita. Los resultados recabados son los siguientes: downy baja la tensión superficial de 73.5 a 49 dinas/cm, vel rosita de 65 a 32.37 dinas/cm, dodecil sulfato de sodio 69.3 a 32.7 dinas/cm, el span 80 de 67 a 27.7 dinas/cm y el tween 80 de 66.9 a 33.47 dinas/cm.

No se trabajaron porcentajes de error por la poca información reportada en la literatura consultada, pero todas las lecturas fueron corregidas al emplear el método del anillo. Los errores que se tienen al utilizar este método ya han sido tratados anteriormente.

Como segunda parte se efectuó la prueba de "Draves", para comprobar la capacidad de humectación de diferentes sustancias. Las sustancias empleadas en este caso fueron: un detergente de nombre Ajax limón, un detergente para platos llamado dish drop, un limpiador de pisos de nombre maestro limpio, y nuevamente el dodecil sulfato de sodio y el vel rosita.

El equipo consta de una probeta de 1lt., un cronómetro, una pesa y una madeja de hilo. Para esta prueba los resultados a las concentraciones más altas son los siguientes: Ajax limón a 24 ml/lt tarda 2 segundos, Dish drop 5 g/lt tarda 26 segundos, dodecil sulfato de sodio 0.0205 mol/lt tarda 8 segundos, Maestro limpio a 50 g/lt tarda 5 segundos y el vel rosita con 41 ml/lt tarda 3 segundos.

En este caso los errores que se deben de evitar son de manejo del equipo, uno de estos errores es el realizar esta prueba con sustancias que imparten color al agua, evitando la visión del hilo atado a la madeja. Otro error presente es el cronometraje del tiempo, al ser difícil de sincronizar los movimientos. También se debe tratar de que todas las madejas de hilo tengan el mismo peso, por último se debe recordar que en la primera lectura, el hilo que se amarra a la madeja esta seco. Lo que no sucede en las siguientes lecturas.

Durante la primera parte las cinco muestras disminuyeron la tensión superficial del agua como se esperaba, y con esto se comprueba que tanto los tensoactivos puros, como los detergentes comerciales abaten la tensión superficial del agua, cuando se agregan en bajas concentraciones. Los productos comerciales debido a la presencia de otros productos como cargas, perfume, abrillantadores, etc. abaten la tensión superficial hasta valores más altos al utilizar una concentración similar a los tensoactivos puros.

Siguiendo con la segunda parte, las concentraciones propuestas para realizar la prueba de Draves escogidas con ayuda del experimento previo, y tomando en consideración el tiempo de laboratorio, se fijaron bajo el criterio que la concentración que se propone debe de humectar la madeja en un tiempo no mayor de 3 minutos, de lo contrario se desecha y se aumenta la concentración de la disolución.

Para un mejor aprovechamiento de esta prueba, se recomienda que las sustancias comerciales utilizadas tengan la misma aplicación (que todas sirvan para limpiar pisos o para lavar platos), y que se encuentren en la misma presentación (sólidos o líquidos).

CONCENTRACIÓN MICELAR CRÍTICA

OBJETIVO.

Comprender que es la concentración micelar crítica (c.m.c.) de los tensoactivos y su importancia en la caracterización de dichos tensoactivos.

PROBLEMA.

Determinar la c.m.c. de algunos tensoactivos experimentalmente.

CUESTIONARIO.

- 1.- Definir qué es una micela.
- 2.- ¿Qué es lo que se conoce como c.m.c. de un tensoactivo?
- 3.- ¿Qué propiedades se ven modificadas por la aparición de micelas?
- 4.- Describa detalladamente un experimento que involucre la tensión superficial, uno la conductividad y otro la absorbancia para encontrar la c.m.c. en cada caso de un tensoactivo.

BIBLIOGRAFÍA.

- Myers, D. Surfaces, interfaces and colloids: principles and applications. VCH Publishers, Inc. U.S.A. 1991.
- Clint H., J. Surfactant Aggregation Blackie & Sons Ltd. Great Britain 1992.
- Shaw J., D. Introduction to colloid and surface chemistry Butterworths England 1970.
- Wood A., J. Colloidal surfactants suggestions for practical investigations. J.Chem.Educ. 49,(3),161-163,(1972).
- Manit, R. & Prapin, W. Determination of critical micelle concentration using acridine orange dye probe. J.Chem.Educ. 55,(5),342,(1987).

ABREVIATURAS DE LAS HOJAS DE CÁLCULO.

Para el método del anillo:

Concen.= Concentración de la disolución (mol/lit o ml/lit).

Valor= Es el valor que proporciona el tensiómetro (dinas/cm).

P= Tiro total del anillo (dinas).

M= Peso del líquido levantado (cm³).

R³/V= Radio del anillo al cubo entre el volumen del líquido levantado.

R/r= Radio del anillo entre el radio del alambre.

Ten. Sup.= Tensión superficial (dinas/cm).

Pendiente= La pendiente que se encuentra entre dos puntos.

Para el cuadro 39 y 40:

log concen.= Logaritmo base diez de la concentración.

Ten. Sup.= Tensión superficial (dinas/cm).

Pendiente= La pendiente que se encuentra entre dos puntos.

Para la Absorbancia:

Concentración= Concentración de la disolución (mol/lit o ml/lit).

Absorbancia= Absorbancia de la disolución a 500 nm.

Pendiente= La pendiente que se encuentra entre dos puntos.

Para la Conductividad:

Concentración= Concentración de la disolución (mol/m³).

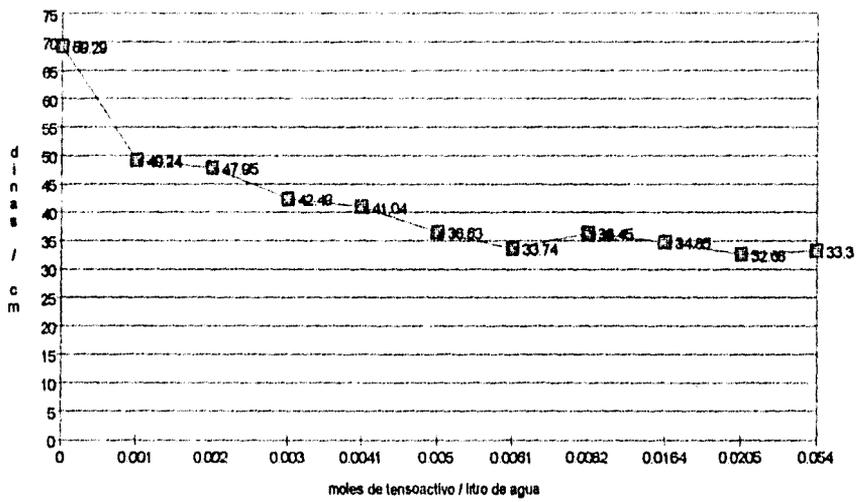
Conductividad= Conductividad de la disolución (mho/m).

Conductividad molar= Conductividad molar de la disolución (mho m² / mol).

Pendiente= La pendiente que se encuentra entre dos puntos.

CUADRO 36.- RESULTADOS DE LA TENSION SUPERFICIAL DEL DODECIL SULFATO DE SODIO A 21 GRADOS CENTIGRADOS.						
MÉTODO DEL ANILLO.						
Lectura	Concen. mol / lt.	Valor dinas/cm	P dinas	M gramos	V cm. cub.	R ³ /V
1.-	0	73.8	886.1313	0.90611	0.90772	0.96097
2.-	0.001	53.7	644.7866	0.85933	0.87547	1.29138
3.-	0.002	52.3	627.9785	0.84214	0.85788	1.32595
4.-	0.003	46.8	581.9369	0.57461	0.58888	1.48178
5.-	0.0041	45.3	543.9261	0.55819	0.56981	1.53085
6.-	0.005	40.7	488.8930	0.49971	0.51195	1.70387
7.-	0.0061	37.7	452.6714	0.46288	0.47421	1.83945
8.-	0.0082	40.5	486.2916	0.49726	0.51079	1.70772
9.-	0.0164	38.9	487.0800	0.47761	0.48991	1.78052
10.-	0.0205	38.8	439.4635	0.44937	0.45515	1.91648
11.-	0.054	37.3	447.8685	0.45797	0.46386	1.88051
Lectura	R / r	Factor de correccion	Ten. Sup. dinas / cm	Pendiente		
1.-	53.928	0.939	89.2982	-20055		
2.-	53.928	0.917	49.2429	-1283.8		
3.-	53.928	0.917	47.9591	-5484.7		
4.-	53.928	0.908	42.4944	-1320.5		
5.-	53.928	0.906	41.0418	-4902		
6.-	53.928	0.9	36.63	-2625.9		
7.-	53.928	0.895	33.7415	1289.76		
8.-	53.928	0.9	36.45	-194.58		
9.-	53.928	0.896	34.8544	-529.41		
10.-	53.928	0.893	32.6838	18.6597		
11.-	53.928	0.893	33.3089			

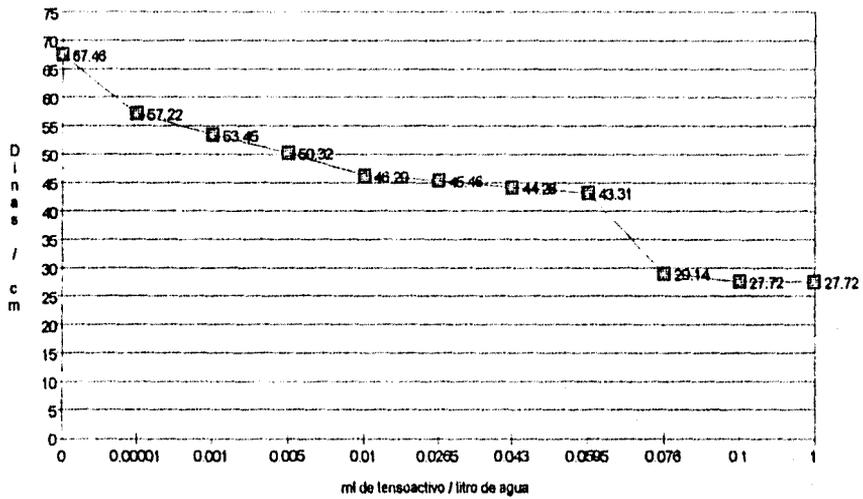
GRÁFICA 11.-Tensión Superficial VS Concentración (DSS)



CUADRO 37.- RESULTADOS DE LA TENSION SUPERFICIAL DEL
SPAN 80 A 22 GRADOS CENTIGRADOS.

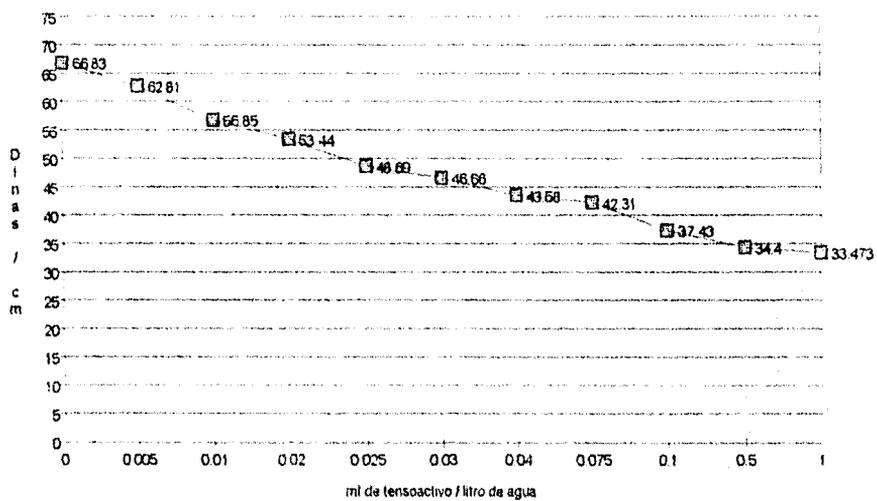
MÉTODO DEL ANILLO						
Lectura	Concen.	Valor	P	M	V	R ³ /V
	ml / litro	dinas/cm	dinas	gramos	cm. cub.	
1.-	0	72	864.5184	0.88401	0.88558	0.98499
2.-	0.00001	61.8	739.6435	0.75832	0.77983	1.11885
3.-	0.001	58.1	697.6183	0.71335	0.73202	1.19183
4.-	0.005	54.7	656.7938	0.67180	0.68918	1.26570
5.-	0.01	50.6	607.5643	0.62128	0.63726	1.36882
6.-	0.0295	49.8	597.9585	0.61144	0.62718	1.39080
7.-	0.043	48.5	582.3492	0.59548	0.61081	1.42808
8.-	0.0595	47.8	571.5427	0.58443	0.59948	1.45509
9.-	0.076	32.9	395.0368	0.40394	0.41434	2.10523
10.-	0.1	31.4	377.0260	0.38553	0.39416	2.21304
11.-	1	31.4	377.0260	0.38553	0.39610	2.20218
Lectura	R / r	Factor de corrección	Ten. Sup. dinas / cm	Pendiente		
1.-	53.928	0.937	67.464	-1e+6		
2.-	53.928	0.929	57.2264	-3812.5		
3.-	53.928	0.92	53.452	-782		
4.-	53.928	0.92	50.324	-805		
5.-	53.928	0.915	46.299	-50.4		
6.-	53.928	0.913	45.4674	-71.933		
7.-	53.928	0.913	44.2805	-58.454		
8.-	53.928	0.91	43.316	-858.58		
9.-	53.928	0.886	29.1494	-59.3		
10.-	53.928	0.883	27.7262	0		
11.-	53.928	0.883	27.7262			

GRÁFICA 12.-Tensión Superficial VS Concentración (SPAN 80)



CUADRO 38.- RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DEL						
TWEEN 80 A 21GRADOS CENTIGRADOS.						
MÉTODO DEL ANILLO.						
Lectura	Concen.	Valor	P	M	V	R ³ /V
	ml / litro	dinas/cm	dinas	gramos	cm. cub.	
1.-	0	71.4	857.3140	0.87865	0.87820	0.99327
2.-	0.005	67.4	809.2852	0.82753	0.82900	1.05222
3.-	0.01	61.2	734.8406	0.75141	0.77457	1.12616
4.-	0.02	57.9	695.2168	0.71089	0.73280	1.19035
5.-	0.025	53.1	637.5823	0.65196	0.66902	1.30384
6.-	0.03	51	612.3672	0.62617	0.64258	1.35752
7.-	0.04	47.9	575.1448	0.58811	0.60350	1.44538
8.-	0.075	46.6	559.5355	0.57215	0.58688	1.48631
9.-	0.1	41.5	498.2988	0.50953	0.52265	1.66897
10.-	0.5	38.4	461.0764	0.47147	0.48203	1.80962
11.-	1	37.4	449.0692	0.45919	0.47179	1.84889
Lectura	R / r	Factor de corrección	Ten Sup. dinas / cm	Pendiente		
1.-	53.928	0.936	66.8304	-802.72		
2.-	53.928	0.932	62.8168	-1192.4		
3.-	53.928	0.929	56.8548	-341.31		
4.-	53.928	0.923	53.4417	-949.8		
5.-	53.928	0.917	48.6927	-405.54		
6.-	53.928	0.915	46.665	-307.8		
7.-	53.928	0.91	43.589	-36.462		
8.-	53.928	0.908	42.3128	-195.19		
9.-	53.928	0.902	37.433	-7.5865		
10.-	53.928	0.896	34.4064	-1.8668		
11.-	53.928	0.895	33.473			

GRÁFICA 13.-Tensión Superficial VS Concentración (TWEEN 80)



**CUADRO 39. - RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL
Y EL LOGARITMO DE LA CONCENTRACIÓN A
21 GRADOS CENTIGRADOS**

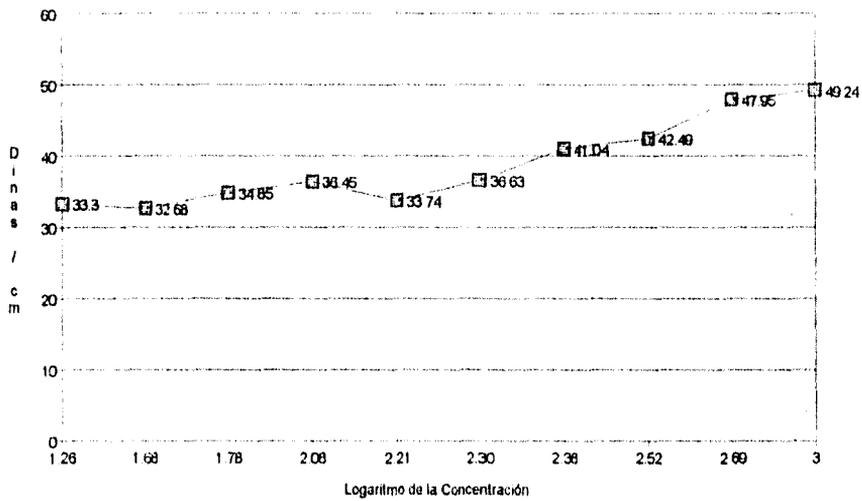
DODECIL SULFATO DE SODIO

Lectura	log Concen.	Ten. Sup. dina / cm	Pendiente
1.-	3	49.24	
2.-	2.69	47.95	4.1813
3.-	2.52	42.49	32.1176
4.-	2.38	41.04	10.3571
5.-	2.3	36.83	55.1250
6.-	2.21	33.74	32.1111
7.-	2.08	36.45	-20.8462
8.-	1.78	34.85	5.3333
9.-	1.68	32.88	21.7000
10.-	1.26	33.3	-1.4782

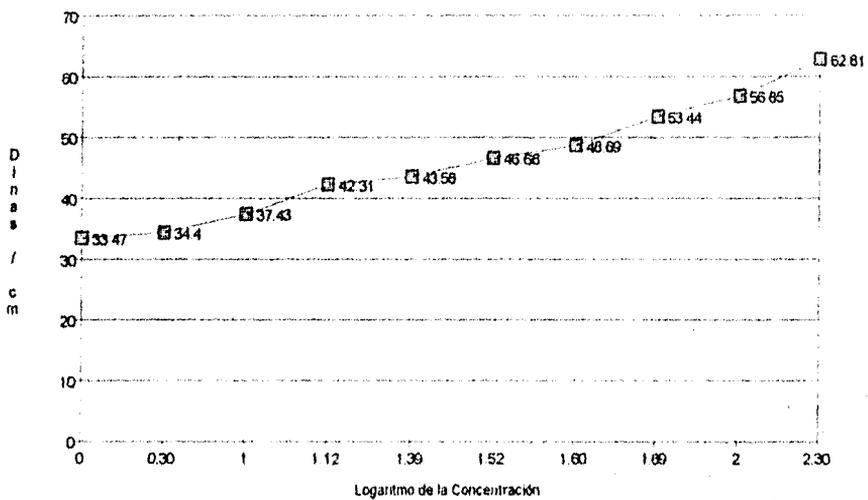
TWEEN 80

Lectura	log Concen.	Ten. Sup. dina / cm	Pendiente
1.-	2.3	62.81	
2.-	2	58.85	19.8667
3.-	1.69	53.44	11.0000
4.-	1.6	48.69	52.7778
5.-	1.52	46.66	25.3750
6.-	1.39	43.58	23.6923
7.-	1.12	42.31	4.7037
8.-	1	37.43	40.6667
9.-	0.3	34.4	4.3286
10.-	0	33.47	3.1000

GRÁFICA 14.-Tensión Superficial VS log Concentración (DSS)



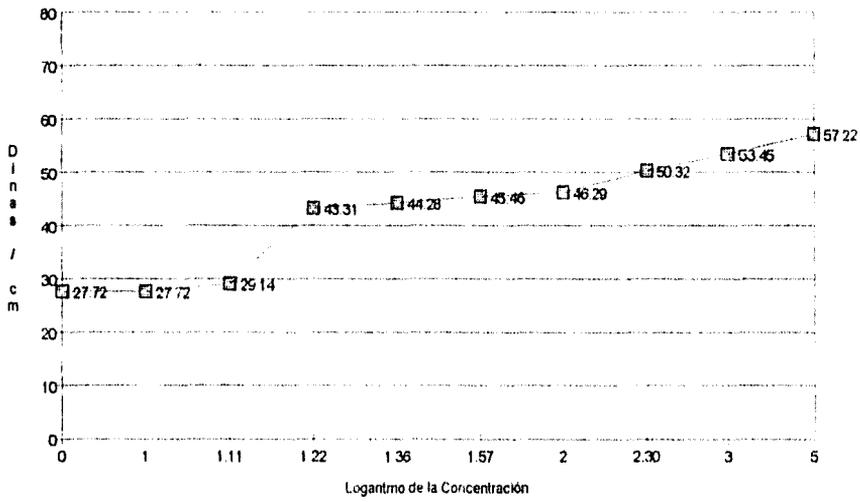
GRÁFICA 15.-Tensión Superficial VS log Concentración (TWEEN 80)



**CUADRO 40. - RESULTADOS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL Y
EL LOGARITMO DE LA CONCENTRACIÓN DEL
SPAN 80 A 22 GRADOS CENTIGRADOS.**

Lectura	log Concen	Ten. Sup. dina / cm	Pendiente
1.-	5	57.22	
2.-	3	53.45	1.8850
3.-	2.3	50.32	4.4714
4.-	2	46.29	13.4333
5.-	1.57	45.46	1.9302
6.-	1.36	44.28	5.6190
7.-	1.22	43.31	6.9286
8.-	1.11	29.14	128.6182
9.-	1	27.72	12.9091
10 -	0	27.72	0.0000

GRÁFICA 16.-Tensión Superficial VS log Concentración (SPAN 80)

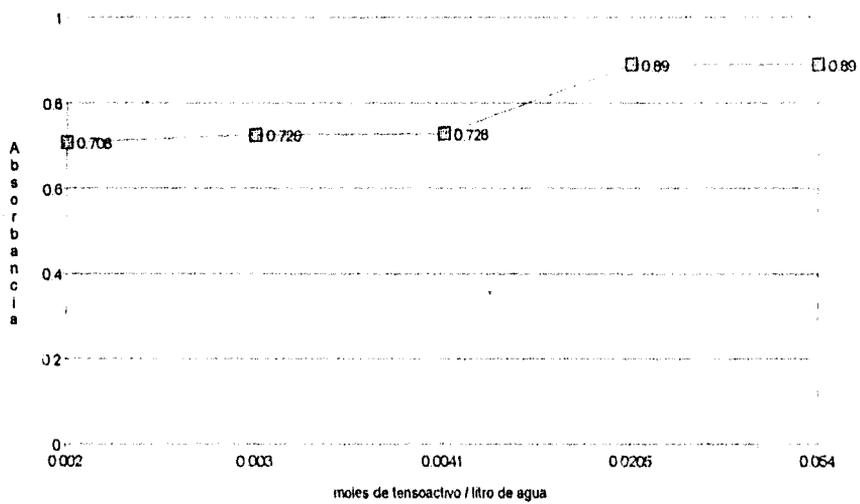


CUADRO 41.- RESULTADOS DE LA ABSORBANCIA DE DIFERENTES
SUBSTANCIAS A 500 NANOMETROS Y 23 GRADOS
CENTIGRADOS

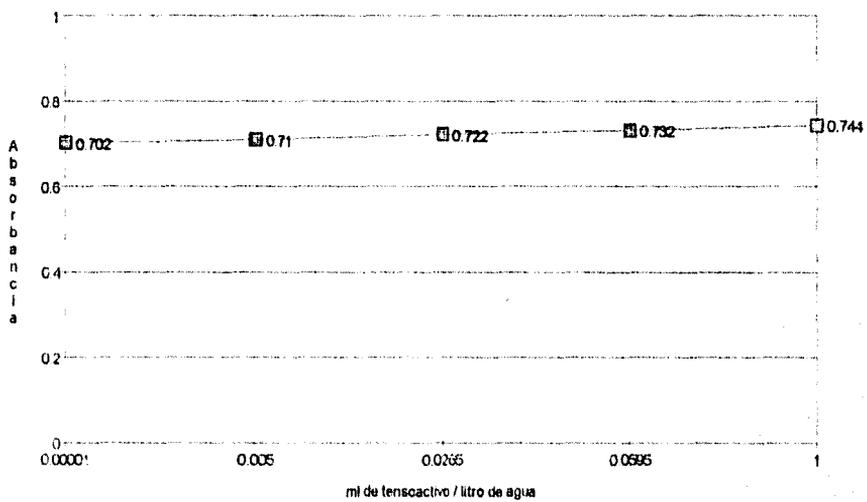
DODECIL SULFATO DE SODIO			
Lectura	Concentración mol / lt	Absorbancia	Pendiente
1.-	0.001	0.798	
2.-	0.002	0.708	-90.0000
3.-	0.003	0.726	18.0000
4.-	0.0041	0.728	1.8182
5.-	0.005	0.716	-13.3333
6.-	0.0061	0.708	-7.2727
7.-	0.0082	0.71	0.9524
8.-	0.0164	0.726	1.9512
9.-	0.0205	0.89	40.0000
10.-	0.054	0.89	0.0000

SPAN 80			
Lectura	Concentración ml / lt	Absorbancia	Pendiente
1.-	0.00001	0.702	
2.-	0.001	0.722	20.2020
3.-	0.005	0.71	-3.0000
4.-	0.01	0.732	4.4000
5.-	0.0265	0.722	-0.6061
6.-	0.043	0.712	-0.6061
7.-	0.0595	0.732	1.2121
8.-	0.076	0.71	-1.3333
9.-	0.1	0.72	0.4167
10.-	1	0.744	0.0267

GRÁFICA 17.-Absorbancia VS Concentración (DSS)



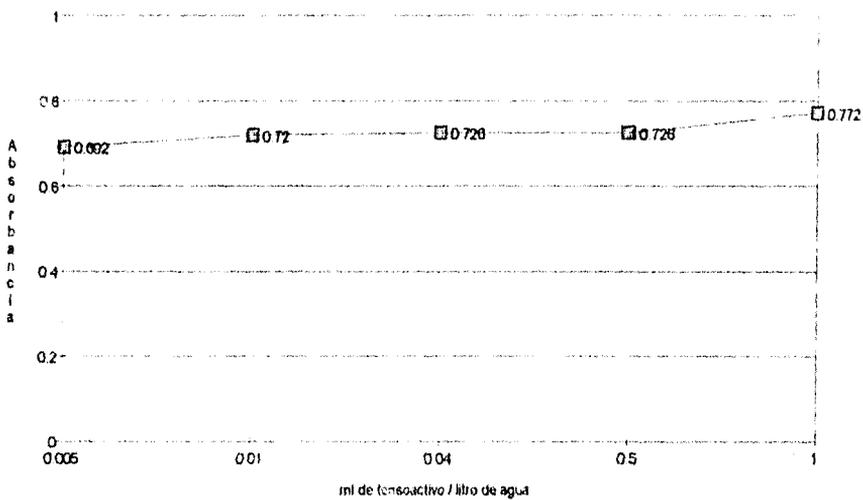
GRÁFICA 18.-Absorbancia VS Concentración (SPAN 80)



CUADRO 42 - RESULTADOS DE LA ABSORBANCIA DEL
TWEEN 80 A 500 NANOMETROS Y 23
GRADOS CENTIGRADOS.

Lectura	Concentración ml / lt	Absorbancia	Pendiente
1.-	0.005	0.692	
2.-	0.01	0.72	5.6000
3.-	0.02	0.706	-1.4000
4.-	0.025	0.83	24.8000
5.-	0.03	0.716	-22.8000
6.-	0.04	0.726	1.0000
7.-	0.075	0.714	-0.3429
8.-	0.1	0.702	-0.4800
9.-	0.5	0.724	0.0550
10.-	1	0.772	0.0960

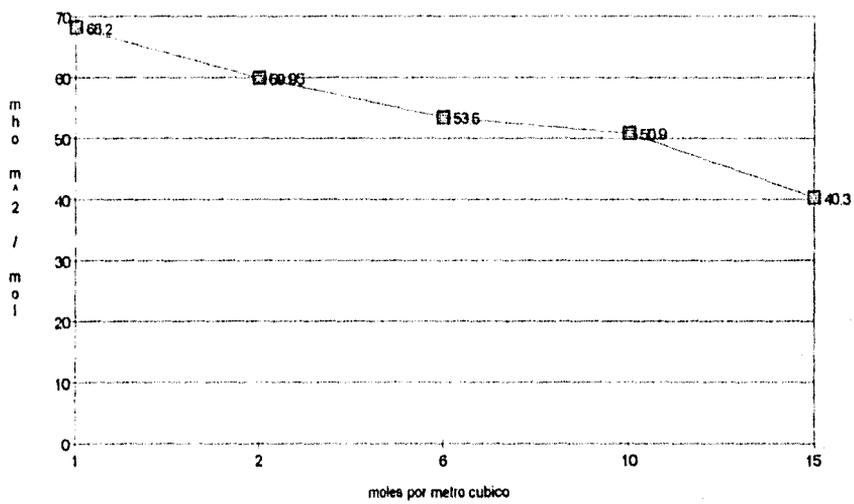
GRÁFICA 19.-Absorbancia VS Concentración (TWEEN 80)



CUADRO 43.- RESULTADOS DE LA CONDUCTIVIDAD DEL DODECIL
SULFATO DE SODIO A 22 GRADOS CENTIGRADOS.

Lectura	Concentración mol m ³	Conductividad mno m ⁻¹	Conductividad molar mho m ² mol ⁻¹	Pendiente
1.-	0	3.03*10 ⁻⁴	-----	
2.-	1	68.2*10 ⁻⁴	68.2*10 ⁻⁴	
3.-	2	119.9*10 ⁻⁴	59.95*10 ⁻⁴	-0.00082
4.-	3	157*10 ⁻⁴	52.33*10 ⁻⁴	-0.00076
5.-	4	210*10 ⁻⁴	52.5*10 ⁻⁴	1.7*10 ⁻⁵
6.-	6	321*10 ⁻⁴	53.5*10 ⁻⁴	5*10 ⁻⁵
7.-	10	509*10 ⁻⁴	50.9*10 ⁻⁴	-0.00006
8.-	15	605*10 ⁻⁴	40.3*10 ⁻⁴	-0.00021

GRÁFICA 20.-Conductividad molar VS concentración (DSS)



ANÁLISIS DE RESULTADOS

En primer lugar se buscó la concentración micelar crítica mediante el cambio de la tensión superficial a medida que se varía la concentración de tensoactivo, nuevamente se utilizó el método del anillo para este propósito. Se experimentó con los tres tensoactivos puros empleados durante el experimento anterior: el dodecil sulfato de sodio, span 80 y tween 80.

Los resultados presentados en los cuadros 36 al 38, muestran en base al análisis hecho con las pendientes lo siguiente: para dodecil sulfato de sodio el rango de c.m.c. se encuentra entre 0.0164 a 0.0205 mol/lit, en el caso del span 80 es de 0.0595 a 0.076 ml/lit y para el tween 80 de 0.075 a 0.1 ml/lit. Después se propone un análisis de estos resultados, si se considera el valor del logaritmo base diez de la concentración en lugar del valor de la concentración original. En este caso se encontraron los siguientes rangos: de 0.003 a 0.0041 mol/lit para dodecil sulfato de sodio, para span 80 de 0.001 a 0.005 ml/lit y de 0.5 a 1 ml/lit para el caso de tween 80.

Las lecturas del método del anillo son corregidas en base a lo expuesto anteriormente en este trabajo, al no encontrarse valores de c.m.c. para span 80 y tween 80 no se puede hablar de un porcentaje de error. Para el caso del dodecil sulfato de sodio su valor reportado de c.m.c. a 25 °C es de 0.0081 M, debido a que no se tiene la misma temperatura de trabajo, ni la misma pureza de la sustancia, el error experimental aumenta en forma considerable.

Como segunda opción se midió la c.m.c. con la ayuda de un espectrofotómetro (marca Spectronic 20 para el rango visible), una pipeta de 5 ml y otra de 1 ml, las celdas especiales del aparato y una propipeta.

Para la disolución de dodecil sulfato de sodio el rango de c.m.c. encontrado es de 0.0041 a 0.0205 mol/lit, en el caso del tween 80 es de 0.5 a 1ml/lit y para el span 80 es de 0.0595 a 1ml/lit. En este caso además de los errores ya mencionados se encuentra un cambio en las lecturas a medida que pasa el tiempo, por lo que se considera que el colorante utilizado no fue el adecuado. Además, de un posible cambio en las disoluciones, al dejar pasar cierta cantidad de tiempo entre cada lectura.

Por último se determinó la c.m.c. por medio de un conductímetro, solamente para el dodecil sulfato de sodio, debido a que el conductímetro se encuentra en otro laboratorio y por la dificultad de conseguir el agua desionizada.

El valor de c.m.c. reportado es de 0.0010 a 0.0015 mol/lit el cual se encuentra muy cercano al valor real. Para evitar errores en la lectura, no se debe dejar el agua expuesta al aire impidiendo con esto su contaminación (por la disolución de CO_2 en el agua formando el ion HCO_3^-). Se tiene que trabajar con la mayor limpieza posible, ya que la presencia de partículas extrañas producen lecturas erróneas.

Para el caso del dodecil sulfato de sodio, el método en el que se obtienen mejores resultados al compararlos con el valor experimental reportado en la literatura, es el del conductímetro. Al medir la variación de la tensión superficial, se logra mejorar el resultado al graficar el logaritmo de la concentración. En cuanto al espectrofotómetro el rango encontrado resulta demasiado amplio.

Al analizar los 2 métodos ya mencionados: el rango de c.m.c. para el span 80 es de 0.05 a 0.076 ml/lit y el tween 80 de 0.5 a 1ml/lit en este caso resulta de gran utilidad el empleo de los métodos descritos anteriormente para poder decidir cual es el rango que se debe elegir.

Con base a estos resultados se recomienda lo siguiente: tomar intervalos de concentración más amplios de lectura, para obtener una tendencia más clara en las gráficas, con siete lecturas como máximo se obtienen buenos resultados. Buscar algún otro colorante para el empleo del espectrofotómetro, que presente una menor variación al tomar las lecturas, y proponer las alícuotas adecuadas para las disoluciones a emplear, en este caso la mejor es de 10 ml de colorante y 40 ml de tensoactivo.

Se recomienda la adquisición de un conductímetro para el laboratorio por presentar los mejores resultados.

EMULSIONES

OBJETIVO.

Analizar la importancia de los agentes emulsificantes en la preparación de emulsiones y microemulsiones.

PROBLEMA.

Seleccionar el emulsificante y concentración adecuada de acuerdo a las características del sistema propuesto.

CUESTIONARIO.

- 1.- Con el fin de analizar el proceso de emulsificación se requiere observarlo; ¿Qué sistemas propone para analizar dicho proceso?, ¿Por qué seleccionó estos sistemas?
- 2.- Identificar cada uno de los componentes de los sistemas.
- 3.- ¿Qué características fisicoquímicas tienen los agentes emulsionantes?
- 4.- En los sistemas que ha seleccionado; proponga la forma de analizar el efecto de la concentración de los agentes emulsificantes.
- 5.- En los sistemas seleccionados; proponga la forma de medir estabilidad, volumen, viscosidad y tensión superficial.
- 6.- Identificar la relación existente entre las características fisicoquímicas de los emulsificantes y sus aplicaciones a nivel industrial.

BIBLIOGRAFÍA.

- Maron H., S. Fundamentos de Fisicoquímica. Limusa. México 1987.
- Becher, P. Emulsiones Teoría y Práctica. BLUME. España 1972.
- Sister M., I. Oil & Water emulsions J.Chem.Educ. 28,112,(1951).

CUADRO 44. - RESULTADOS DE DIFERENTES EMULSIONES A 22 GRADOS CENTIGRADOS.				
Emulsión Aceite mineral-Agua.				
Emulsificante span 80 HLB=4.3				
Lectura	Concentración de emulsificante mol/l	% Peso Volumen	Tiempo de formación min	Tiempo de estabilidad min
1.-	0.0483	0.091	17	7.4
2.-	0.05	0.0995	8	9
3.-	0.07	0.14	12	13
4.-	0.928	1.044	7.2	21
Emulsión Aceite de maiz-Agua.				
Emulsificantes: Span 80 y Tween 80. HLB=9.6				
Color: Amarillo pardo				
Densidad: 0.965 g/ml				
Textura: fluido aceitoso				
Viscosidad: 42.5 cp				
Emulsión Agua-Aceite de maiz				
Emulsificantes: Span 80 y Tween 80. HLB=9.6				
Color: Blanco				
Densidad: 0.955 g/ml				
Textura: pegajosa aceitosa.				
Viscosidad: 85 cp				

CUADRO 45. - RESULTADOS DE DIFERENTES EMULSIONES A 22	
GRADOS CENTIGRADOS.	
Emulsión Agua-Aceite de linaza	
Emulsificantes: Span 80 y Tween 80 HLB=9.6	
no se forma la emulsión	
Emulsión Aceite de linaza-Agua	
Emulsificantes: Span 80 y Tween 80 HLB=9.6	
Color: Blanco	
Densidad: 0.9028 g/ml	

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la elaboración de las emulsiones se utilizaron: un vaso de precipitados de 250 ml, dos vasos de precipitados de 150 ml, una probeta de 100 ml, una pipeta de 10 ml y otra de 1 ml, un agitador magnético y una propipeta.

En la primera emulsión que se fabricó, se utiliza el span 80 como agente emulsificante, en esta emulsión se observa el efecto de la concentración de emulsificante en el tiempo de formación y estabilidad de la emulsión, los resultados se presentan en el cuadro 44. A medida que se aumenta la concentración de tensoactivo aumenta el tiempo de estabilidad, hasta una concentración en la cual ya se mantiene estable la emulsión. La cual no es factible de obtener en el tiempo con el que se cuenta en el laboratorio.

Los errores que se encuentran en este tipo de experimentos son: el control de la temperatura, la pureza de las sustancias empleadas, el tiempo y tipo de agitación, etc.

En el siguiente experimento se utilizó una mezcla de emulsificantes que presentan un valor de HLB igual a 9.6. en base a la literatura con esta mezcla se puede obtener una emulsión aceite en agua.

Al preparar la emulsión aceite de maíz en agua, el tiempo de estabilidad de ésta no es muy largo. En la emulsión agua en aceite de maíz se observa una mayor estabilidad. Estos resultados no concuerdan del todo con la hipótesis de trabajo, de acuerdo con ésta la emulsión agua en aceite de no debería formarse.

Para confirmar lo anterior se elaboraron dos nuevas emulsiones donde se varía el tipo de aceite, en este caso se utilizó aceite de linaza. La emulsión agua-aceite no logró formarse, en cambio la emulsión aceite-agua se forma y presenta condiciones de estabilidad. Lo cual se encuentra de acuerdo con lo planteado.

De lo anterior se puede confirmar que el aceite de maíz comercial, presenta en su elaboración ciertas sustancias que favorecen la formación de una emulsión agua-aceite, resultando un caso particular.

Con estos resultados se concluye lo necesario que resulta el trabajo experimental, para la elaboración de emulsiones además de contar con la ayuda de la información reportada en libros y revistas de los fabricantes de emulsificantes.

VISCOSIDAD (TIXOTROPÍA).

OBJETIVO.

Conocer el comportamiento de algunos sistemas dispersos mediante el estudio de la viscosidad.

PROBLEMA.

Encuentre la dilución óptima de cierta pintura, de acuerdo a su índice tixotrópico.

CUESTIONARIO.

- 1.- Defina el concepto de viscosidad.
- 2.- ¿Cuáles son los tipos de viscosidad que se conocen y cómo se determinan?
- 3.- A que se le conoce como tixotropía.
- 4.- Mencionar al menos tres productos comerciales, en los cuales el valor de su viscosidad es relevante para su uso; justifique su respuesta.
- 5.- De acuerdo a los sistemas coloidales seleccionados; qué método propone para medir su viscosidad; ¿Por qué seleccionó este método?
- 6.- Proponer un método experimental para identificar y cuantificar el comportamiento tixotrópico y reopéctico.

BIBLIOGRAFÍA.

- Lucario E., S. Determinación de la viscosidad en fluidos. Tesis Lic. Fac. de Química. U.N.A.M. México 1991.
- Ferguson, J. Kembowsky, Z. Applied fluid rheology. Elsevier applied science. Great Britain 1991.
- Norma ASTM, D2198-81. Parte 6. Standard test methods for rheological properties of non-newtonian materials by rotational (Brookfield) viscometer.

ABREVIATURAS DE LAS HOJAS DE CÁLCULO.

Velocidad= La velocidad de rotación del viscosímetro (r.p.m.).

Valor= Es el valor que proporciona el viscosímetro.

Factor del equipo= Factor proporcionado por el fabricante, por el que se multiplica el valor para obtener la viscosidad.

CUADRO 46.- RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD A DIFERENTES VELOCIDADES PARA LA PINTURA ALLEGRO A 22 GRADOS CENTIGRADOS.				
VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD)				
DILUCIÓN: 0% DE AGUA.				
Lectura	Velocidad r.p.m.	Valor	Factor del equipo	Viscosidad centipoises
1.-	0.5	1	20000	20000
2.-	1	2	10000	20000
3.-	2.5	3.5	4000	14000
4.-	5	5.5	2000	11000
5.-	10	9.5	1000	9500
6.-	20	16.5	500	8250
7.-	50	36.5	200	7300
8.-	100	62.5	100	6250
9.-	50	36	200	7200
10.-	20	16	500	8000
11.-	10	9	1000	9000
12.-	5	5	2000	10000
13.-	2.5	3	4000	12000
14.-	1	1.5	10000	15000
15.-	0.5	1	20000	20000
Grado de adelgazamiento por corte= 3.2				
Grado de Tixotropía= 1				

CUADRO 48. - RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD A DIFERENTES VELOCIDADES PARA LA PINTURA ALLEGRO A 22 GRADOS CENTIGRADOS.

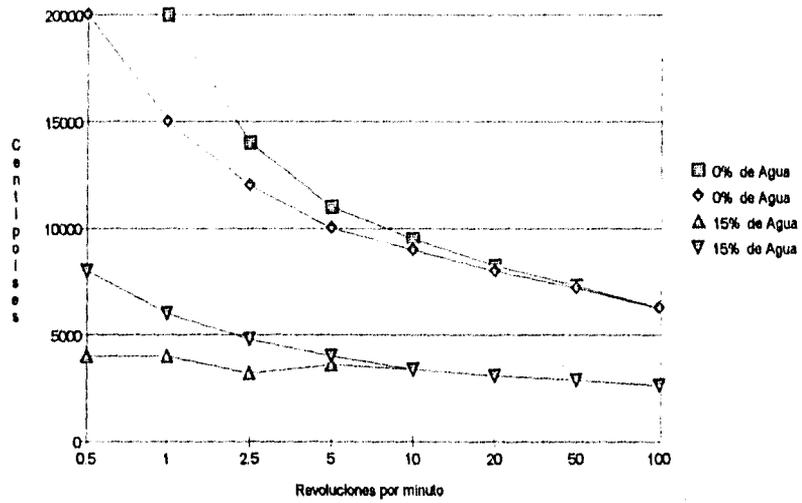
VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD)				
DILUCIÓN: 10% DE AGUA				
Lectura	Velocidad r.p.m.	Valor	Factor del equipo	Viscosidad centipoises
1.-	0.5	1.5	8000	12000
2.-	1	2.5	4000	10000
3.-	2.5	4	1800	6400
4.-	5	7	800	5600
5.-	10	12	400	4800
6.-	20	21	200	4200
7.-	50	47.5	80	3800
8.-	100	83	40	3320
9.-	50	48.5	80	3720
10.-	20	21	200	4200
11.-	10	11.5	400	4600
12.-	5	6.5	800	5200
13.-	2.5	4	1800	6400
14.-	1	3	4000	12000
15.-	0.5	1.5	8000	12000
Grado de adelgazamiento por corte= 3.61				
Grado de Tixotropía= 1				

**CUADRO 49.- RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD A DIFERENTES VELOCIDADES
PARA LA PINTURA ALLEGRO A 22 GRADOS CENTIGRADOS.**

VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD)				
DILUCIÓN: 15% DE AGUA.				
Lectura	Velocidad r.p.m.	Valor	Factor del equipo	Viscosidad centipoises
1.-	0.5	0.5	8000	4000
2.-	1	1	4000	4000
3.-	2.5	2	1600	3200
4.-	5	4.5	800	3600
5.-	10	8.5	400	3400
6.-	20	15.5	200	3100
7.-	50	38	80	2880
8.-	100	68	40	2640
9.-	50	38	80	2880
10.-	20	15.5	200	3100
11.-	10	8.5	400	3400
12.-	5	5	800	4000
13.-	2.5	3	1600	4800
14.-	1	1.5	4000	6000
15.-	0.5	1	8000	8000
Grado de adelgazamiento por corte= 1.51				
Grado de Tixotropía= 1				

CUADRO 50.- RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD A DIFERENTES VELOCIDADES PARA LA PINTURA ALLEGRO A 22 GRADOS CENTIGRADOS.				
VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD)				
DILUCIÓN: 20% DE AGUA.				
Lectura	Velocidad r.p.m.	Valor	Factor del equipo	Viscosidad centipoises
1.-	0.5	1	4000	4000
2.-	1	2	2000	4000
3.-	2.5	4	800	3200
4.-	5	7	400	2800
5.-	10	12	200	2400
6.-	20	21.5	100	2150
7.-	50	49	40	1960
8.-	100	91.5	20	1830
9.-	50	49	40	1960
10.-	20	21	100	2100
11.-	10	12	200	2400
12.-	5	7	400	2800
13.-	2.5	4	800	3200
14.-	1	2	2000	4000
15.-	0.5	1	4000	4000
Grado de adelgazamiento por corte= 2.18				
Grado de Tixotropía= 1				

GRÁFICA 21.-Viscosidad VS Velocidad de corte (Allegro)



CUADRO 51.- RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD A DIFERENTES VELOCIDADES				
PARA LA PINTURA COMERCIAL MEXICANA A 23 GRADOS				
CENTIGRADOS.				
VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD)				
DILUCIÓN: 0% DE AGUA.				
Lectura	Velocidad	Valor	Factor del	Viscosidad
	r.p.m.		equipo	centipoises
1.-	0.5	3	8000	24000
2.-	1	4	4000	16000
3.-	2.5	7	1600	11200
4.-	5	10.5	800	8400
5.-	10	15	400	6000
6.-	20	21.5	200	4300
7.-	50	34.5	80	2760
8.-	100	47.5	40	1900
9.-	50	34	80	2720
10.-	20	21.5	200	4300
11.-	10	15	400	6000
12.-	5	10.5	800	8400
13.-	2.5	7	1600	11200
14.-	1	4	4000	16000
15.-	0.5	3	8000	24000
Grado de adelgazamiento por corte= 12.63				
Grado de Tixotropía= 1				

**CUADRO 52.- RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD A DIFERENTES VELOCIDADES
PARA LA PINTURA COMERCIAL MEXICANA A 23 GRADOS
CENTIGRADOS.**

**VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD)
DILUCIÓN: 5% DE AGUA.**

Leitura	Velocidad r.p.m.	Valor	Factor del equipo	Viscosidad centipoises
1.-	0.5	1.5	8000	12000
2.-	1	2.5	4000	10000
3.-	2.5	5	1600	8000
4.-	5	8	800	6400
5.-	10	12	400	4800
6.-	20	18	200	3600
7.-	50	29	80	2320
8.-	100	41	40	1640
9.-	50	29	80	2320
10.-	20	18	200	3600
11.-	10	12.5	400	5000
12.-	5	8.5	800	6800
13.-	2.5	5.5	1600	8800
14.-	1	3.5	4000	14000
15.-	0.5	2	8000	16000
Grado de adelgazamiento por corte= 7.31				
Grado de Tixotropía= 0.75				

**CUADRO 53. - RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD A DIFERENTES VELOCIDADES
PARA LA PINTURA COMERCIAL MEXICANA A 23 GRADOS
CENTIGRADOS.**

**VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD)
DILUCIÓN: 10% DE AGUA.**

Lectura	Velocidad r.p.m.	Valor	Factor del equipo	Viscosidad centipoises
1.-	0.5	1.5	8000	12000
2.-	1	2.5	4000	10000
3.-	2.5	4	1600	6400
4.-	5	6.5	800	5200
5.-	10	9.5	400	3800
6.-	20	14	200	2800
7.-	50	23	80	1840
8.-	100	33	40	1320
9.-	50	23.5	80	1880
10.-	20	14	200	2800
11.-	10	9.5	400	3800
12.-	5	6.5	800	5200
13.-	2.5	4.5	1600	7200
14.-	1	2.5	4000	10000
15.-	0.5	1.5	8000	12000

Grado de adelgazamiento por corte= 9.09

Grado de Tixotropía= 1

CUADRO 54.- RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD A DIFERENTES VELOCIDADES				
PARA LA PINTURA COMERCIAL MEXICANA A 23 GRADOS				
CENTIGRADOS.				
VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD)				
DILUCIÓN: 15% DE AGUA.				
Lectura	Velocidad r.p.m.	Valor	Factor del equipo	Viscosidad centipoises
1.-	0.5	1	8000	8000
2.-	1	2	4000	8000
3.-	2.5	3.5	1800	5600
4.-	5	5.5	800	4400
5.-	10	8	400	3200
6.-	20	12	200	2400
7.-	50	19.5	80	1560
8.-	100	28	40	1120
9.-	50	19.5	80	1560
10.-	20	12	200	2400
11.-	10	8	400	3200
12.-	5	6	800	4800
13.-	2.5	3.5	1800	5600
14.-	1	2.5	4000	10000
15.-	0.5	1	8000	8000
Grado de adelgazamiento por corte= 7.14				
Grado de Tixotropía= 1				

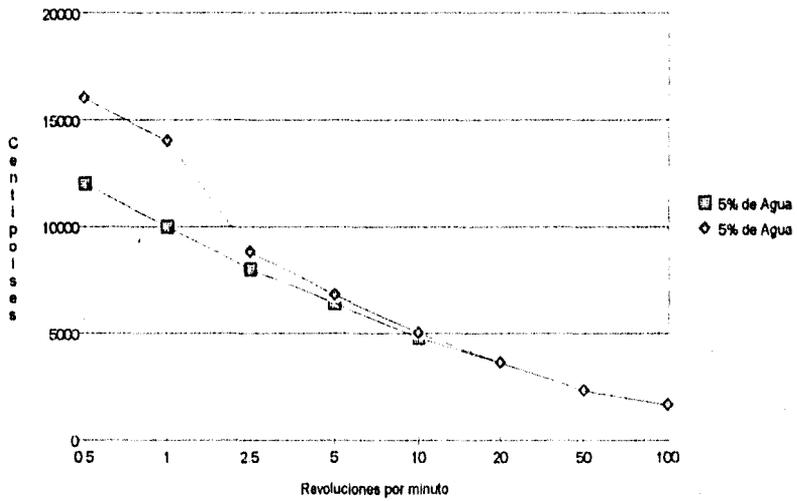
**CUADRO 55. - RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD A DIFERENTES VELOCIDADES
PARA LA PINTURA COMERCIAL MEXICANA A 23 GRADOS
CENTIGRADOS.**

**VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD)
DILUCIÓN: 20% DE AGUA.**

Lectura	Velocidad r.p.m.	Valor	Factor del equipo	Viscosidad centipoises
1.-	0.5	1	8000	8000
2.-	1	1.5	4000	6000
3.-	2.5	2.5	1600	4000
4.-	5	4	800	3200
5.-	10	6.5	400	2600
6.-	20	9.5	200	1900
7.-	50	16	80	1280
8.-	100	23.5	40	940
9.-	50	16	80	1280
10.-	20	9.5	200	1900
11.-	10	6.5	400	2600
12.-	5	4	800	3200
13.-	2.5	2.5	1600	4000
14.-	1	1.5	4000	6000
15.-	0.5	1	8000	8000

Grado de adelgazamiento por corte= 8.51
Grado de Tixotropía= 1

GRÁFICA 22.-Viscosidad VS Velocidad de corte (Comercial mexicana)



**CUADRO 56.- RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD A DIFERENTES VELOCIDADES
PARA LA PINTURA SHERWIN-WILLIAMS A 23 GRADOS
CENTIGRADOS.**

**VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD)
DILUCIÓN: 0% DE AGUA.**

Lectura	Velocidad r.p.m.	Valor	Factor del equipo	Viscosidad centipoises
1.-	5	5.5	800	4400
2.-	10	10	400	4000
3.-	20	17.5	200	3500
4.-	50	39.5	80	3160
5.-	100	74.5	40	2980
6.-	50	39	80	3120
7.-	20	17.5	200	3500
8.-	10	10	400	4000
9.-	5	5.5	800	4400

Grado de adelgazamiento por corte= 1.47

Grado de Tixotropía= 1

CUADRO 57. - RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD A DIFERENTES VELOCIDADES				
PARA LA PINTURA SHERWIN-WILLIAMS A 23 GRADOS				
CENTIGRADOS.				
VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD)				
DILUCIÓN: 5% DE AGUA.				
Lectura	Velocidad r.p.m.	Valor	Factor del equipo	Viscosidad centipoises
1.-	5	4	800	3200
2.-	10	7.5	400	3000
3.-	20	13.5	200	2700
4.-	50	30.5	80	2440
5.-	100	58	40	2320
6.-	50	30.5	80	2440
7.-	20	13.5	200	2700
8.-	10	7.5	400	3000
9.-	5	4.5	800	3600
Grado de adelgazamiento por corte= 1.37				
Grado de Tixotropía= 0.88				

**CUADRO 58.- RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD A DIFERENTES VELOCIDADES
PARA LA PINTURA SHERWIN-WILLIAMS A 23 GRADOS
CENTIGRADOS.**

**VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD)
DILUCIÓN: 10% DE AGUA.**

Lectura	Velocidad r.p.m.	Valor	Factor del equipo	Viscosidad centipoises
1.-	5	3.5	800	2800
2.-	10	5.5	400	2200
3.-	20	10.5	200	2100
4.-	50	23.5	80	1880
5.-	100	45.5	40	1820
6.-	50	23.5	80	1880
7.-	20	10.5	200	2100
8.-	10	6	400	2400
9.-	5	3.5	800	2800

Grado de adelgazamiento por corte= 1.53

Grado de Tixotropía= 1

CUADRO 59 - RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD A DIFERENTES VELOCIDADES

PARA LA PINTURA SHERWIN-WILLIAMS A 23 GRADOS

CENTIGRADOS.

VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD)

DILUCIÓN: 15% DE AGUA.

Lectura	Velocidad r.p.m.	Valor	Factor del equipo	Viscosidad centipoises
1.-	5	2.5	800	2000
2.-	10	4	400	1600
3.-	20	8	200	1600
4.-	50	17.5	80	1400
5.-	100	32.5	40	1300
6.-	50	17.5	80	1400
7.-	20	8	200	1600
8.-	10	4.5	400	1800
9.-	5	2.5	800	2000

Grado de adelgazamiento por corte= 1.53

Grado de Tixotropía= 1

CUADRO 60.- RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD A DIFERENTES VELOCIDADES				
PARA LA PINTURA SHERWIN-WILLIAMS A 23 GRADOS				
CENTIGRADOS.				
VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (BROOKFIELD)				
DILUCIÓN: 20% DE AGUA.				
Lectura	Velocidad r.p.m.	Valor	Factor del equipo	Viscosidad centipoises
1.-	5	2	800	1600
2.-	10	3.5	400	1400
3.-	20	6	200	1200
4.-	50	13.5	80	1080
5.-	100	25.5	40	1020
6.-	50	13.5	80	1080
7.-	20	6	200	1200
8.-	10	3.5	400	1400
9.-	5	2	800	1600
Grado de adelgazamiento por corte= 1.58				
Grado de Tixotropía= 1				

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

En este experimento se utilizó un viscosímetro rotacional de Brookfield, un vaso de precipitados de 1lt, una varilla de vidrio, husillos del número 6,5 y 4, además de un cronómetro.

Se utilizaron dos pinturas de diferente marca (Allegro y Comercial Mexicana), probando en todas las velocidades disponibles con que cuenta el viscosímetro de Brookfield, en intervalos de tres minutos por lectura y diluyéndola en agua a diferentes porcentajes en volumen.

La pintura Allegro mostró un comportamiento característico de un fluido tixotrópico al no ser diluida, en las diluciones de 5,10 y 20% la mayoría de sus valores de viscosidad no presentan variación significativa, tanto al incrementar la velocidad de corte como al disminuirla, por ésta razón no se graficaron. Es importante notar que la dilución al 15% muestra un aumento en su viscosidad al ir disminuyendo su velocidad apartir de 5 r.p.m. hasta 0.5 r.p.m.

La pintura comercial mexicana solamente muestra variación en la viscosidad con la dilución de 5%, comportándose de forma similar a la de 15% de Allegro, sólo que ésta empieza a variar a partir de 10 r.p.m.

No se puede hablar de errores experimentales para las pruebas anteriores, por no tener antecedentes previos reportados en la literatura sobre estas pinturas y efectuar comparaciones. Se debe de cuidar el manejo del equipo para no dañarlo, en el caso del husillo éste se enrosca suavemente y con un movimiento en contra de las manecillas del reloj. Las lecturas se deben realizar asegurándose que el husillo se encuentre sumergido hasta una muesca que presentan.

Debido a que no se encontraron resultados satisfactorios en las primeras pruebas, para determinar el grado de tixotropía y el índice de grado de adelgazamiento por corte, se implementaron algunas modificaciones en la forma de efectuar el experimento, se aumenta el intervalo de tiempo entre lecturas a 3.5 minutos, las velocidades se empiezan a utilizar a partir de 5 r.p.m. por ser las más adecuadas y para no perder tiempo en lecturas que no resultan de utilidad (esta decisión se toma en base a la literatura consultada).

Con las modificaciones que se proponen al experimento se realizó una nueva prueba con una pintura marca Sherwin-Williams, pero los valores que se encontraron no muestran variaciones significativas, por lo que no se graficaron.

Se sugiere con base a los resultados que se presentan lo siguiente: en base a la literatura consultada previamente escoger el intervalo de velocidades a utilizar y de acuerdo al viscosímetro disponible. En la primera prueba se utilizan las velocidades tanto aumentándolas como disminuyéndolas y si no muestran variación los resultados obtenidos, las siguientes pruebas se realizan aumentando las velocidades solamente.

Con estas medidas se pretende ahorrar tiempo de laboratorio y dedicarlo a algunas otras pruebas convenientes.

Se sugiere realizar las pruebas de tiempos de escurrimiento de las pinturas y sus diluciones. Se debe suponer que la dilución óptima de uso de una pintura, es aquella cuyo índice tixotrópico es igual a 1. Por los resultados obtenidos se puede deducir que las pinturas utilizadas presentan una dilución óptima de uso, y que no hay necesidad de diluirlas, puesto que esto se reflejará en una aplicación inadecuada de dicha pintura.

ISOTERMA DE ADSORCIÓN.

OBJETIVO.

Estudiar un caso particular del fenómeno de adsorción y los parámetros de los que éste depende.

PROBLEMA.

Encontrar las constantes de la ecuación que describe la isoterma de adsorción de Langmuir.

CUESTIONARIO.

- 1.- Explique la ecuación de Langmuir para la adsorción y las condiciones que debe cumplir.
- 2.- Con el fin de analizar el proceso de adsorción se requiere observarlo y controlarlo.
¿Qué sistema propone para analizar el proceso de adsorción?. ¿Por qué seleccionó este sistema?
- 3.- Identifique cada uno de los componentes del sistema.
- 4.- Es sabido que la adsorción depende de varios factores, entre otros, la temperatura, la presión, la concentración de adsorbato, etc. Proponga un experimento en el que se pueda analizar el proceso de adsorción en función de la temperatura.
- 5.- Identificar la relación existente entre las características fisicoquímicas del adsorbente y la cantidad adsorbida.

BIBLIOGRAFÍA.

- Maron H., S. Fundamentos de Fisicoquímica 1ra. reimp. Limusa. México 1987.
- Alberty A., R. Fisicoquímica Versión S.I. Edit. Continental S.A. de C.V. México 1984.
- David G., D. Sheina M.C., R. Huw V., D. Adsorption from solution. J.Chem.Educ.85,(9),815-816,(1988).

ABREVIATURAS DE LAS HOJAS DE CÁLCULO

Vol. A= Cantidad en volumen de la solución A empleada (ml).

Vol. B= Cantidad en volumen de la solución B empleada (ml).

Valor= Es el valor proporcionado por el espectrofotómetro a 610 nm.

C= La concentración final de la disolución (g/l).

X= La cantidad de soluto adsorbido por unidad de masa de adsorbente (g/kg).

1/C= El inverso del valor C.

1/X= El inverso del valor X.

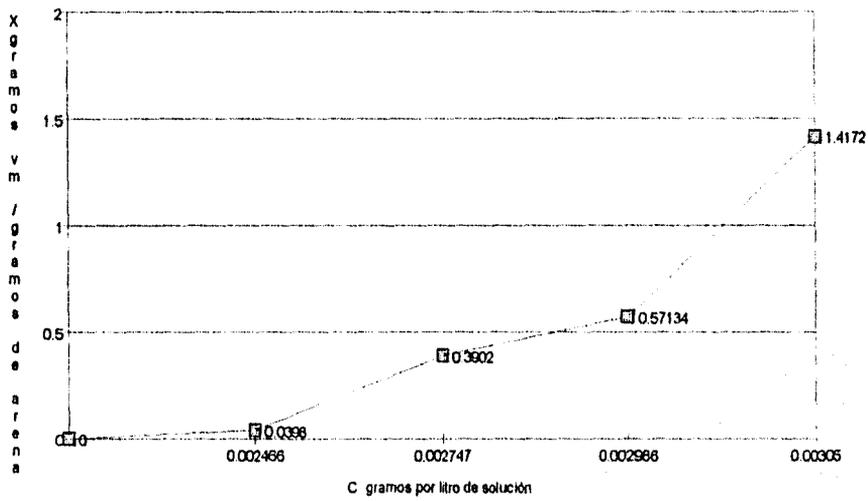
g.v m.= Gramos de verde de malaquita.

g.a.= Gramos de arena.

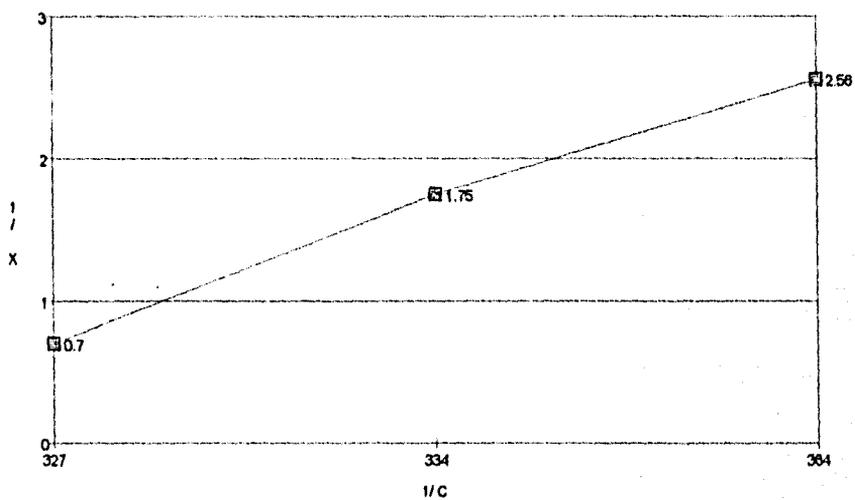
g.c.= Gramos de carbón.

CUADRO 61.- RESULTADOS DE LA ADSORCIÓN DEL METANOL							
A 21 GRADOS CENTIGRADOS.							
Adsorbente: 1 gr. de arena							
Tiempo de agitación: 2 horas							
Lectura	Vol. A	Vol. B	Valor	C	X	1/C	1/X
	ml.	ml.		g/lt	g v.m./g a.		
1.-	25	-----	0.376	0.00373	0.2284	268.0965	4.378283
2.-	40	-----	0.273	0.002747	0.3902	364.0334	2.562788
3.-	60	-----	0.309	0.002966	0.57134	334.8961	1.750271
4.-	80	-----	0.369	0.003367	0.7275	285.2465	1.374570
5.-	100	-----	0.234	0.002487	1.0056	402.0908	0.994431
6.-	150	-----	0.32	0.00305	1.4172	327.8688	0.705616
7.-	-----	25	0.231	0.002466	0.0398	405.5150	25.12562
8.-	-----	40	0.228	0.002446	0.0644	408.8307	15.52795
Ecuación de la isoterma: $y=751.75x - 1.751$					$r=0.9713$		
Adsorbente: 0.5 gr. de arena							
Tiempo de agitación: 1 hora							
Lectura	Vol. A	Vol. B	Valor	C	X	1/C	1/X
	ml.	ml.		g/lt	g v.m./g a.		
1.-	25	-----	0.334	0.001312	0.5643	761.8467	1.772107
2.-	40	-----	0.65	0.002545	0.8042	392.8192	1.243471
3.-	60	-----	0.76	0.002963	1.1562	337.4502	0.864902
4.-	80	-----	0.772	0.003023	1.532	330.7662	0.652741
5.-	100	-----	1.999	-----	-----	-----	-----
6.-	150	-----	1.999	-----	-----	-----	-----
7.-	-----	25	0.106	0.000417	0.1382	2394.463	7.235890
8.-	-----	40	0.125	0.000477	0.1398	2094.986	7.153075
Ecuación de la isoterma: $y=3.32*10^{-3} x - 0.3394$					$r=0.9924$		

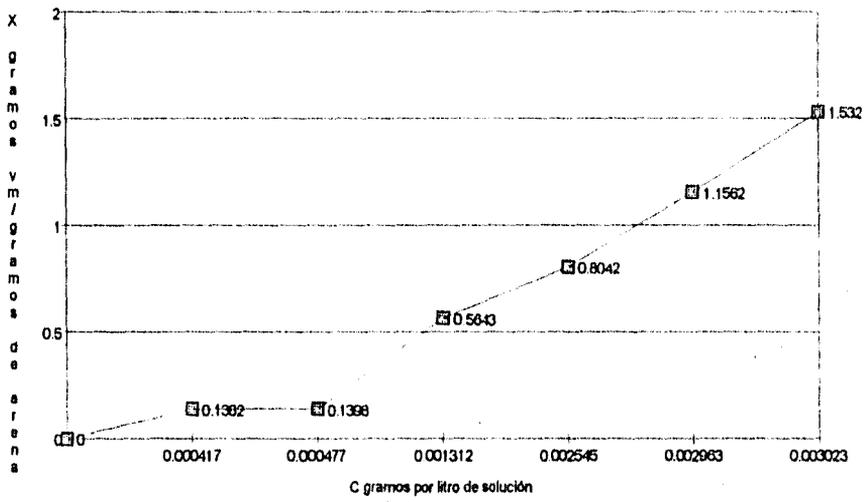
GRÁFICA 23.- Adsorción de metanol



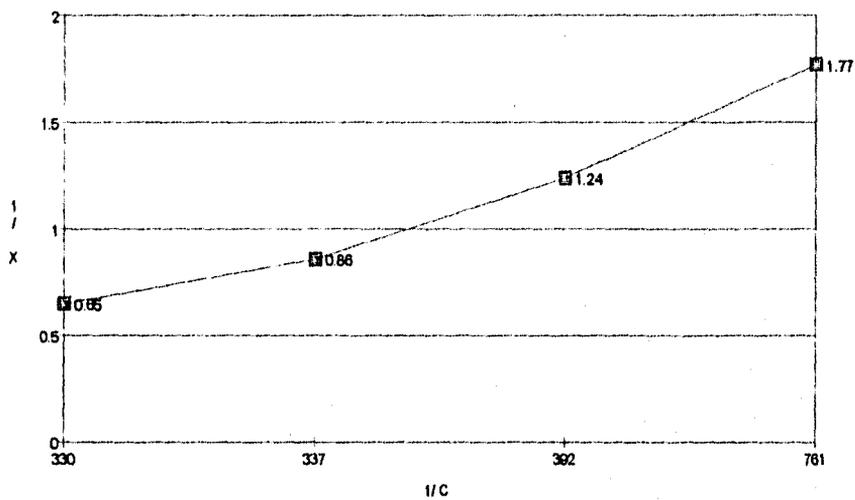
GRÁFICA 24.- Adsorción de metanol



GRÁFICA 25.- Adsorción de metanol

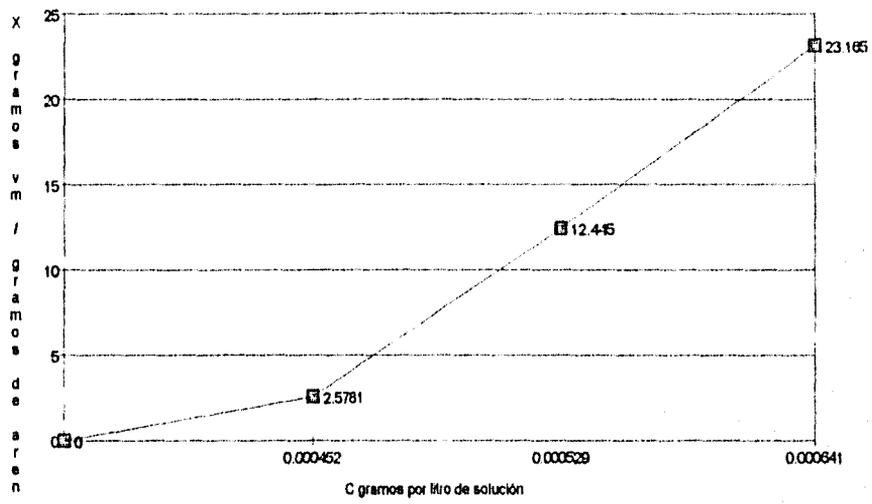


GRÁFICA 26.- Adsorción de metanol

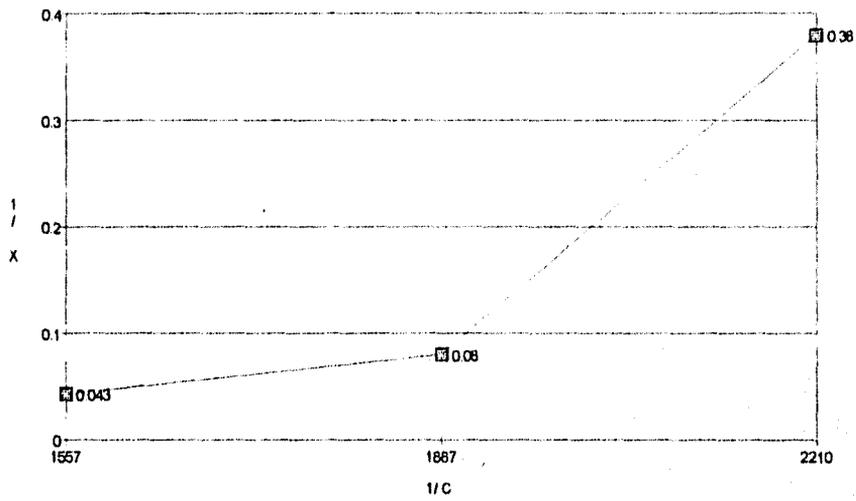


CUADRO 62.- RESULTADOS DE LA ADSORCIÓN DEL METANOL							
A 21 GRADOS CENTIGRADOS.							
Adsorbente: 0.1 gr. de carbón activado							
Tiempo de agitación: 10 minutos							
Lectura	Vol. A	Vol. B	Valor	C	X	1/C	1/X
	ml.	ml.		g/lt	g v.m./g c.		
1.-	25	-----	0.082	0.000585	3.8749	1706.805	0.258071
2.-	40	-----	0.054	0.000387	6.2798	2579.180	0.159240
3.-	60	-----	0.059	0.000422	9.3984	2368.601	0.106401
4.-	80	-----	0.074	0.000529	12.445	1887.255	0.080353
5.-	100	-----	0.051	0.000366	15.72	2730.897	0.063613
6.-	150	-----	0.09	0.000641	23.165	1557.923	0.043168
7.-	-----	25	0.081	0.000577	1.5788	1732.281	0.633392
8.-	-----	40	0.063	0.000452	2.5781	2210.824	0.387882
Ecuación de la isoterma: $y=1.0154 \cdot 10^{-4} x - 0.1157$				$r=0.9824$			
Adsorbente: 0.05 gr. de carbon activado							
Tiempo de agitación: 5 minutos							
Lectura	Vol. A	Vol. B	Valor	C	X	1/C	1/X
	ml.	ml.		g/lt	g v.m./g c.		
1.-	25	-----	0.015	0.000049	11.3296	20131.25	0.088264
2.-	40	-----	0.026	0.000085	18.0992	11742.32	0.055251
3.-	60	-----	0.05	0.000164	27.052	6073.858	0.036965
4.-	80	-----	0.029	0.000095	36.182	10515.79	0.027638
5.-	100	-----	0.04	0.000131	45.154	7576.331	0.022146
6.-	150	-----	0.053	0.000174	67.604	5728.361	0.014792
7.-	-----	25	0.025	0.000082	1.0942	12147.71	0.913909
8.-	-----	40	0.03	0.000099	1.7372	10065.12	0.575838
Ecuación de la isoterma: $y=5.267 \cdot 10^{-6} x - 0.0170$				$r=0.9824$			

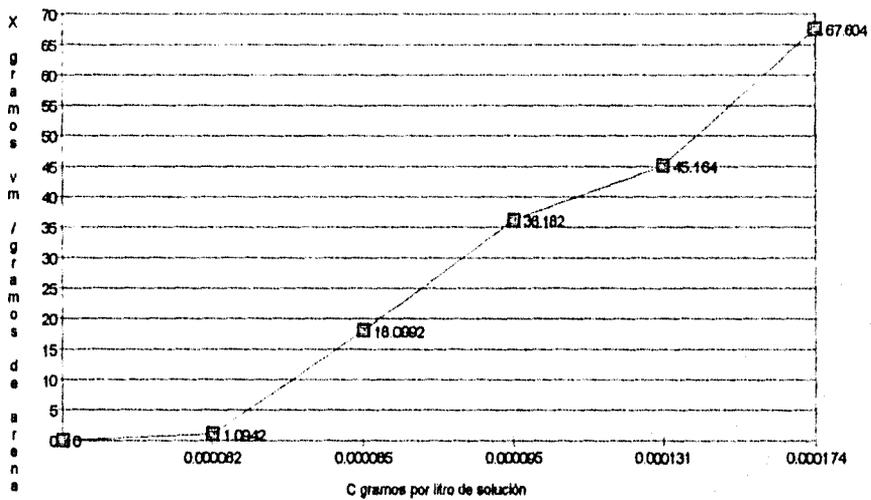
GRÁFICA 27.- Adsorción de metanol



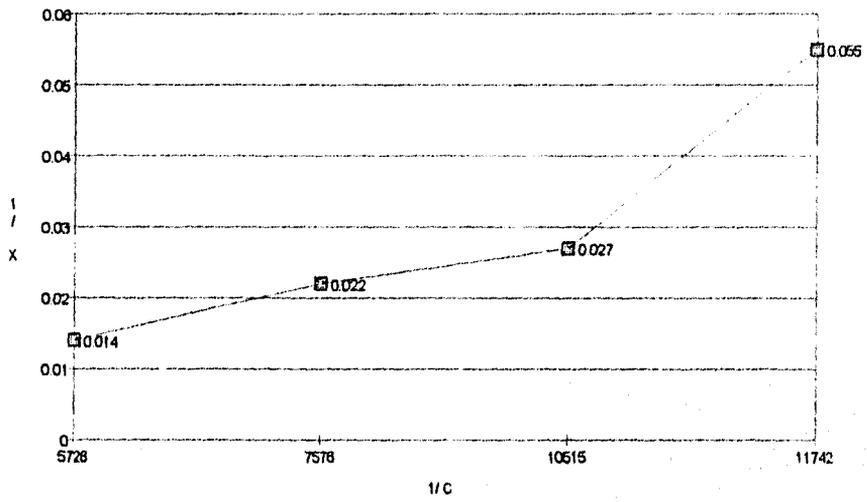
GRÁFICA 28. Adsorción de metanol



GRÁFICA 29.- Adsorción de metanol



GRÁFICA 30.- Adsorción de metanol



ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este experimento de adsorción el equipo utilizado fue el siguiente: un espectrofotómetro marca Spectronic 20 para el rango visible, las celdas del espectrofotómetro, ocho matraces erlenmeyer de 250 ml con tapón de hule cada uno, papel filtro, dos probetas una de 100 ml y otra de 25 ml, una pipeta de 10 ml, una propipeta, balanza analítica, embudo de vidrio y soporte universal con pinzas.

En todos los casos presentados se utiliza el colorante verde de malaquita, metanol y dependiendo del caso de carbón activado o arena para construcción. La arena para construcción utilizada fue previamente lavada y cernida.

Para el primer caso donde se utilizan 1g de arena y 2 horas de agitación, los resultados se presentan en la parte alta del cuadro 61. Se encontró una gran dispersión de puntos, por lo que solamente se utilizan 5 puntos para elaborar la gráfica 23 y la isoterma presentada en la gráfica 24. En el segundo sistema donde la cantidad de adsorbente y el tiempo de agitación se reducen a la mitad, no se logra obtener resultados en las lecturas 5 y 6 como se indica en la parte baja del cuadro 61, pero con los datos restantes se puede elaborar la gráfica 25, en la isoterma de la gráfica 26 solo se consideran cuatro puntos para su elaboración.

A partir del tercer sistema se cambia el adsorbente y se utiliza carbón activado. Donde las nuevas condiciones de operación son las siguientes: 0.1 g de carbón activado y tiempo de agitación de 10 minutos, los resultados se presentan en la parte superior del cuadro 62. Solo cuatro puntos se consideran aceptables para la elaboración de la gráfica 27 y de estos se tomaron tres para la isoterma presentada en la gráfica 28. Por último las cantidades de adsorbente y tiempo de agitación se reducen nuevamente a la mitad, de los resultados de la parte inferior del cuadro 62 se utilizaron seis para elaborar la gráfica 29, y con cuatro de estos se elabora la isoterma de la gráfica 30.

Uno de los errores presentes en este experimento, es que al trabajar con cantidades tan pequeñas resulta difícil su pesada, y la pérdida de parte del material durante su manejo. El colorante reacciona con la luz por lo que se evita su contacto con ésta.

Al proponer un cambio y utilizar carbón activado en lugar de arena, no se logra obtener un resultado satisfactorio pero se comprueba la eficacia del carbón activado como adsorbente, por otra parte estos resultados proporcionan la necesidad de investigar con mayor profundidad el sistema verde de malaquita-arena. Otro punto importante a manejar es el lograr una relación óptima de tiempo de agitación y cantidad de adsorbente que se utiliza, el segundo experimento es el que presenta mejores resultados para este fin, pero se considera que se puede mejorar esta relación.

En cuanto al colorante a pesar de que siempre fue el mismo, y se trató de utilizar la misma concentración en todos los casos, no debe ser considerado como el óptimo por lo que es necesario hacer pruebas con otros colorantes. De las cuatro gráficas elaboradas la que corresponde a 0.5 g de arena presenta los mejores resultados, por lo que se debe continuar experimentando para mejorar sus condiciones y obtener una isoterma aceptable.

La ventaja de trabajar con un sistema colorido, es el hecho de que el fenómeno de adsorción puede ser observado por el cambio en el color de las disoluciones iniciales a simple vista.

CONCLUSIONES

Se encontró que existe material bibliográfico de buena calidad sobre la materia en la biblioteca de licenciatura, pero su cantidad resulta insuficiente si se considera la demanda. Hay que hacer notar el hecho de que los libros en español son prácticamente inexistentes, por lo que se sugiere la revisión continua de la existencia de este tipo de libros.

La proposición de combinar varios métodos de experimentación para obtener el mismo objetivo resulta de gran utilidad, al ayudar a resolver el problema de la falta de material y equipo de laboratorio que existe, intentando además que los alumnos trabajen en equipos con pocos integrantes mejorando con esto su aprendizaje. Pero es necesario que se trate de pedir una mayor cantidad de recursos para tener un laboratorio que cuente con el equipo indispensable para brindar una educación de calidad.

Resulta evidente que en este trabajo se intenta dar un cambio en la forma de enseñanza experimental que actualmente se imparte en la facultad de química de la U.N.A.M., pero esta proposición nunca debe ser considerada como una guía que no pueda ser cuestionada o modificada, por que su objetivo es: servir de ayuda para dar una educación donde el alumno desarrolle la habilidad de observar el comportamiento de la materia que lo rodea, para que se cuestione y logre adquirir el conocimiento haciéndolo suyo, es decir el alumno debe creer en los fenómenos que lo rodean por que los ve y no por actos de fe (fe: Creencia que se da a las cosas por la autoridad del que las dice o por la fama pública). Uno de los objetivos primordiales de este cambio es que con esta metodología, el alumno realmente adquiera un conocimiento firme de los temas que abarca el laboratorio, tomando en cuenta que esta materia es muy extensa.

Por último, este trabajo se debe considerar solamente como un grano de arena más para mejorar la calidad de la educación. El autor espera que sea cuestionado y mejorado en la búsqueda de un mejor país para todos.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Hernández L.M., LLano L.M. Propuesta de Reforma de la Enseñanza Experimental. IMIQ 7, 5-7, (1994).
- 2.- Rugarcía A., Anaya A. Aprendizaje en equipo (Cooperative learning) en la formación de Ingenieros. IMIQ 7, 27-36, (1994).
- 3.- Levine I.N. Fisicoquímica. 1ra.ed. McGraw-Hill. México 1981.
- 4.- Castellan W.G. Fisicoquímica. 2da.ed. SITESA. México 1987.
- 5.- Adamson A. W. Physical Chemistry of Surface. 5th.ed. John Wiley & Sons. N.Y. 1990.
- 6.- Maron H.,S. Fundamentos de Fisicoquímica. 1ra.reimp. Limusa. México 1987.
- 7.- Valdes R., P. Determinación de la tensión interfacial con el tensiómetro de gota rotatoria. Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. México 1992.
- 8.- Jaycok M.,J. Chemistry of Interfaces. 1th.ed. John Wiley & Sons. Great Britain 1981.
- 9.- Young H.,D. University Physics. Addison-Wesley. U.S.A. 1992.
- 10.- Sears F.,D. Zemansky M.,W. Física Universitaria. SITESA. México 1988.
- 11.- Wiedemann E., Ebert H. Prácticas de Física. Gustavo Gilli. Barcelona 1932.
- 12.- Sutton M.,R. Demonstration Experiments in Physics. McGraw-Hill. U.S.A. 1938.
- 13.- Dominguez B.,R. Curso Elemental de Física. 34ta.ed. Porua S.A. México 1971.
- 14.- Romero G.M.,E. Diagrama de fases del sistema binario agua-alcohol laurico con 10 moles de oxido de etileno. Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. México 1995.
- 15.- Gonzalez H.,P.C. Reestructuración y actualización del programa experimental de fisicoquímica farmaceutica. Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. México 1986.
- 16.- Garfias F.,J., Toral M.T. Métodos de determinación de tensiones superficial e interfacial y su clasificación por la simetría de la Intercara. Revista de la Sociedad Química Mexicana 22, 3, (1978).
- 17.- Rivera V., J. A. Propiedades Superficiales de Lubricantes para el estirado de alambre de cobre. Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. México 1994.
- 18.- Sanchez C., S. Curva de coexistencia líquido-líquido y propiedades de superficie del sistema HEE + agua. Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. México 1993.
- 19.- Harkins W. D., Jordan R.F. A method for the determination of surface and interfacial tension from the maximum pull on a ring. J. Am. Chem. Soc. 52,8,(1930).
- 20.- Toral M.T. Fisicoquímica de superficies y sistemas dispersos. Ediciones Urmo. España 1973.

- 21 - Bikerman J.,J. Surface Chemistry. Academic Press Inc. U.S.A. 1958.
- 22.- Alberty A.,R. Fisicoquímica Versión S.I. Edit. Continental S.A. de C.V. México 1984.
- 23.- Myers D. Surfaces, interfaces and colloids: principles and applications. VCH Publishers, Inc. U.S.A. 1991.
- 24.- Prall R.,B. Demonstrations of interfacial phenomena. J.Chem Educ. 68,(7),592,(1991).
- 25.- McCulloch L. Demonstrating interfacial tension. J.Chem.Educ. 26,(6),336,(1949).
- 26.- Nicanor P., E. Tratabilidad de detergentes en aguas residuales y planteamiento para el cambio de elaboración de detergentes. Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. México 1994.
- 27.- Andrade P., H. Estudio de mercado de la industria de surfactantes en México. Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. México 1995.
- 28.- Munro L.,A. The evaluation of wetting agents J.Chem.Educ. 31,85-86, (1954).
- 29.- Rosen J.,M. Surfactants and interfacial phenomena 2th.Edit. John Wiley & Sons. U.S.A. 1989.
- 30.- Holden ,A., Morrison ,P. Crystals and crystal growing MIT press U.S.A. 1993.
- 31.- Clint H., J. Surfactant Aggregation Blackie & Son Ltd. Great Britain 1992.
- 32.- Shaw J., D. Introduction to colloid and surface chemistry. Butterworths England 1970.
- 33.- Wood A.,J. Colloidal surfactants suggestions for practical investigations. J.Chem.Educ. 49,(3),161-163,(1972).
- 34.- Manit R. & Prapin W. Determination of critical micelle concentration using acridine orange dye probe. J.Chem. Educ. 55,(5),342,(1978).
- 35.- Díaz R.,A.P. Determinación de la estabilidad de la emulsión en mayonesas. Tesis Lic.Fac. de Química U.N.A.M. México 1994.
- 36.- Becher P. Emulsiones Teoría y Práctica. 1ra.ed. BLUME. España 1972.
- 37.- Rodríguez L.,J. Recuperación de finos de cobre Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. México 1995.
- 38.- ICI American Inc. El sistema HLB una guía que ahorra tiempo en la selección de emulsificantes 1980.
- 39.- Sister M.,I. Oil & water emulsions. J.Chem.Educ. 28,112,(1951).
- 40.- Lucario E.S. Determinación de la viscosidad en fluidos. Tesis Lic. Fac. de Química U.N.A.M. México 1991.
- 41.- Ferguson J., Kembowsky Z. Applied fluid rheology. Elsevier applied science. Great Britain 1991.
- 42.- Norma ASTM D2196-81, Parte 6.