



300618 524
UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

**DESARROLLO DE UN NUEVO METODO PARA LA
DETERMINACION DE LA TENSION SUPERFICIAL
EN LIQUIDOS A NIVEL LABORATORIO**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO**

P R E S E N T A N :

ZANDRA GUADALUPE CASTRO RODRIGUEZ

Y

JOSE ANTONIO PARRA ASHBY

DIRECTOR DE TESIS :

I. Q. ADOLFO OBAYA VALDIVIA

MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

INDICE GENERAL

I.	INDICE GENERAL	I
II.	INDICE DE TABLAS	II
III.	INDICE DE FIGURAS	IV
IV.	NOMENCLATURA	VI
1.	INTRODUCCION	1
2.	FENOMENOS DE SUPERFICIE	3
2.1.	GENERALIDADES	3
2.2.	INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA TENSION SUPERFICIAL	11
2.3.	INFLUENCIA DE LA PRESION SOBRE LA TENSION SUPERFICIAL	13
2.4.	INFLUENCIA DE LA COMPOSICION EN LA TENSION SUPERFICIAL	14
2.5.	EL PARACORO	15
3.	MODELOS MATEMATICOS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS	17
3.1.	MODELOS MATEMATICOS	17
3.2.	CONSTRUCCION DE MODELOS	21
3.3.	DISEÑO DE EXPERIMENTOS	26
3.4.	ANALISIS DE LA INFORMACION EXPERIMENTAL	35
4.	MEDICION DE LA TENSION SUPERFICIAL	38
4.1.	METODOS EXPERIMENTALES	38
4.2.	METODOS TEORICOS UTILIZANDO MODELOS MATEMATICOS	46
5.	METODO PROPUESTO PARA LA DETERMINACION DE LA TENSION SUPERFICIAL	52
5.1.	CONCEPTOS GENERALES	52
5.2.	DESCRIPCION FISICA DEL FLOTADOR	58
5.3.	METODO DE TRABAJO	60
5.4.	DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA PRUEBA DEL FLOTADOR	64
6.	PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES	68
6.1.	ANALISIS DE DATOS POR DISEÑO FACTORIAL FRACCIONADO	71
6.2.	ERRORES ASOCIADOS AL METODO PROPUESTO	75
6.3.	RESULTADOS EXPERIMENTALES COMPARATIVOS CON SUSTANCIAS PURAS	84
6.4.	RESULTADOS EXPERIMENTALES COMPARATIVOS CON MEZCLAS	97
6.5.	OTROS EXPERIMENTOS RELACIONADOS CON EL METODO PROPUESTO	131
6.6.	DESARROLLO DE LOS MODELOS MATEMATICOS	133
7.	CONCLUSIONES	140
8.	ANEXO 1	145
9.	BIBLIOGRAFIA	146

INDICE DE TABLAS

4.1 Constantes del HFS para valores para la ecuación modificada de Van Der Waals.	51
4.2 Constantes para la ecuación de Szyzkowski.	51
6.1 Estudio para el comportamiento del peso en vacío de un solo flotador, tras hundimientos en agua destilada.	77
6.2 Análisis del peso de la gota de mercurio.	79
6.3 Estudio estadístico del comportamiento del flotador en agua destilada.	81
6.4 Valores considerados como constantes a lo largo del bloque principal de experimentos.	85
6.5 Lecturas experimentales comparativas para agua destilada.	86
6.6 Resumen de resultados experimentales para agua destilada.	87
6.7 Errores de resultados experimentales para agua destilada.	87
6.8 Lecturas experimentales comparativas para aceite automotriz.	88
6.9 Resumen de resultados experimentales para aceite automotriz.	89
6.10 Errores de resultados experimentales para aceite automotriz.	89
6.11 Lecturas experimentales comparativas para benceno.	91
6.12 Resumen de resultados experimentales para benceno.	92
6.13 Errores de resultados experimentales para benceno.	92
6.14 Lecturas experimentales comparativas para propanol.	94
6.15 Resumen de resultados experimentales para propanol.	95
6.16 Errores de resultados experimentales para propanol.	95
6.17 Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 1 de propanol agua.	98
6.18 Resumen de resultados para la mezcla 1 de propanol agua.	99
6.19 Errores de resultados para la mezcla 1 de propanol agua.	99
6.20 Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 2 de propanol agua.	100
6.21 Resumen de resultados para la mezcla 2 de propanol agua.	101
6.22 Errores de resultados para la mezcla 2 de propanol agua.	101
6.23 Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 3 de propanol agua.	102
6.24 Resumen de resultados para la mezcla 3 de propanol agua.	103
6.25 Errores de resultados para la mezcla 3 de propanol agua.	103
6.26 Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 4 de propanol agua.	104
6.27 Resumen de resultados para la mezcla 4 de propanol agua.	105
6.28 Errores de resultados para la mezcla 4 de propanol agua.	105

6.29	Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 5 de propanol agua.	108
6.30	Resumen de resultados para la mezcla 5 de propanol agua.	107
6.31	Errores de resultados para la mezcla 5 de propanol agua.	107
6.32	Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 1 de detergente agua.	108
6.33	Resumen de resultados para la mezcla 1 de detergente agua.	109
6.34	Errores de resultados para la mezcla 1 de detergente agua.	109
6.35	Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 2 de detergente agua.	110
6.36	Resumen de resultados para la mezcla 2 de detergente agua.	111
6.37	Errores de resultados para la mezcla 2 de detergente agua.	111
6.38	Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 3 de detergente agua.	112
6.39	Resumen de resultados para la mezcla 3 de detergente agua.	113
6.40	Errores de resultados para la mezcla 3 de detergente agua.	113
6.41	Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 4 de detergente agua.	114
6.42	Resumen de resultados para la mezcla 4 de detergente agua.	115
6.43	Errores de resultados para la mezcla 4 de detergente agua.	115
6.44	Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 5 de detergente agua.	116
6.45	Resumen de resultados para la mezcla 5 de detergente agua.	117
6.46	Errores de resultados para la mezcla 5 de detergente agua.	117
6.47	Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 1 de Tween-80 agua.	118
6.48	Resumen de resultados para la mezcla 1 de Tween-80 agua.	119
6.49	Errores de resultados para la mezcla 1 de Tween-80 agua.	119
6.50	Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 2 de Tween-80 agua.	120
6.51	Resumen de resultados para la mezcla 2 de Tween-80 agua.	121
6.52	Errores de resultados para la mezcla 2 de Tween-80 agua.	121
6.53	Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 3 de Tween-80 agua.	122
6.54	Resumen de resultados para la mezcla 3 de Tween-80 agua.	123
6.55	Errores de resultados para la mezcla 3 de Tween-80 agua.	123
6.56	Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 4 de Tween-80 agua.	124
6.57	Resumen de resultados para la mezcla 4 de Tween-80 agua.	125
6.58	Errores de resultados para la mezcla 4 de Tween-80 agua.	125
6.59	Lecturas experimentales comparativas para la mezcla 5 de Tween-80 agua.	126
6.60	Resumen de resultados para la mezcla 5 de Tween-80 agua.	127
6.61	Errores de resultados para la mezcla 5 de Tween-80 agua.	127
6.62	Modelo matemático para propanol agua.	134
6.63	Modelo matemático para detergente agua.	136
6.64	Modelo matemático para Tween-80 agua.	138

INDICE DE FIGURAS

2.1 Película de líquido suspendida en un marco rectangular.	6
3.1 Construcción de modelos.	22
3.2 Etapas preliminares de la planeación del experimento.	32
3.3 Etapas intermedias del experimento planeado.	33
3.4 Etapas finales del programa experimental.	34
4.1 Tensiómetro de Du Noüy.....	39
4.2 Ascenso capilar.	43
5.1 Comportamiento de fuerzas.	55
5.2 Aspecto físico del flotador.	61
6.1 Análisis del peso del flotador rectangular vacío.	78
6.2 Análisis del peso del flotador circular vacío.	78
6.3 Análisis del tamaño de la gota con diferentes jeringas.	80
6.4 Análisis del comportamiento de los flotadores rectangular y circular.	82
6.5 Tensión superficial vs. temperatura para agua destilada.	87
6.6 Tensión superficial vs. temperatura para aceite.	89
6.7 Tensión superficial vs. temperatura para benceno.	92
6.8 Tensión superficial vs. temperatura para propanol.	95
6.9 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 1 de propanol agua.	99
6.10 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 2 de propanol agua.	101
6.11 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 3 de propanol agua.	103
6.12 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 4 de propanol agua.	105
6.13 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 5 de propanol agua.	107
6.14 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 1 de detergente agua.	109
6.15 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 2 de detergente agua.	111
6.16 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 3 de detergente agua.	113
6.17 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 4 de detergente agua.	115
6.18 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 5 de detergente agua.	117
6.19 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 1 de Tween-80 agua.	119
6.20 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 2 de Tween-80 agua.	121
6.21 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 3 de Tween-80 agua.	123
6.22 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 4 de Tween-80 agua.	125
6.23 Tensión superficial vs. temperatura para la mezcla 5 de Tween-80 agua.	127

6.24 Contrastación de métodos para medir la tensión superficial para el sistema propanol agua.....	128
6.25 Contrastación de métodos para medir la tensión superficial para el sistema detergente agua.....	129
6.26 Contrastación de métodos para medir la tensión superficial para el sistema Tween-80 agua.....	130
6.27 Resultados experimentales del flotador para propanol agua.....	135
6.28 Modelo matemático lineal a partir del flotador para propanol agua.....	135
6.29 Resultados experimentales del flotador para detergente agua.....	137
6.30 Modelo matemático lineal a partir del flotador para detergente agua.....	137
6.31 Resultados experimentales del flotador para Tween-80 agua.....	139
6.32 Modelo matemático lineal a partir del flotador para Tween-80 agua.....	139

NOMENCLATURA

(A)	Area	cm ²
(a)	Constantes de Szyszkowski	adim.
(D)	Diámetro	cm
(d)	Distancia	cm
(F)	Energía libre de Helmholtz	ergios
(Fs)	Energía libre de Helmholtz de superficie	ergios
(F)	Fuerza	dinas
(g)	Aceleración debida a la gravedad terrestre	cm/seg ²
(G)	Energía libre de Gibbs de superficie	ergios
(h)	Altura	cm
(Hs)	Entalpia de superficie	ergios
(L)	Longitud de contacto con la superficie	cm
(l)	Longitud	cm
(N)	Número de moléculas	adim.
(ni)	Constantes de Van der Waals	adim.
(P)	Presión	Kg/cm ²
(P)	Cambio de presión	Kg/cm ²
(Pm)	Presión máxima	Kg/cm ²
(r)	Radio	cm
(S)	Entropia	U.E.
(Ss)	Entropia de superficie	U.E.
(T)	Temperatura	°K

(Tc)	Temperatura crítica	°K
(Ti)	Fuerzas tensionantes	dinas
(Us)	Energía interna de superficie	ergios
(V)	Volumen	ml
(W)	Trabajo	ergios
(We)	Trabajo de expansión	ergios
(δ)	Tensión superficial	dinas/cm
(δ_0)	Tensión superficial de referencia	dinas/cm
(δ_m)	Tensión superficial de mezcla	dinas/cm
(δ_w)	Tensión superficial del agua pura	dinas/cm
(γ)	Relacion entre circunferencia y diámetro	adim.
(ρ)	Densidad	g/ml
(θ)	Angulo de contacto	°

CAPITULO I

INTRODUCCION

El Ingeniero Químico, como profesionalista idóneo para el manejo de los procesos industriales que contemplen cambios físicos y químicos, debe dominar la naturaleza y guiarla hacia la obtención de los resultados óptimos en los sistemas involucrados como parte de dichos procesos. Para alcanzar este objetivo, se debe tener un profundo conocimiento de los fenómenos y la naturaleza propia de la materia y energía.

El control de los procesos de manufactura es la clave del éxito en una planta productiva. Cuando el control de una operación no se alcanza, todo se puede traducir a pérdidas económicas que se ven reflejadas en producto fuera de especificaciones o con mala calidad, uso ineficiente de energía, contaminación del medio, deterioro de los equipos y frustración en los operadores. Un proceso estará controlado cuando sus variables independientes se encuentren dentro de los límites aceptables de operación; ahora bien, para alcanzar este punto primero debieron de haberse escogido esas variables independientes y segundo, los valores de esas variables debieron de haber sido medidos.

Los fenómenos de superficie son, dentro de la fisicoquímica, uno de los temas de más interés y aplicación en el desarrollo de la Ingeniería Química. Las superficies resultan de las fronteras entre las fases sólido-gas o líquido-gas, y es en estas zonas donde los diferentes arreglos moleculares provocan características particulares conocidas como fenómenos de superficie. De estos fenómenos se destaca la **tensión superficial** sobre la que se profundiza en el siguiente capítulo.

La tensión superficial resulta uno de los fenómenos de superficie de mayor impacto en la naturaleza y, a través de su medición, obtenemos información sobre el estado del sistema general por lo que podemos manejarla como propiedad intensiva de la materia, aún y cuando sepamos que sólomente es observable en la superficie de la misma.

En el presente trabajo se propone un método sencillo, que pretende ser muy ilustrativo, para la determinación del valor de la tensión superficial en líquidos. El valor obtenido a partir de esta medición podrá contribuir a la información requerida para el control de operaciones en laboratorio e industria; además se buscará que pueda ser utilizado como soporte en centros educativos en donde se estudien los fenómenos de superficie.

CAPITULO II

FENOMENOS DE SUPERFICIE

2.1 GENERALIDADES

Resulta de gran importancia, para el hombre, el entender los fenómenos naturales y saber aplicar los conocimientos, frutos de ese entendimiento, de una manera óptima en los procesos de transformación de materia y energía.

La forma más objetiva para lograrlo es cuantificando dichos fenómenos, por medio de conceptos, a los que se les ha dado el nombre de propiedades físicas; cada una de las cuales emerge como patrón de un fenómeno físico.

Cuando dos fases distintas se encuentran en contacto, la superficie que da origen a ese contacto, se conoce como intercara o interfase. A través de distintos trabajos de investigación se ha demostrado que la región de interfase es extremadamente delgada, en muchas ocasiones no mayor que una sola molécula en su espesor; sin embargo, los efectos de ésta frontera, marco de división entre dos estados materiales distintos, juega un papel de gran importancia en muchos sistemas.

Comúnmente se denomina superficie a la región más externa de una fase sólida o líquida en contacto con una fase gaseosa; el término de interfase tiene mayor aplicación para la frontera entre dos fases líquidas.

La fisicoquímica de superficies estudia los fenómenos que se producen en estas intercaras dentro de los que, sistemas caracterizados por tener una relación superficie/volumen muy grande ocupan atención especial debido a la gran superficie de interfase que presentan por unidad de volumen. En estos sistemas, llamados dispersos, los fenómenos debidos al efecto de las superficies son tan manifiestos que confieren al sistema completo propiedades especiales. Las aplicaciones de los fenómenos de superficie son muy variadas y de amplio uso en muy diversos campos de la ciencia, la tecnología y la actividad industrial en general. La investigación y desarrollo en éste campo crece día con día en la búsqueda de nuevas fronteras.

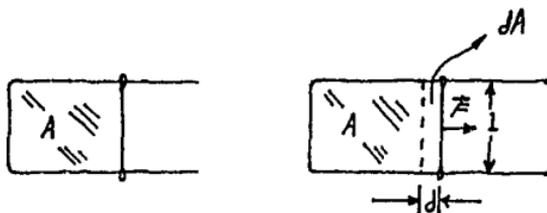
Dentro de los fenómenos de superficie destaca particularmente uno conocido como tensión superficial, el cual juega un papel discreto pero de gran importancia en la naturaleza. En la industria se maneja una amplia gama de materiales con dimensiones coloidales donde los fenómenos de superficie imperan. Las industrias de plásticos, gomas, pinturas, detergentes y petroquímicas son tan sólo unos cuantos ejemplos de operaciones en las que la tensión

superficial corresponde a una variable, cuyo monitoreo puede servir como patrón para conocer el desarrollo del proceso y la calidad de la operación. Asimismo, éste concepto es primordial en los estudios de emulsiones, microemulsiones, limpieza de superficies, adhesivos, catalizadores, operaciones de transferencia de calor, diseño de columnas para transferencia de masa, procesos de extracción líquido-líquido y en muchos otros procesos en los que interviene el ingeniero químico como profesionalista, a nivel diseño, operación o enseñanza.

Para entender el fenómeno de la tensión superficial es necesario llevar nuestra visión hasta un nivel molecular; haciendo uso de éste modelo, la comprensión del fenómeno se facilita. Se puede hablar de tensión superficial en líquidos y sólidos debido a que la superficie en estos estados de agregación existe; sin embargo, para efectos del presente trabajo, únicamente se manejará el caso de los líquidos. Las moléculas en el interior del líquido experimentan una atracción hacia todas direcciones, mientras que las que se sitúan en la superficie experimentan fuerzas atractivas no equilibradas con una resultante que empuja hacia el seno del líquido. Éste efecto provoca una contracción espontánea de la superficie, logrando que de esta forma el líquido asuma el estado de mínima energía que corresponde, según fue demostrado por Gibbs (4), al criterio de verdadero equilibrio que implica la forma más estable para un sistema

dato. En consecuencia, la superficie se comporta como si estuviera en un estado de tensión, de modo que para aumentar la superficie por alguna deformación, habrá que suministrar energía o desarrollar algún trabajo en contra de esa tensión.

El trabajo relacionado con éste incremento de área de la superficie puede definirse de la siguiente manera:



(FIGURA TOMADA DE ATKINS (04))

Figura 2.1. Película de líquido suspendida en un marco rectangular.

Para mantener el área (A) es preciso ejercer una fuerza (\vec{F}) sobre el lado móvil del marco. Si (\vec{F}) aumenta en ($d\vec{F}$) y suponemos que el alambre móvil se mueve una distancia (d), se aumenta el área (A) en ($2 \cdot l \cdot d$)= (dA) ; puesto que hay dos

superficies, una de cada lado de la película, el trabajo realizado ($\vec{F} \cdot d$) es proporcional a ($2 \cdot l \cdot d$); es decir,

$$\vec{F} \cdot d = (\gamma) \cdot 2 \cdot l \cdot d$$

en donde (γ) es el trabajo necesario para aumentar en una unidad de área su superficie. Entonces, tras el análisis dimensional correspondiente, la tensión superficial (γ) se define como la fuerza en dinas que actúa en dirección perpendicular sobre toda la línea de un centímetro de longitud en la superficie, o como el trabajo en ergios necesario para aumentar la superficie en un centímetro cuadrado.

$$(\gamma) = (\text{ENERGÍA}/\text{ÁREA}) = (\text{TRABAJO}/\text{ÁREA}) = (\text{FUERZA}/\text{LONGITUD})$$

$$(\gamma) = ((\vec{F}) \cdot [l]) / [l]^2 = \{\vec{F}\} / [l]$$

$$(\gamma) = \text{erg}/\text{cm}^2 = \text{dinas}/\text{cm}$$

$$(\gamma) = [(g \cdot \text{cm})/\text{seg}^2] / \text{cm} = [(g \cdot \text{cm}) / (\text{seg}^2 \cdot \text{cm})] = g/\text{seg}^2$$

La tensión superficial es una propiedad termodinámica y está definida como:

$$(\gamma) = (dF/dA)_{V,T,N}$$

Donde (F) es la energía libre de Helmholtz y (A) es la unidad de área. Debido a esta funcionalidad, la tensión superficial depende de la temperatura, presión, composición

y de las otras variables que determinan el estado termodinámico de un sistema. Por esta relación, la tensión superficial ha sido relacionada con muchas otras propiedades tales como: compresibilidad, calor latente de vaporización, presión de vapor, viscosidad y refracción molecular entre otras.

Según la definición de tensión superficial, se puede entender fácilmente que el fenómeno se origina por una determinada configuración o acomodo de las moléculas, y que esta distribución depende de la sustancia o sistema de sustancias y sus condiciones termodinámicas.

La tensión superficial puede también ser identificada como energía de exceso de superficie. Si se llama (γ_s^A) a la fuerza por centímetro, que tiende a contraer la superficie y:

(S) = Entropía

(T) = Temperatura

(P) = Presión

(V) = Volumen

(A) = Superficie

(μ) = Potencial químico

(N) = Número de moléculas en el sistema

entonces,

$$(dF) = - SdT - PdV + (\gamma_s^A) dA + (\mu) dN$$

En donde (F) es la energía libre de Helmholtz total del sistema. Si consideramos (T) y (V) constantes para un número fijo de moles, la ecuación anterior puede reducirse a la expresión con que habíamos definido termodinámicamente a la tensión superficial

$$(\gamma_0) = (dF/dA)_{T,V,N}$$

En estas condiciones, una reducción de la superficie (-dA) hará disminuir (dF), o tendremos un (dF) inferior a cero para un (γ_0) positivo. Como el hecho real es que la superficie se contrae, (γ_0) deberá ser positivo para que el proceso sea espontáneo dando origen a la tensión superficial.

Si se define (F^s) como la unidad libre de Helmholtz por unidad de superficie, $F^s = (\gamma_0)$ para líquidos. La razón de esto es que, como en estas condiciones $d(AF^s) = dF$, podemos sustituir (F) en la expresión anterior de lo que obtendremos

$$(\gamma_0) = F^s + A(dF^s/dA)_{T,V,N}$$

En el caso de que el sistema tenga un sólo componente líquido, F^s dependerá únicamente de la configuración de las moléculas en la superficie y no del área, por lo que $dF^s = 0$ a T, V y N constantes. De esta manera,

$$(\gamma_s) = F^s$$

De la misma forma, si manejamos T y P constantes, $(\gamma_s) = G^s$, que es la energía libre de Gibbs por unidad de superficie. En la práctica los cambios de superficie tienen asociados cambios muy pequeños de P o V, por esta razón G^s y F^s resultan aproximadamente iguales. En el caso de un sistema muy viscoso, la relación anterior de $(\gamma_s) = F^s$ desaparece ya que la reordenación de moléculas, para cambios de superficie, resulta más lenta que la relajación del líquido.

Termodinámicamente, las propiedades F^s , G^s , U^s , S^s y H^s se conocen como propiedades de exceso. Para ejemplificar, en términos físicos, la energía total de superficie, U^s es el exceso, de la energía potencial total de las moléculas que forman un área determinada, respecto a la que tendrían esas mismas moléculas si se hallaran en el seno del líquido.

2.2 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA TENSION SUPERFICIAL

La tensión superficial, o energía libre por unidad de superficie, se puede pensar como el trabajo realizado para trasladar, desde el seno del líquido, las moléculas necesarias para formar la superficie renovada, o de recién formación, contra la atracción de las moléculas que se encuentran por debajo de esta y en favor de la atracción de las moléculas que integran la fase colindante. En el caso de un sistema líquido-gas, la atracción de las moléculas del líquido entre sí es mucho mayor que la que normalmente ejercen las dispersas moléculas de gas sobre la superficie.

La agitación cinética de las moléculas y la tendencia de éstas a escapar hacia afuera, aumentan al incrementarse la temperatura; por consiguiente, el trabajo de llevar moléculas para formar superficie renovada se ve disminuido, y es de esperarse que la tensión superficial disminuya; y de hecho, casi invariablemente, la tensión superficial se comporta de éste modo; dentro de las excepciones encontramos a ciertos metales cuya estructura cristalina se ve modificada con la temperatura. A medida que el calor y la temperatura aumentan, disminuye la fuerza ejercida sobre las moléculas de la superficie y, al llegar a la temperatura crítica, la tensión superficial se desvanece.

Un efecto equivalente puede ser apreciado cuando se introduce trabajo en el sistema. El ejemplo más claro para este caso lo tenemos con la agitación mecánica de un líquido. En el momento en que iniciamos un proceso de agitación, las moléculas adquieren un movimiento que por mucho vence las fuerzas de atracción intermoleculares; de esta forma, se encuentran en libertad de formar la superficie necesaria. De cualquier forma, la superficie sólo podrá ser incrementada en función del trabajo de agitación aplicado. Efectos similares se esperarían para agitación ultrasónica o el baño de microondas.

2.3 INFLUENCIA DE LA PRESION SOBRE LA TENSION SUPERFICIAL

Sería lógico esperar que una presión de vapor alta, actuando sobre la superficie de un líquido, redujera el valor de la tensión superficial. La idea anterior quedaría apoyada por la teoría de las atracciones intermoleculares como responsables de la tensión superficial. Al haber presentes más moléculas, de vapor o gas por unidad de volumen diferencial, sobre la superficie del líquido, las atracciones de éstas sobre las integrantes de la superficie del líquido compensarían, en cierta medida, la atracción que ejercen las moléculas del seno del líquido sobre las mismas de la superficie; esto traería como consecuencia, una disminución neta en la magnitud de la tensión superficial.

Las mediciones de Kundt (20) confirman estas ideas y muestran que las disminuciones de tensión superficial de varios líquidos ordinarios se acentúan con el aumento de la presión de gas sobre ellos. En algunos casos, la disminución llegó a representar hasta un 50% bajo presiones del orden de las 150 atm.

En cuestiones prácticas en donde los cambios de presión no son muy drásticos, resulta muy común el considerar a la tensión superficial como constante en función de la presión.

2.4 INFLUENCIA DE LA COMPOSICION EN LA TENSION SUPERFICIAL

La influencia de la composición del sistema sobre la tensión superficial resulta un punto también muy importante. Las mezclas de líquidos o la adición de solutos sólidos tienen efectos definitivos sobre los valores de tensión superficial. Son prácticamente inexistentes los casos en los que se pudiera hablar de una mezcla binaria ideal y las estimaciones en base a las aportaciones de los componentes puros quedan muy alejadas de la realidad las más de las veces. Los modelos para predecir tensión superficial de mezclas son casi tan variados como las posibilidades de combinación para estas mezclas.

2.5 EL PARACORO

El volumen molecular de un compuesto orgánico depende de su constitución química, y puede usarse, en el caso de líquidos de constitución desconocida como guía para determinar esta constitución. La base de la idea anterior es que diferentes agrupaciones atómicas tienen forma y tamaño característicos y, por ello probablemente, ocupan espacios característicos en los líquidos, cuyo volumen total sería la suma de las partes que forman su molécula. El problema de esta tesis es el hecho de que los volúmenes de los líquidos cambian con la temperatura, a medida de que los movimientos térmicos logran doblegar a las fuerzas de cohesión entre las moléculas, además de que no existe una base satisfactoria para que fuera usada como temperatura de referencia para la comparación de volúmenes.

A la problemática anterior Sudgen (34) propuso la comparación de volúmenes moleculares en condiciones en las que el efecto de la temperatura se neutralizara al tener en cuenta la tensión superficial:

$$M / (D-d) * (\gamma)^{1/4}$$

Donde (M) es el peso molecular, (D) y (d) son las densidades de líquido y vapor respectivamente y (γ) es la tensión superficial. Esta relación es un volumen molecular

multiplicado por la raíz cuarta de la tensión superficial y no varía con la temperatura. A esta expresión, Sudgeen la denominó como paracoro. El paracoro puede obtenerse a partir de la adición de los paracoros de diferentes átomos y agrupaciones atómicas, siendo el valor observado de una precisión excelente. El paracoro representa un volumen molecular convencional, verdaderamente comparable para diferentes sustancias siendo ésta la mejor aproximación hasta ahora para este fin.

CAPITULO III

MODELOS MATEMATICOS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS

3.1 MODELOS MATEMATICOS

Los modelos matemáticos son ampliamente utilizados en todas las ramas de la ciencia, ingeniería, finanzas y muchas otras disciplinas. Éstos son utilizados para la resolución de problemas en general, diseño de equipos e interpretación de datos en la mayor parte de los casos.

Eykhoff (17) en 1974, definió al modelo matemático como la representación de los aspectos esenciales de un sistema dado que maneja la información del mismo de manera en que ésta pueda ser utilizada fácilmente; es decir, a través de expresiones numéricas.

Son muchas más las definiciones que podemos encontrar para el concepto de modelo matemático; sin embargo, para los propósitos de éste trabajo, quedará definido como la colección de relaciones que permiten la descripción de un comportamiento o respuesta que representa la realidad, en base a la información sobre las condiciones del sistema.

Debido a que en el modelaje se emplean únicamente abstracciones, mediante su utilización se evitan experimentaciones y observaciones repetitivas que, generalmente, implican fuertes inversiones de capital y recursos humanos. De cualquier forma, estos ahorros en tiempo y costo deben siempre de ser evaluados considerando que el modelo sólo simula la realidad y que, por lo tanto, es imposible que todos los factores involucrados realmente queden incluidos en el mismo. Debido a las limitaciones de los modelos, es necesario que en su diseño se consideren los factores más relevantes para la respuesta buscada, así como la complejidad buscada para el mismo modelo.

Para la creación de un modelo es necesario verificar los siguientes puntos:

- 1.- Nivel al que se va a manejar el modelo: macroscópico o microscópico, y el grado de acercamiento para cada uno.
- 2.- Descripción adecuada utilizando principios de la Química y la Física.
- 3.- Precisión con la que se va a manejar el modelo y la influencia de esta en el resultado final.

4.- Equipo, mediciones y datos en general necesarios para la verificación del modelo.

5.- Posibles subsistemas en que se pueda dividir el problema para facilitar su estudio.

Existen principalmente dos tipos o categorías de modelos:

1.- Basados en la teoría.

2.- Basados en descripciones empíricas (caja negra).

De cualquier forma, la anterior no es la única clasificación para los modelos matemáticos. Se pueden encontrar modelos lineales o no lineales, los primeros representan grandes ventajas en su manejo matemático; sin embargo, su precisión no es adecuada para algunos casos por lo que se justifica el manejo de modelos no lineales. También se pueden encontrar modelos continuos y no continuos. Otros tipos son los modelos homogéneos y los heterogéneos, los últimos consideran una distribución variable para las propiedades del sistema de punto a punto de éste; los homogéneos consideran propiedades iguales para todos los puntos del sistema. Por último, existen modelos que manejan variables continuas o discretas. Los problemas de Ingeniería comunmente incluyen variables discretas (diámetro de tubería, espesor de aislante, número de etapas, etc.); de cualquier forma, mientras sea posible, para simplificar el

proceso matemático el ingeniero maneja todas las variables como si fueran continuas y, finalmente ajusta al valor discreto que más convenga. El criterio que ha de seguirse para la asignación de valores discretos se convierte en uno de los puntos más importantes en la labor del ingeniero; la decisión final debe estar enfocada hacia puntos tales como economía y seguridad por citar algunos. Son estos criterios, los que permiten que se logren los mejores diseños ubicados dentro de la realidad de la disponibilidad de materiales y partes que en conjunto otorgan las características de proceso buscadas para cada caso.

3.2 CONSTRUCCION DE MODELOS

Para la construcción de modelos T.F. Edgar y D.M. Himmelblau (17) proponen el siguiente esquema (Fig. 3.1) dividido en tres fases principales: definición del problema, diseño del modelo y evaluación del modelo.

1. Fase de definición del problema.- En esta etapa se debe identificar el problema a resolver y sus elementos más importantes que afectan al problema y su potencial solución. Aquí deben ser definidos también el grado de precisión requerido, estructura, complejidad y posibles campos de aplicación en un futuro. Concretando, se deben establecer:

- a) Número de variables independientes.
- b) Orden del modelo (ecuaciones independientes).
- c) Número de parámetros desconocidos.

2. Fase de diseño.- En esta fase se incluyen especificaciones sobre la información necesaria, descripción general de la lógica, programación y algoritmos requeridos para desarrollar un modelo útil. Además se requiere ya de la formulación y descripción del modelo junto con su simulación.

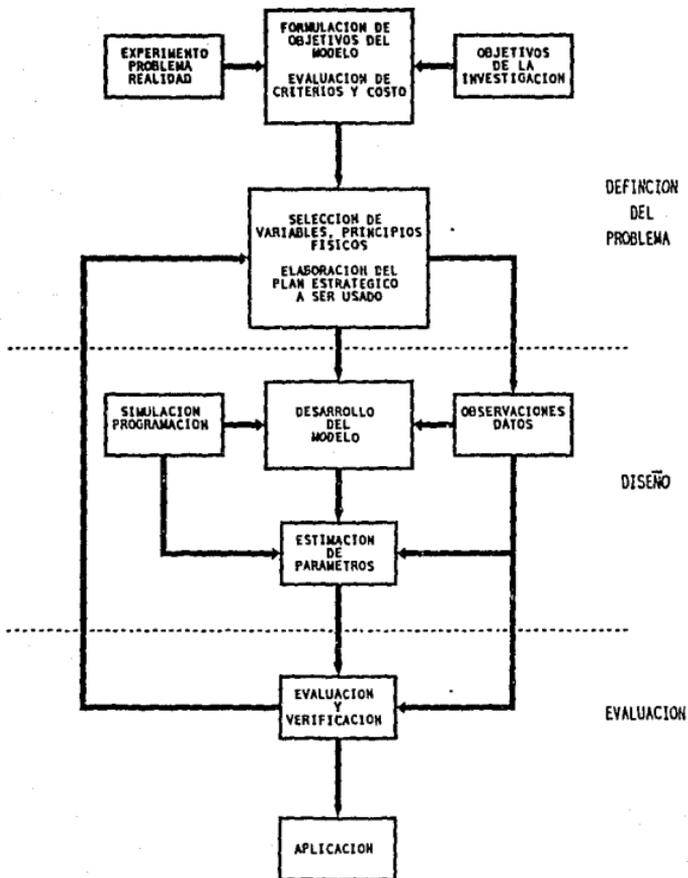


FIGURA 3.1 CONSTRUCCION DE MODELOS

(TOMADA DE HOLMAN (17))

3.- Fase de evaluación.- Haciendo uso de la simulación, se validan los resultados del modelo contrastándolos con la respuesta real del fenómeno. Cabe destacar el hecho de que la construcción de modelos es un proceso iterativo que termina en el momento en que la precisión demandada en la primera fase se ve satisfecha por la validación de esta última etapa.

La forma o estructura del modelo se puede conocer utilizando datos experimentales; con estos mismos es posible la determinación de los coeficientes o parámetros que integran al modelo y que se suponen constantes.

Los modelos pueden ser escritos en una gran variedad de formas matemáticas que van desde la expresiones algebraicas más simples hasta los casos diferenciales más complejos. La selección de la forma para un modelo empírico requiere de habilidad para reconocer los comportamientos de las respuestas experimentales para su posterior identificación con las funciones matemáticas correspondientes.

Existen diversos métodos para la determinación de estructuras y parámetros o coeficientes. Cuando el modelo es lineal en los coeficientes, estos pueden ser estimados utilizando el procedimiento conocido como regresión lineal; en el caso de coeficientes no lineales será necesaria una regresión no lineal. En el caso de una o dos variables, los

métodos gráficos resultan una buena ayuda para la determinación de la forma de la función. Para la determinación de los coeficientes, el número de juegos de datos debe ser mayor o igual al de coeficientes buscados; pero lo más importante, debemos recordar que el sentido común y la lógica deben ser nuestros mejores aliados en la construcción de modelos. Para que el modelo sea útil, debe ser congruente con el desarrollo lógico del fenómeno estudiado.

Pensando en modelos matemáticos, no podemos hacer a un lado la parte de los experimentos y su diseño; el éxito de un modelo matemático radica, en su mayor parte, en una buena selección de las variables y puntos o condiciones elegidas para la evaluación experimental. Por otro lado, la experimentación es de gran importancia en las diversas fases de la ingeniería; el ingeniero necesita familiarizarse con los métodos de medición y las técnicas de análisis, para poder interpretar la información experimental y explotar este recurso de la mejor manera.

El campo de las técnicas de medición e instrumentación en general han tenido un desarrollo vertiginoso. En las plantas de procesos químicos, aún y cuando se han logrado adelantos muy importantes en cuanto a sistemas de operación y equipo más eficientes para el desarrollo de operaciones unitarias,

el avance en el area de instrumentación y control es, por mucho, el más sobresaliente.

En el estudio de la Ciencia y la Ingeniería, es muy fácil perderse y llegar a pensar que los resultados experimentales deben apogarse a lo predicho por la teoría; sin embargo, nunca debe perderse de vista el hecho de que son las teorías las que nacen de la realidad observada, y sus predicciones pretenden responder según lo hacen los resultados experimentales que les dieron origen.

El objetivo último del ingeniero químico como profesional debe radicar en el control de los procesos físicos y químicos que maneje. La respuesta a este control la encuentra a través del conocimiento del estado puntual del sistema y su equilibrio. La fisicoquímica pretende ayudarnos en la descripción de un sistema a través de los valores de las variables independientes, para un punto y un tiempo, dados dentro del mismo. El control como tal del proceso queda definido entonces como el mantenimiento de los valores de las variables intensivas del sistema, en caso de un proceso continuo, y como la guía del sistema a través de una trayectoria multidimensional definida en el tiempo para un proceso por lotes.

3.3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

No existe un experimento fácil, ni el sustituto milagroso de la experimentación cuidadosa en muchas áreas de ciencia básica, y su aplicación en el desarrollo de productos y métodos. Debido a que la experimentación resulta tan importante en todas las fases de la Ingeniería, el ingeniero necesita familiarizarse con los métodos de medición y las técnicas analíticas, para interpretar la información experimental.

Para diseñar un experimento, el ingeniero debe especificar las variables físicas que se van a investigar y su función en el trabajo analítico posterior. Entonces, a fin de diseñar o procurar el instrumental para el experimento, el ingeniero debe conocer los principios que rigen el funcionamiento de una amplia gama de instrumentos. Por último, para analizar la información, se debe poseer una aguda visión sobre los principios físicos de los procesos que se investigan y un buen conocimiento de las limitaciones de la información.

La investigación combina el trabajo analítico con el experimental. El teórico se esfuerza en explicar o predecir los resultados de los experimentos con base en los modelos analíticos que están de acuerdo con los principios físicos fundamentales establecidos en el transcurso de los años.

Cuando la información experimental encontrada no se ajusta al esquema de las teorías existentes, estas se modifican para tomar en cuenta los resultados de la nueva información experimental, esto después de haber confirmado la validez de los resultados de los experimentos. En cualquier caso, todas las teorías físicas deben ser sustentadas por experimentos físicos que las confirmen; sin embargo, existen casos en que se han confirmado, experimentalmente, teorías que en su momento era imposible validar con resultados físicos, esto último comprueba el hecho de que la razón puede ser encontrada partiendo de teoría pura y dejando la experimentación como una simple validación.

Para no realizar un programa experimental inconsistente, es de suma importancia el seguimiento de algún método. La organización de la información y la calidad de esta deben combinarse con una optimización de recursos que permita un buen uso del tiempo-esfuerzo del investigador. Para una planeación sistemática adecuada, Holman (17) propone una serie de preguntas que deben plantearse en las fases iniciales de la planeación:

1. ¿Qué variables básicas deben investigarse?
2. ¿Qué control debe ejercerse sobre el experimento?

3. ¿Qué márgenes de las variables básicas son necesarios para describir los fenómenos en estudio?
4. ¿Cuántos puntos de información deben tomarse en los diversos intervalos de la operación, para asegurar un muestreo correcto de los datos, considerando la precisión de los instrumentos y la misma búsqueda dentro del experimento?
5. ¿Qué precisión se requiere en cada uno de los instrumentos y en cada una de las mediciones?
6. ¿Los instrumentos se encuentran en el mercado, o deben de ser construidos para el experimento?
7. ¿Qué factores de seguridad deben de ser considerados durante el desarrollo del experimento?
8. ¿Qué previsiones deben tomarse en cuenta a fin de registrar la información de una manera lógica y ordenada?
9. ¿Qué principios físicos utiliza el equipo para las mediciones y de que manera su entorno puede afectar estas lecturas?
10. ¿Qué tipo de resultados espero obtener y dentro de que rango se deben encontrar los valores?

Adicionalmente, Holman (17) propone también un procedimiento experimental generalizado, el cual resulta bastante flexible y permite al investigador tener una idea general de todos los pasos involucrados en el desarrollo de una experimentación exitosa.

1. Establecer la necesidad del experimento.
2. Establecer las necesidades óptimas presupuestales, de mano de obra y de tiempo, incluyendo la secuencia temporal del proyecto.
3. Modificar el objetivo del experimento de acuerdo a los recursos disponibles.
4. Establecer con claridad los objetivos del experimento. Aprovechar la experiencia de otros investigadores que hayan trabajado con sistemas similares.
5. Establecer las variables primarias que deben medirse (fuerza, temperatura, presión, etc.).
6. Determinar la exactitud requerida en las mediciones primarias y su número para el análisis adecuado de datos.

7. Plantear cálculos de reducción de datos antes de realizar los experimentos, para asegurarse de que se están recolectando los datos adecuados a fin de cumplir con los objetivos del experimento.

8. Analizar las posibles fuentes de error durante la experimentación, esto con el fin de reducir al mínimo sus efectos o estudiar posibilidades de cambio en casos críticos.

9. Seleccionar el instrumental y equipo necesario con anticipación.

10. Recolectar unos cuantos datos y efectuar un análisis preliminar, a fin de asegurarse que el experimento se comporta según lo planeado.

11. Modificar los instrumentos o equipos según lo observado en el punto anterior.

12. Recolectar el grueso de datos experimentales y analizar los resultados.

13. Organizar, analizar y publicar los descubrimientos y resultados de los experimentos, asegurándose de incluir la información correspondiente a los puntos anteriores.

En las Figuras 3.2, 3.3 y 3.4 se divide el procedimiento anterior en un patrón gráfico de etapas preliminares, intermedias y finales de un programa experimental. Los bloques de retroalimentación en este diagrama son muy importantes, en ellos se ilustra la necesidad de recorrer continuamente los pasos previos a fin de modificar el programa de acuerdo a la información más actualizada de una manera iterativa.

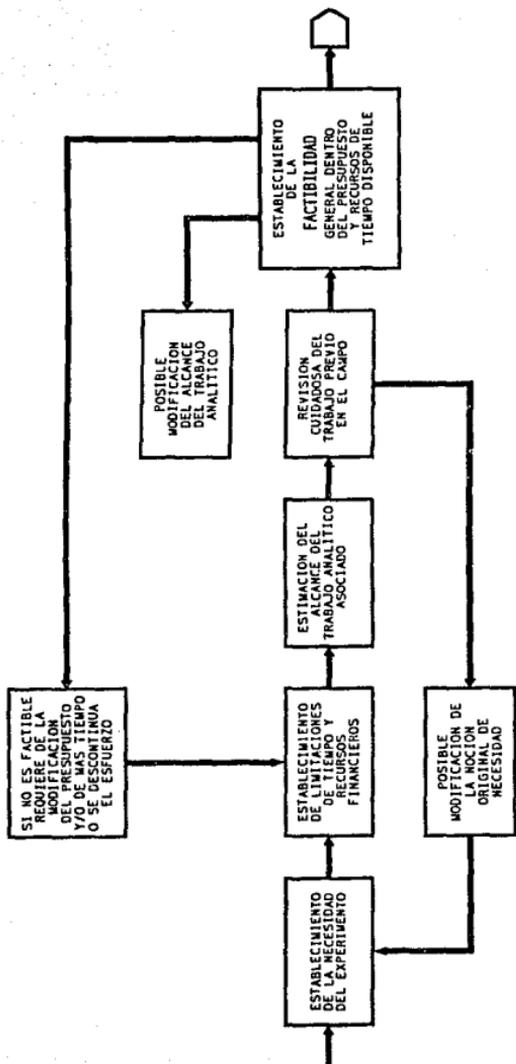


FIGURA 3.2 Etapas preliminares de la planeación del experimento.

(TOMADA DE HOLMAR (17))

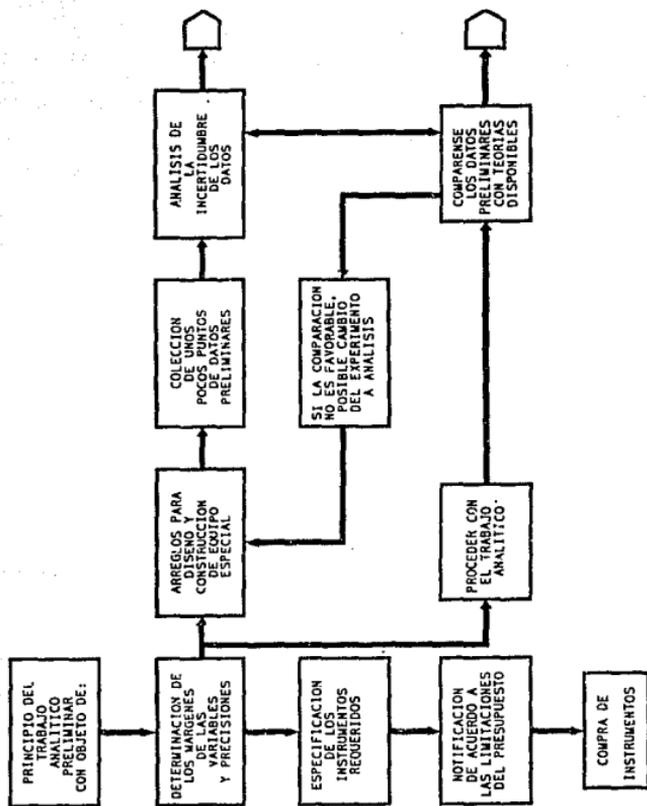


FIGURA 3.3. Etapas intermedias del experimento planeado.

(TOMADA DE HOLMAN (17))

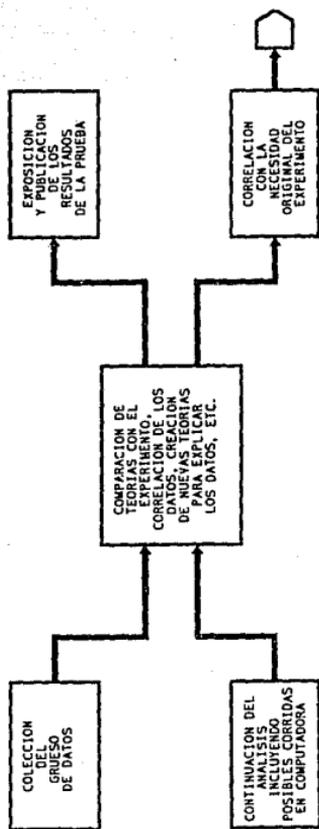


FIGURA 3.4 Etapas finales del programa experimental.

(TOMADA DE HOLMAN (17))

3.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXPERIMENTAL

Toda información experimental debe analizarse. Éste análisis puede ser desde una simple valoración verbal de los resultados de la prueba, hasta un análisis teórico riguroso y complejo que involucre los errores asociados al experimento y la comparación de la información con los resultados propuestos a través de la extrapolación de principios físicos fundamentales.

Un investigador debe siempre conocer la validez de la información que está manejando. En todos los experimentos, no importa el cuidado con que se practiquen, se tendrá la presencia de errores que van desde la naturaleza del procedimiento, el equipo de medición, las condiciones del entorno y un sinnúmero más de opciones que nos desvían de la realidad.

El análisis estadístico de la información resulta la mejor opción, para evitar prejuicios y sentimientos, del investigador sobre el desarrollo de los resultados. El estudio estadístico demanda un gran número de datos y un elaborado procesamiento de la información; sin embargo, un estudio serio debe apoyarse en este tipo de herramientas para asegurar que el manejo de su información sufre el mínimo de distorsiones.

Como resumen, deben ser considerados los siguientes puntos al analizar la información:

1. Examinar la consistencia del conjunto de datos. Un estudio gráfico de la información puede resultar de gran utilidad para eliminar una gran cantidad de puntos que quedan alejados de todo parámetro lógico y, de permanecer dentro del conjunto de valores procesados, pueden desvirtuar el resultado final y llevar a conclusiones equivocadas.

2. El análisis estadístico resulta la mejor herramienta para el manejo de la información; sin embargo, en muchas ocasiones no se justifica debido a la claridad de los resultados y en otros casos el número de lecturas no resulta suficiente para un procesamiento confiable.

3. Estímense las incertidumbres de los resultados. Esto se puede predecir a través del análisis de las variables que tienen mayor impacto dentro de la experimentación.

4. Anticipense los resultados a través de la teoría. En muchos casos es posible encontrar modelos que nos permitan tener una idea de los resultados que estamos esperando; esto es de gran utilidad para la validación del método y para corroborar su lógica.

5. Correlaciónense los datos. Los datos deberán ser correlacionados con resultados de investigaciones y modelos anteriores, estas comparaciones permiten conocer ventajas y desventajas del nuevo método respecto a los anteriores.

CAPITULO IV

MEDICION DE LA TENSION SUPERFICIAL

4.1 METODOS EXPERIMENTALES

Para la medición de la tensión superficial se cuenta con varios métodos, todos estos se basan en la definición de la tensión superficial y en la apreciación del fenómeno como tal y sus particularidades, para esto se aprovechan superficies curvas, formación de gotas, desprendimiento de burbujas y tubos capilares.

A continuación se describen brevemente algunos de los principales métodos para determinación de la tensión superficial en el laboratorio.

TENSIOMETRO DE DU NÓUY.- Este método aprovecha la medición de la fuerza necesaria para levantar un anillo de alambre colocado sobre la superficie del líquido. La longitud del borde de la película de líquido en contacto con el alambre es igual a $(2 \cdot r)$ la longitud de la circunferencia del anillo (recuérdese que la película tiene dos caras). Así, $(L=2 \cdot r)$. Si se necesita una fuerza (F) para desprender la película, la tensión superficial se podrá calcular con la siguiente fórmula:

$$(\gamma) = \vec{F} / (2 * L) = \vec{F} / [2 * (\pi) * D]$$

Donde: (L) es la circunferencia del anillo y (D) es el diámetro del mismo. A continuación se presenta la fotografía de un tensiómetro de Du Nöuy, marca Fischer, modelo 20.- Ver Figura 4.1.

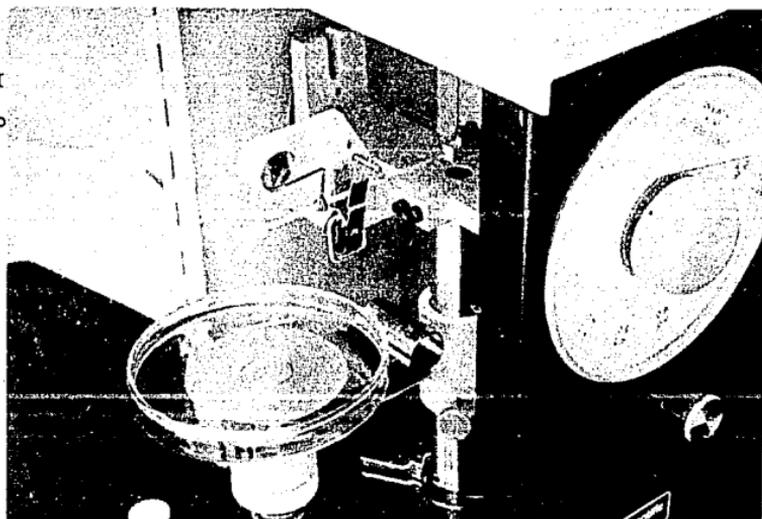


Figura 4.1. Tensiómetro de Du Nöuy.

Como se puede apreciar, éste método está basado en la definición de la tensión superficial.

PLACA DE WILHELMY.- Una placa delgada, como un cubreobjetos, se introduce en la solución de la cual queremos determinar la tensión superficial. La placa cuelga de uno de los platillos de la balanza. El movimiento vertical de la placa corresponde a un cambio en la superficie del líquido; la balanza mide esta fuerza y, relacionándola con dos veces el ancho de la placa, se puede obtener un valor para la tensión superficial. En este caso el resultado en fuerza sobre longitud es directamente la tensión superficial.

Al igual que para el caso del tensiómetro De Du Nöuy, la placa de Wilhelmy trabaja en base a la definición de la tensión superficial.

Los métodos basados en superficies curvas, miden la diferencia de presión provocada por la tensión superficial y la correlacionan con la misma.

MÉTODO DE LA BURBUJA.- Al formarse una burbuja esférica en el extremo de un tubo capilar sumergido en un líquido de tensión superficial (γ); para una presión (P) dada del gas, hay en equilibrio una burbuja de radio (r). Si llamamos (ΔP) a la diferencia de presión entre el interior de la burbuja y el líquido que la rodea, para aumentar (r) hay que realizar un trabajo (W), sobre el sistema, debido a que moléculas del interior del líquido tendrán que ser

transportadas para la formación de nueva superficie. Para un aumento (dV) en el tamaño de burbuja,

$$W_{exp} = P \cdot dV$$

que debe ser igual al aumento de energía de la superficie; es decir, ($\gamma \cdot dA$):

$$(\gamma) dA = (\Delta P) \cdot dV$$

$$(\gamma) d[4/3 \cdot (\pi) \cdot r^2] = (\Delta P) d[4/3 \cdot (\pi) \cdot r^3]$$

Derivando y simplificando:

$$(\Delta P) = [(\gamma) \cdot 8 \cdot (\pi)] / [4 \cdot (\pi) \cdot r^2] = 2 \cdot (\gamma) / r$$

Para producir el incremento de volumen será necesaria una mayor presión.

Cuando la burbuja es semiesférica, la presión necesaria llegará a un valor máximo, mientras tanto el radio de curvatura seguirá aumentando junto con el volumen. Al alcanzar la máxima presión y volumen la burbuja puede desprenderse cerrándose como esfera, la otra opción es que se reviente. La presión máxima ($P_{m\acute{a}x}$) se relaciona directamente con el valor de la tensión superficial del líquido. Esta presión máxima será mayor que (ΔP) por la

presión hidrostática del líquido [$g \cdot h \cdot (\rho)$] dependiendo de la profundidad a la que se encuentre la burbuja.

$$P_{\text{máx}} = (\Delta P) + g \cdot h \cdot (\rho)$$

Sustituyendo:

$$P_{\text{máx}} = 2 \cdot (\gamma) / r + g \cdot h \cdot (\rho)$$

Donde (ρ) es la densidad del líquido, (h) es la altura de la columna de líquido y (g) es la aceleración debida a la atracción gravitatoria terrestre.

METODO DE GOTA.- En base a los conceptos manejados por el método de la burbuja soplada, en este particular se hace pender, de una jeringa, una gota de líquido que previamente ha sido sumergida en otro líquido de menor densidad; a continuación se observa y mide la configuración de la gota. Adicionalmente existe manera de correlacionar el número de gotas de un material con su tensión superficial una vez que se conoce el diámetro del capilar que las origina. Por último existe un método en el que se coloca y mide una gota una vez que se deposita sobre una fase sólida y lisa inmersa en una segunda fase líquida.

ASCENSO CAPILAR.- Una manifestación de la tensión superficial es el ascenso o descenso de un líquido en un

tubo capilar. En la Figura 4.2 se muestra un dispositivo utilizado en el laboratorio para la medición de la tensión superficial de líquidos.

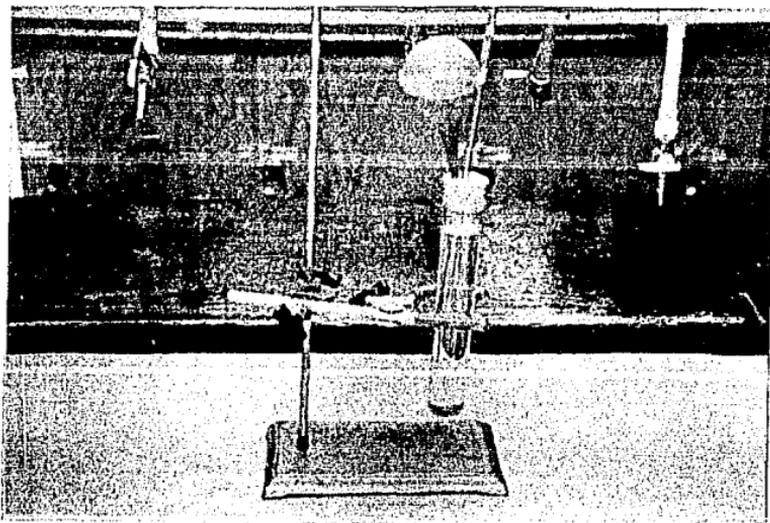


Figura 4.2. Dispositivo para medir ascenso capilar.

El ascenso capilar es observado cuando el líquido tiene la capacidad de mojar las paredes del capilar y su menisco tendrá forma cóncava en virtud de la adherencia en adición a la diferencia de presión en este tipo de superficies de líquido curvas.

Como la presión sobre la superficie es prácticamente constante, e igual a la ejercida sobre la superficie del líquido en el depósito principal, el líquido asciende hasta

que la presión hidrostática de la columna es igual a (ΔP) . En el caso del mercurio observamos un descenso en el capilar, esto se debe a que la columna hidrostática ejerce mucha presión en virtud de la alta densidad del metal.

El radio de curvatura del líquido (r), podría no ser igual al del capilar (r_0). Esto es, el ángulo de contacto del líquido con la pared del capilar (θ) no necesariamente será igual a cero.

Por construcción geométrica existe la siguiente relación entre (r) y (r_0):

$$\cos(\theta) = r_0/r$$

y, entonces,

$$(\Delta P) = 2*(\gamma)/r = [2*(\gamma)*\cos(\theta)]/r_0$$

La diferencia de presión (ΔP) debe ser igualada por la ejercida por la columna del líquido de altura (h) y densidad (ρ). Así,

$$P_{\text{hidrost.}} = \text{Fuerza}/\text{Área} = [(\pi)*r_0^2*h*g*(\rho)]/[(\pi)*r_0^2]$$

de donde, en el equilibrio,

$$[2*(\gamma)*\cos(\theta)]/r_0 = h*g*(\rho)$$

$$(\gamma) = [h*g*(\rho)*r_0]/[2*\cos(\theta)]$$

En muchos casos (θ) es prácticamente igual a cero por lo que se utiliza la siguiente simplificación:

$$(\delta) = [h * g * (\rho) * r_o] / 2$$

4.2 METODOS TEORICOS UTILIZANDO MODELOS MATEMATICOS

Los modelos matemáticos que se utilizan en la predicción de la tensión superficial, en su mayoría, corresponden a ecuaciones empíricas que correlacionan a la tensión superficial con variables de fácil medición tales como la temperatura, densidades del líquido y su vapor, peso molecular, concentración del soluto en la mezcla, propiedades críticas de la sustancia en cuestión, su paracoro y otros tipos de constantes características según lo requiera la ecuación.

En general estos métodos se pueden clasificar en tres grandes grupos, según el tipo de compuesto al que se le quiera estimar esta propiedad:

1) Métodos para líquidos puros.

2) Métodos para mezclas.

2.1) Soluciones acuosas.

2.2) Soluciones no acuosas.

3) Métodos para metales.

Todas las anteriores agrupan a las distintas sustancias y mezclas sin importar si es polar o no polar, orgánica o inorgánica.

A continuación se exponen dos métodos representativos para líquidos puros y mezclas.

TENSION SUPERFICIAL DE LIQUIDOS PUROS, MODIFICACION A LA ECUACION DE VAN DER WAALS.- La tensión superficial de un líquido puro, en equilibrio con su vapor, disminuye al ir aumentando la temperatura hasta que en el punto crítico, donde la fase líquida y la fase vapor son iguales, se vuelve cero (desaparece).

En el punto crítico,

$$(\gamma) = 0, \quad d(\gamma)/d(T) = 0 \quad \text{y} \quad d^2(\gamma)/d(T)^2 = \text{indeterminación}$$

Este comportamiento asintótico, es descrito por la "simple power law-equation" o ecuación de la potencia simple desarrollada por Van der Waals (15):

$$(\gamma) = (\gamma_0) (1 - T/T_c)^{n_1}$$

Donde (T) y (T_c) son la temperatura y temperatura crítica respectivamente, (γ_0) y (n_1) son constantes características de cada líquido para correlacionar los datos de tensión superficial mediante la teoría de estados correspondientes.

Esta sencilla ecuación ofrece una muy buena representación para líquidos polares. Su uso en líquidos no polares a temperaturas reducidas no resulta adecuado.

Recientes estudios hechos por Rathjen y Straub (15), abarcando un amplio rango de temperaturas reducidas, demostraron que se puede obtener una buena representación para líquidos no polares en la región crítica; así como para los líquidos polares en todo el rango de temperaturas, mediante el uso de una ecuación modificada basada en la de Van der Waals.

$$(\gamma) = (\gamma_0) * (1 - T/T_c)^{-(n_1)} * [1 + n_2(1 - T/T_c)^{-(n_3)}]$$

Donde (γ_0) , (n_1) , (n_2) y (n_3) son constantes características para cada líquido.

Los datos experimentales para la mayoría de los líquidos están limitados por los rangos de temperatura; sin embargo, en el estudio realizado por Jasper (18) para 2,200 compuestos, se muestra que considerar la relación entre la tensión superficial y la temperatura como lineal es suficiente para realizar interpolaciones.

Dada la cantidad limitada de datos para la mayoría de los compuestos, se puede utilizar una ecuación simplificada para la anterior:

$$(\gamma) = (\gamma_0^*) * (1 - T/T_c)^{-(n_1)} * [1 + n_2(1 - T/T_c)]$$

Cuando $n_2=0.441$, la ecuación anterior se reduce a la ecuación original de Van der Waals.

En la tabla 4.1 se muestran los datos para utilizar este modelo con diferentes sustancias.

TENSION SUPERFICIAL DE SOLUCIONES ACUOSAS, ECUACION MODIFICADA DE SZYSKOWSKI.- Mientras que para las soluciones no acuosas la tensión superficial de la mezcla resulta aproximadamente linealmente dependiente de la fracción molar de soluto, en la relaciones acuosas esta relación no es lineal.

La tensión superficial de la mezcla tiene un comportamiento semilogarítmico aproximadamente. Este comportamiento es típico de los sistemas orgánico-acuosos, en donde concentraciones pequeñas del soluto orgánico afectan significativamente la tensión superficial de la mezcla. La fracción orgánica de la molécula se comporta hidrofóbicamente y tiende a ser rechazada por la fracción acuosa, concentrándose preferentemente en la superficie. En este caso, la concentración en el seno del líquido es muy diferente de la de la superficie.

Meissner y Michaels (23) sugieren, que este comportamiento semilogarítmico, puede ser reproducido aproximadamente mediante la ecuación modificada de Szyszkowski (23):

$$(\gamma_m)/(\gamma_w) = 1 - 0.411 \log (1 + x/a)$$

Donde (γ_m) es la tensión superficial de la mezcla, (γ_w) es la tensión superficial del agua pura a la temperatura en cuestión, (x) es la fracción molar del soluto y (a) es una constante característica del soluto orgánico.

En la tabla 4.2 se muestran los valores de la constante (a) para algunos compuestos. Esta ecuación no puede ser utilizada para fracciones molares de soluto mayores a 0.01.

TABLA 4.1
CONSTANTES DEL HTFS PARA
VALORES PARA LA ECUACION MODIFICADA DE VAN DER WAALS

COMPUESTO	P.FUSION *K	T.CRITICA *K	COEFICIENTES DE TEMP. SUPERFICIAL		
			n1	n2	n3
AGUA	273.15	647.14	0.23580	1.256	-0.6250
BENCENO	278.68	562.16	0.07124	1.225	0.0000
n-PROPANOL	147.00	536.78	-0.08546	1.177	-0.6562

(FUENTE ARCHIVO DEL HTFS, I.M.P. (15))

TABLA 4.2
CONSTANTES PARA LA ECUACION DE SZYSZKOWSKI

COMPUESTO

a x 10000

ACIDO PROPIONICO	26
n-PROPANOL	26
i-PROPANOL	26
ACETATO DE METILO	26
n-PROPILAMINA	19
METIL ETIL CETONA	19
ACIDO n-BUTIRICO	7
ACIDO i-BUTIRICO	7
n-BUTANOL	7
i-BUTANOL	7
ACETATO DE ETILO	8.5
DIETIL CETONA	8.5
ACETATO DE PROPILO	3.1

(FUENTE MEISSNER & MICHAELS (23))

CAPITULO V

MÉTODO PROPUESTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL

5.1 CONCEPTOS GENERALES

Como ya se mencionó, existen diversos métodos, tanto teóricos como prácticos, para la determinación de la tensión superficial en líquidos. Dentro de esta diversificación se pueden encontrar distintos grados de precisión, complejidad en la manera en que se efectúan las mediciones, rangos de aplicabilidad y costo en general implicado por el uso de equipos más o menos sofisticados. La decisión del método que debe ser utilizado para una medición puede parecer trivial y, por lo general, esta elección se hace en base a la disponibilidad del equipo de medición y, algunas veces, en base al costo de la medición deseada; sin embargo, pocas veces se tienen en cuenta los resultados. Se debe siempre considerar que el resultado siempre será afectado por el método de medición y es, entonces, en base a los resultados buscados que el método de medición debe ser seleccionado.

A través de la tensión superficial resulta muy sencillo el comprender otros fenómenos de superficie, así como distintas propiedades termodinámicas de la materia y sus

interrelaciones. Con una breve explicación gráfica sobre la tensión superficial, en conjunto con la experiencia al observar el fenómeno, el concepto básico fisico-químico puede ser fácilmente asimilado y extrapolado hacia nuevas conclusiones sobre la forma en que se comportan los sistemas líquidos.

El método propuesto para la determinación de la tensión superficial en este trabajo, tiene como principal característica un gran toque de lo que se ha dado a conocer como "tecnología de lo obvio" (según palabras del Lic. Miguel Angel Cornejo). Actualmente resulta muy sencillo el perderse en el mundo de los grandes avances, en donde una infinidad de recursos pueden ahogar a la persona que intente desarrollar investigación; en otras palabras, pareciera ser que al hombre en general le encanta complicarse la existencia. Al buscar la solución a cierto problema, se puede pasar por alto la opción más sencilla y adecuada y, con esto, empezar a enredarse en procesos complejos y macabros que consumirán mucho tiempo y recursos, brindándonos pobres y confusos resultados. La "tecnología de lo obvio" corresponde a un sistema mental que aprovecha las experiencias, propias y comunitarias, y utiliza sus recursos de manera seleccionada para que, con un mínimo de esfuerzo, resuelva sus problemas satisfactoriamente y de una manera clara. Para este trabajo, siguiendo los conceptos

anteriores, se manejará la tensión superficial como una "tensión" y como tal va a medirse.

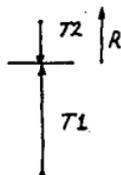
Si se analiza dimensionalmente la tensión superficial, como se expresa en el capítulo de fenómenos de superficie, encontramos que sus unidades están dadas como una fuerza por unidad de longitud unidimensional.

Partiendo del equilibrio de fuerzas, se sabe que la resultante de dos fuerzas de igual magnitud y dirección que actúan sobre un mismo punto, pero con sentido opuesto, es igual a cero. En el caso de fuerzas con igual dirección, distintas magnitudes y sentido opuesto, actuando sobre un mismo punto tendremos siempre una resultante en la misma dirección y sentido correspondiente al de la fuerza de mayor magnitud.

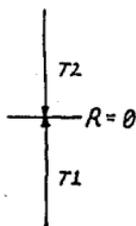
Considérese el siguiente caso: Se tiene una fuerza (T_1) de magnitud, dirección y sentido constantes. Por otro lado se tiene otra fuerza (T_2) actuando sobre el mismo punto, con la misma dirección pero con magnitud inicial menor y sentido opuesto. (Fig. 5.1.1).

Si se considera que (T_2) es de magnitud variable y ésta se empieza a incrementar, llegará algún momento en el que se alcance el equilibrio dinámico en el punto y la resultante de las fuerzas (T_1) y (T_2) se nulifique (Fig. 5.1.2); sin

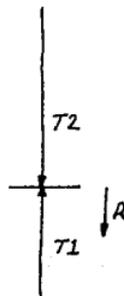
embargo, si la magnitud de la segunda fuerza (T_2) continúa incrementándose, se volverá a tener una fuerza resultante en la misma dirección, pero con sentido opuesto a la resultante original, que seguirá aumentando su magnitud en proporción directa al incremento de magnitud de (T_2). (Fig. 5.1.3).



5.1.1



5.1.2



5.1.3

Fig. 5.1. Comportamiento de fuerzas

Traduciendo el último ejemplo al trabajo aquí expuesto, se puede considerar a (T_1) como la fuerza asociada a la tensión superficial del líquido. Esta fuerza esta en función del sistema de sustancias que se esté manejando y su estado termodinámico; es decir, que depende de la estructura molecular de cada integrante del sistema, la temperatura y la composición principalmente; dentro del presente trabajo no se considera el efecto de la presión sobre la tensión superficial. La segunda fuerza estará representada por el peso variable del "flotador" diseñado para este trabajo.

El "flotador", que actúa como instrumento de medición indirecta, flotará sobre el líquido mientras que la tensión que éste ejerza sobre la superficie del líquido sea menor a la tensión superficial. Una vez que la fuerza asociada a la tensión superficial resulte menor que la fuerza asociada al peso del flotador, el resultado esperado será el hundimiento del dispositivo.

Para encontrar el valor de la tensión superficial es necesario sobrepasar su valor como tensión; es decir, atravesar la superficie del líquido rompiendo la aparente membrana en que se transforma la superficie de los líquidos gracias a la tensión superficial. Para que la medición alcance una precisión adecuada, debemos controlar a detalle el crecimiento de la fuerza sobre la superficie del líquido y lograr que estos incrementos sean lo más pequeño posible. Si adicionalmente se logra que estos incrementos se manejen como valores discretos, se podrá asociar fácilmente un error de medición y, en consecuencia, otorgar cierta precisión definida al dispositivo.

Regresando una vez más al análisis dimensional, se ha encontrado la fuerza. En cuanto a la longitud que divide a las unidades de fuerza, asociaremos el perímetro constante de la superficie sobre la que se aplique la fuerza. Sobre el perímetro se desarrollará el proceso, de rompimiento de la vieja superficie y formación de nueva superficie, adicional,

como fruto del trabajo desarrollado por la fuerza sobre el flotador.

A través de la lectura del peso del flotador, con la carga soportada hasta el hundimiento, y del perímetro del flotador, es posible establecer una relación directa con el valor de la tensión superficial.

5.2 DESCRIPCION FISICA DEL "FLOTADOR"

El "flotador", según los requerimientos descritos en los párrafos anteriores, debe ser un elemento ligero que por su construcción pueda depositarse sobre la superficie de líquidos y hundirse visiblemente al agregarsele el peso suficiente como para romper la tensión superficial debiendo ser mínima su fuerza boyante. Para que pueda aplicarse la idea del perímetro, los bordes del area flotante deben de ser prácticamente unas líneas con espesor mínimo para que el al menor movimiento descendente se logre el hundimiento. Adicionalmente, la superficie de contacto con el líquido debe de ser libre de irregularidades.

Por otro lado, se debe contar con un receptáculo que pueda alojar la carga creciente; en adición, la carga deberá ser distribuida uniformemente alrededor del centro de gravedad de la superficie de contacto del flotador.

Como en la mayoría de los casos de diseño, las condiciones de los dispositivos y equipos pueden ser alcanzadas a través de diferentes configuraciones y materiales; sin embargo, otros factores como el del costo de construcción del diseño, facilidad de operación y vida media son los que mandan sobre la configuración óptima para cada caso.

Para este trabajo, se utilizará un cubreobjetos rectangular como superficie de contacto; el perímetro de este rectángulo será asociado en forma más directa con el valor de la tensión superficial. Colocado exactamente al centro del cubreobjetos, se pegará un pequeño tramo de popote convencional de plástico que, sellado con silicón en su parte inferior en la zona de contacto con el cubreobjetos, funcionará como recipiente para el lastre agregado durante la medición.

Después de experimentar con algunas sales insolubles, metales y líquidos inmiscibles, se llegó a la conclusión de que el mejor lastre era el mercurio metálico líquido. Por su enorme tensión superficial, combinada con la alta densidad, es posible lograr gotas pequeñísimas que, sin embargo, contribuyen con una cantidad significativa de masa que, junto con el peso del mismo flotador vacío y la aceleración de la gravedad, nos proveen de la fuerza necesaria para vencer la tensión superficial en determinado momento.

5.3 METODO DE TRABAJO

Para realizar una medición de la tensión superficial de algún líquido, utilizando el dispositivo anteriormente descrito, es recomendable seguir los pasos que a continuación se indican:

1.- Conseguir los materiales necesarios para la construcción del flotador. Los materiales básicos se enlistan a continuación:

- Un cubreobjetos rectangular de 2 a 3 cm por lado.
- Un tramo de popote plástico de 1 cm de altura.
- El silicón necesario para pegar el popote a la base.

2.- Construir el flotador uniendo los materiales descritos anteriormente, cuidando que el popote quede centrado. El hecho de que el popote se encuentre fuera de posición hacia cualquiera de los lados provocará un hundimiento prematuro que, sin duda, alterará las lecturas experimentales y acarreará desviaciones contra los valores reales de tensión superficial del líquido analizado. Es importante esperar un poco a que el silicón seque un poco de manera que no se desprenda fácilmente el popote. La aplicación del silicón debe ser cuidadosa para evitar grumos de silicón que afecten la distribución de la carga, o la existencia de

fugas que permitan la salida al mercurio. Una vez concluido este paso, se deberá tener un dispositivo similar al mostrado en la Figura 5.2.

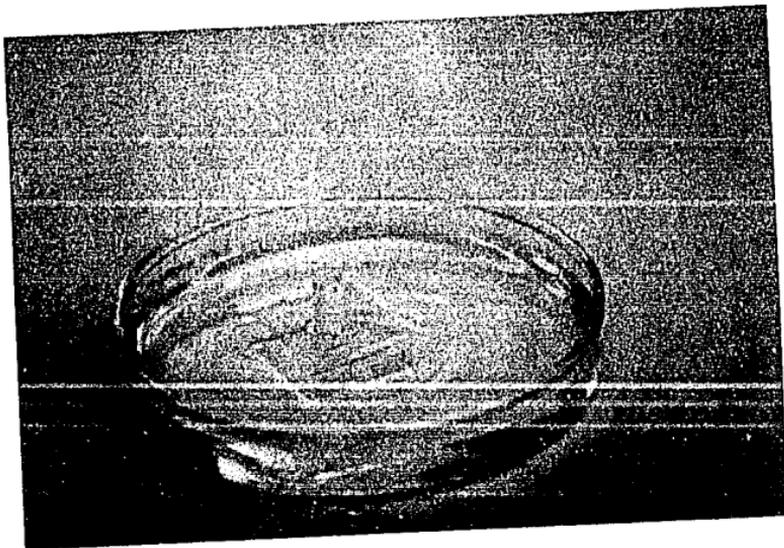


Figura 5.2 Aspecto físico del flotador

3.- Se mide el perímetro del cubreobjetos. Para esto se recomienda utilizar un vernier o nonio. A continuación se pesa el flotador vacío y seco utilizando una balanza analítica que tenga, de preferencia una precisión de 1×10^{-4} gramos. Para éste trabajo se utilizó una balanza marca "YMC Chyo", modelo JL-180, para 180 gramos, digital y con autocalibración con desviación estándar de 0.1mg y precisión de 1×10^{-4} gramos.

4.- Se deposita el flotador sobre la superficie del líquido problema, con cuidado de no mojar la cara seca (superior) del cubreobjetos, y se empieza a agregar gota a gota el mercurio. Con el fin de evitar efectos indeseables sobre el comportamiento del flotador, es importante situar a éste alejado de las paredes del recipiente que contenga el líquido. Para el manejo del lastre (mercurio) se recomienda el uso de una jeringa convencional con aguja de diámetro interno pequeño como dosificador; esta última nos garantiza un buen control del peso a través de gotas pequeñas y uniformes de mercurio.

5.- El mercurio se continua agregando hasta el momento en que alguna de las gotas, por el peso acumulado, logra hundir el flotador.

6.- Se recupera el flotador, sacándolo del seno del líquido. El mercurio se recupera directamente vaciando el

contenido del flotador en un vaso de precipitados sobre la balanza que, previamente "tarada", marca ceros en la pantalla. Para asegurar una mayor precisión en la lectura del peso de la gota, se recomienda que el vaso receptor tenga en el fondo una pequeña cantidad de mercurio de manera que se forme un espejo uniforme, en el cual, se distribuirá uniformemente la gota liberada por el recipiente del flotador. El peso del mercurio recuperado, en adición al propio peso del flotador, nos da el valor de fuerza necesario para el cálculo de la tensión superficial en conjunto con el perímetro del cubreobjetos anteriormente medido. Como se puede observar, todo el mercurio usado puede ser recuperado cuidando tener una operación correcta.

7.- Para proceder a una nueva medición, es necesario secar el flotador de manera que el "peso vacío" permanezca constante y no se tenga que pesar el flotador vacío para cada evento. Se recomienda utilizar pañuelos desechables.

8.- Finalmente se relacionan el peso total soportado junto con el perímetro del cubreobjetos y la aceleración de la gravedad para el cálculo de la tensión superficial. El dato calculado se reporta junto con la temperatura del líquido al momento de la medición.

5.4 DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA PRUEBA DEL FLOTADOR

Para probar el funcionamiento del flotador se propone la experimentación sobre varios sistemas con diferentes características y sometidos a diversas condiciones.

El plan general de experimentación comprende dos grupos principales de líquidos. El primer grupo corresponde a "líquidos puros"; aunque en el sentido estricto de la palabra corresponden, más bien, a sistemas de composición constante. En estos líquidos se analizará la tensión superficial en función de la temperatura. La temperatura es por mucho la variable de mayor impacto para la tensión superficial en estos sistemas; como ya se había mencionado, la presión, en niveles bajos y moderados, ejerce poca influencia sobre la tensión superficial.

El segundo grupo de líquidos corresponde a las mezclas. En este caso la tensión superficial se analizará tanto en función de la temperatura como en función de la composición. Los cambios en la concentración traen consigo considerables variaciones en los valores de la tensión superficial.

Existe un gran número de líquidos conocidos y, sus opciones para combinaciones se vuelven prácticamente infinitas. Para este trabajo se seleccionará un grupo de líquidos

representativos integrado por los tipos más comunes dentro de los manejados en la industria, el laboratorio y la vida diaria.

Dentro de este grupo encontramos líquidos polares, no polares, contaminantes comunes de las aguas, líquidos orgánicos, inorgánicos y de distintas viscosidades y densidades.

A continuación se enlistan los líquidos involucrados en este trabajo:

AGUA.- El más común de todos los líquidos, indispensable para la vida y la actividad industrial como las conocemos. El agua cuenta con características especiales como los puentes de hidrógeno que le otorgan valores relativamente altos de tensión superficial. Adicionalmente, se trata de un clásico ejemplo de líquido polar. Con respecto al agua se podrían escribir varios libros pero esto queda fuera del alcance de éste trabajo.

n-PROPANOL.- El n-propanol es un líquido orgánico en donde la polaridad no resulta evidente. Comparado con el agua, sus valores de tensión superficial son muy pequeños. Adicionalmente, el sistema propanol-agua se ha

convertido ya en un clásico para la experimentación sobre tensión superficial de mezclas líquidas.

BENCENO.- El benceno es un compuesto aromático típico. Este líquido orgánico, prácticamente insoluble en agua, es de gran uso en la industria y laboratorios; en adición, sus características lo han hecho un ejemplo didáctico típico en diversos problemas planteados a lo largo de la carrera de Ingeniería Química.

ACEITE LUBRICANTE.- Los aceites lubricantes tienen un uso extendido en todas las industrias y la vida diaria; adicionalmente, su presencia en aguas de desecho acarrea serios problemas ecológicos por lo que son considerados como importantes contaminantes del suelo y agua. La tensión superficial en los aceites se convierte en un parámetro muy útil para conocer sus características lubricantes.

DETERGENTE.- Aún y cuando los detergentes usados en México son normalmente sólidos, al entrar en contacto con agua forman soluciones que son de uso común en la industria y vida diaria. Tal vez la principal característica de los detergentes es su acción como tensoactivo o surfactante; es decir, la habilidad que tienen para abatir la tensión superficial y facilitar la acción de lavado.

TWEEN 80.- El Tween 80 es el nombre comercial de un orgánico derivado del petróleo, conocido ampliamente en las industrias y laboratorios por sus propiedades como tensoactivo.

Por último, las temperaturas y concentraciones a las que serán evaluados los "líquidos puros" y mezclas, corresponden a casos en que comunmente son manejados estos sistemas. Se procurará permanecer alejados de puntos de fusión y ebullición para evitar desviaciones aportadas por los cambios de fase.

Además de los casos anteriormente planteados, se incluirán experimentos especiales en donde por otros medios, como la agitación, se altere el líquido hasta vencer la tensión superficial con el flotador a peso constante. Lo último también se extenderá a casos en que se varíe la composición o la temperatura manteniendo constante el peso del flotador.

CAPITULO VI

PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para la primera parte de la experimentación se utilizó el diseño factorial fraccionado, para determinar las variables de mayor efecto dentro del método para la determinación de la tensión superficial propuesto en este trabajo. Consideramos como variables a evaluar: la temperatura, la concentración y el área del cubreobjetos. El resultado evaluado fue el peso soportado por el flotador antes de su hundimiento. Los resultados obtenidos a través de esta experimentación fueron utilizados para confirmar el impacto de cada una de estas variables al momento de la experimentación. El sistema propanol-agua fue seleccionado por considerarse el más representativo dado su uso ampliamente difundido y aceptado en prácticas de fenómenos de superficie dentro de los laboratorios de enseñanza superior.

Una vez concluidos los experimentos correspondientes al diseño factorial fraccionado se procedió a la definición del error asociado al método.

Para evaluar el error, se consideraron los errores aportados por las variaciones en el peso del flotador vacío, el peso

de la gota de mercurio y la variación entre distintas mediciones para las mismas condiciones.

Haciendo uso de la información de los errores, y dándole a ésta un tratamiento estadístico, se definió el tipo de jeringa y flotador que mejores resultados presentaban.

El par jeringa-flotador fue utilizado para la determinación de la tensión superficial de diferentes líquidos. Para comparar los resultados obtenidos con el flotador, se realizaron las mismas mediciones con un tensiómetro de Du Nöuy (Fischer, Modelo 20 con anillo de 6.020 cm y una R/r de 53.9280802) y por ascenso capilar (capilar con radio de 0.065 cm). Adicionalmente se obtuvo información bibliográfica (31) y experimental de otros laboratorios sobre la tensión superficial de los mismos sistemas como otro punto de comparación.

Los líquidos finalmente utilizados fueron agua destilada, aceite automotriz, benceno y propanol como sustancias puras. Para los sistemas de soluciones se utilizó: propanol-agua, detergente-agua y tween 80-agua.

Finalmente se realizó un experimento en el que se dejó constante el peso del flotador y la temperatura, haciéndose variar la concentración de la solución hasta lograr el hundimiento del dispositivo de medición. Complementando esta

última prueba, se decidió dejar constante el peso y concentración, mientras se incrementaba la temperatura de la solución hasta lograr el hundimiento. Estos dos últimos experimentos se realizaron utilizando como sistema propanol-agua.

**6.1 ANALISIS DE DATOS POR DISEÑO FACTORIAL FRACCIONADO PARA
EL SISTEMA AGUA-PROPANOL.**

HOJA DE DATOS EXPERIMENTALES

INGENIERIA QUIMICA
DISEÑO DE EXPERIMENTOS

SISTEMA AGUA-PROPANOL

TEMPERATURA (+)	35 grados C
TEMPERATURA (-)	20 grados C
CONCENTRACION (+)	1 molar
CONCENTRACION (-)	0.2 molar
CUBREOBJETOS (+)	5.20 cm ²
CUBREOBJETOS (-)	4.84 cm ²

X = CUBREOBJETOS
T = TEMPERATURA
C = CONCENTRACION

PRIMERA SERIE DE EXPERIENCIAS
PRIMER GRUPO

	X	T	C	#	RESULTADO
1	-	-	-	2	0.9515
2	-	-	+	1	0.8188
3	-	+	-	3	0.7488
4	-	+	+	8	0.7681

PRIMERA SERIE DE EXPERIENCIAS
SEGUNDO GRUPO

	X	T	C	#	RESULTADO
1	+	-	-	7	1.7696
2	+	-	+	5	1.5225
3	+	+	-	4	1.6957
4	+	+	+	6	1.6583

SEGUNDA SERIE DE EXPERIENCIAS
PRIMER GRUPO

	X	T	C	#	RESULTADO
1	-	-	-	13	0.9136
2	-	-	+	16	0.8859
3	-	+	-	15	0.8275
4	-	+	+	12	0.7446

SEGUNDA SERIE DE EXPERIENCIAS
SEGUNDO GRUPO

	X	T	C	#	RESULTADO
1	+	-	-	9	1.5664
2	+	-	+	11	1.5107
3	+	+	-	14	1.7932
4	+	+	+	10	1.6881

MATRIZ COMPLETA

	X	T	C	RESULTADO 1	RESULTADO 2	PROMEDIO
1	-	-	-	0.9515	0.9136	0.9326
2	-	-	+	0.8188	0.8859	0.8524
3	-	+	-	0.7488	0.8275	0.7882
4	-	+	+	0.7681	0.7446	0.7564
5	+	-	-	1.7696	1.5664	1.6680
6	+	-	+	1.5225	1.5107	1.5166
7	+	+	-	1.6957	1.7932	1.7445
8	+	+	+	1.6583	1.6881	1.6732

HOJA EXPERIMENTAL 2

INGENIERIA QUIMICA
DISEÑO DE EXPERIMENTOS

SISTEMA AGUA-PROPANOL

#	T	C	X	PESO oc	PESO oj	PESO fj	DIFER.	FINAL
1	-	-	+	0.3500	120.6160	120.1472	0.4688	0.8188
2	-	-	-	0.3448	120.1472	119.5405	0.6067	0.9515
3	-	+	-	0.3605	119.5405	119.1522	0.3883	0.7488
4	+	+	-	0.9008	119.1522	118.3573	0.7949	1.6957
5	+	-	+	0.9000	118.3573	117.7348	0.6225	1.5225
6	+	+	+	0.9022	117.7348	116.9787	0.7561	1.6583
7	+	-	-	0.9028	116.9787	116.1119	0.8668	1.7696
8	-	+	+	0.3175	116.1119	115.6613	0.4506	0.7681
9	+	-	-	0.9918	115.6613	114.9967	0.6646	1.5664
10	+	+	+	0.9077	114.9967	114.2163	0.7804	1.6881
11	+	-	+	0.9016	114.2163	113.6072	0.6091	1.5107
12	-	+	+	0.3455	113.6072	113.2081	0.3991	0.7446
13	-	-	-	0.3393	113.2081	112.6338	0.5743	0.9136
14	+	+	-	0.9014	112.6338	111.7420	0.8918	1.7932
15	-	+	-	0.3536	111.7420	111.2681	0.4739	0.8275
16	-	-	+	0.3701	111.2681	110.7523	0.5158	0.8859

MATRIZ COMPLETA CON INTERACCIONES

	X	T	C	XT	XC	TC	XTC	#	RESULTADO 1	#	RESULTADO 2	PROMEDIO
1	-	-	-	+	+	+	-	2	0.9515	13	0.9136	0.9326
2	-	-	+	+	-	-	+	1	0.8188	16	0.8859	0.8524
3	-	+	-	-	+	-	+	3	0.7488	15	0.8275	0.7882
4	-	+	+	-	-	+	-	8	0.7681	12	0.7446	0.7564
5	+	-	-	-	-	+	+	7	1.7696	9	1.5664	1.6680
6	+	-	+	-	+	-	-	5	1.5225	11	1.5107	1.5166
7	+	+	-	+	-	-	-	4	1.6957	14	1.7932	1.7445
8	+	+	+	+	+	+	+	6	1.6583	10	1.6881	1.6732

0.3500	120.6160	120.1472	0.4688	0.8188	1
0.3448	120.1472	119.5405	0.6067	0.9515	2
0.3605	119.5405	119.1522	0.3883	0.7488	3
0.9008	119.1522	118.3573	0.7949	1.6957	4
0.9000	118.3573	117.7348	0.6225	1.5225	5
0.9022	117.7348	116.9787	0.7561	1.6583	6
0.9028	116.9787	116.1119	0.8668	1.7696	7
0.3175	116.1119	115.6613	0.4506	0.7681	8
0.9018	115.6613	114.9967	0.6646	1.5664	9
0.9077	114.9967	114.2163	0.7804	1.6881	10
0.9016	114.2163	113.6072	0.6091	1.5107	11
0.3455	113.6072	113.2001	0.3991	0.7446	12
0.3393	113.2001	112.6338	0.5743	0.9136	13
0.9014	112.6338	111.7420	0.8918	1.7932	14
0.3536	111.7420	111.2681	0.4739	0.8275	15
0.3701	111.2681	110.7523	0.5158	0.8859	16

	OBS 1	OBS 2	PRMEDIO	S*2	ECUACION	% ERROR
1	0.9515	0.9136	0.9326	0.0007	0.9334	-0.0871
2	0.8188	0.8059	0.8524	0.0023	0.8497	0.3109
3	0.7488	0.8275	0.7882	0.0031	0.8150	-3.4067
4	0.7681	0.7446	0.7564	0.0003	0.7313	3.3070
5	1.7696	1.5664	1.6680	0.0206	1.6332	2.0856
6	1.5225	1.5107	1.5166	0.0001	1.5496	-2.1726
7	1.6957	1.7932	1.7445	0.0048	1.7516	-0.4084
8	1.6583	1.6881	1.6732	0.0004	1.6679	0.3160
		MEDIA	1.2415	0.0040	1.2415	0.0000

MEDIA	X	T	C	XT	XC	TC	XTC
0.93255	0.93255	0.93255	0.93255	0.93255	0.93255	0.93255	0.93255
0.85235	0.85235	0.85235	0.85235	0.85235	0.85235	0.85235	0.85235
0.78815	0.78815	0.78815	0.78815	0.78815	0.78815	0.78815	0.78815
0.75635	0.75635	0.75635	0.75635	0.75635	0.75635	0.75635	0.75635
1.66800	1.66800	1.66800	1.66800	1.66800	1.66800	1.66800	1.66800
1.51660	1.51660	1.51660	1.51660	1.51660	1.51660	1.51660	1.51660
1.74445	1.74445	1.74445	1.74445	1.74445	1.74445	1.74445	1.74445
1.67320	1.67320	1.67320	1.67320	1.67320	1.67320	1.67320	1.67320

SUMA +	9.93165	6.60225	4.96215	4.79850	5.20255	4.91050	5.03010	4.98170
SUMA -	0.00000	3.32940	4.96950	5.13315	4.72910	5.02115	4.90155	4.94995
VERIF.	9.93165	9.93165	9.93165	9.93165	9.93165	9.93165	9.93165	9.93165
DIFER.	9.93165	3.27285	-0.00735	-0.33465	0.47345	-0.11065	0.12855	0.03175
EFECTO	0.81821	-0.00184	-0.08366	0.11836	-0.02766	0.03214	0.00794	
ABS(EFEC)	0.81821	0.00184	0.08366	0.11836	0.02766	0.03214	0.00794	
BAJO LC	0.76644	-0.05361	-0.13543	0.06659	-0.07943	-0.01963	-0.04383	
ALTO LC	0.86998	0.04993	-0.03189	0.17013	0.02411	0.08391	0.05971	
		S/EFECTO		S/EFECTO	S/EFECTO	S/EFECTO	S/EFECTO	

t (95%,B)	2.306	MEDIA	X	C	XT
Se	0.063496	1.241456	0.409106	-0.04183	0.059181
LC	0.051768	FACTORES DE LA ECUACION			

ESTA ES LA ECUACION QUE RESULTA PARA ESTE SISTEMA:

$$Y=1.241476+(0.818212/2)*X-(0.08366/2)*C+(0.118362)*X*T$$

ESTA ECUACION MODELA EL PESO SOPORTADO POR LA SUPERFICIE DEL LIQUIDO Y DESPUES, ESTE SERA RELACIONADO CON LA TENSION SUPERFICIAL..

6.2 ANALISIS DE ERRORES ASOCIADOS AL METODO PROPUESTO.

CONCLUSIONES SOBRE EL ERROR PROPIO DEL SISTEMA DE MEDICION DE LA TENSION SUPERFICIAL UTILIZANDO UN FLOTADOR.

EL PRINCIPAL ERROR QUE AFECTA AL METODO DEL FLOTADOR SIEMPRE ESTARA ASOCIADO A LA LECTURA DEL PESO SOPORTADO POR EL MISMO.

LOS ERRORES QUE AFECTAN DIRECTAMENTE A LA MEDICION DEL PESO SOPORTADO SON:

EL ERROR PROPIO DEL TAMAÑO DE LA GOTA DE MERCURIO.

EL ERROR DEL FLOTADOR VACIO COMO CONSTANTE.

LOS ERRORES ASOCIADOS A LA VARIABILIDAD ENTRE MEDICIONES PARA UN MISMO CASO; SIN EMBARGO, ESTE ERROR SE ENCUENTRA RELACIONADO YA CON LA MISMA VARIABILIDAD DEL TAMAÑO DE LA GOTA.

CONSIDERANDO LAS FUENTES DE ERROR ANTERIORMENTE CITADAS, SE TOMARAN EN CUENTA LOS ERRORES POR LA VARIABILIDAD ENTRE LOS RESULTADOS PARA LAS MISMAS CONDICIONES, Y LA VARIACION DEL PESO DEL FLOTADOR VACIO. ESTOS DOS VALORES INTEGRAN EL PESO TOTAL DEL FLOTADOR QUE SE CONVIERTE EN LA VARIABLE PRINCIPAL PARA LA DETERMINACION DEL VALOR DE LA TENSION SUPERFICIAL DEL LIQUIDO.

TABLA 6.1

ESTUDIO PARA EL COMPORTAMIENTO DE UN SOLO FLOTADOR.
 MEDICIONES REALIZADAS DESPUES DE UNA SERIE VARIABLE DE HUNDIMIENTOS.
 LIQUIDO DE REFERENCIA, AGUA DESTILADA @23°C.

MEDICION PESO (g)		MEDICION PESO (g)	
	1 0.1537		1 0.3394
FLOTADOR	2 0.1539	FLOTADOR	2 0.3390
CIRCULAR	3 0.1539	RECTANG.	3 0.3394
	4 0.1539		4 0.3394
	5 0.1545		5 0.3395
	6 0.1546		6 0.3404
	7 0.1544		7 0.3400
	8 0.1541		8 0.3400
	9 0.1540		9 0.3403
	10 0.1537		10 0.3392
	11 0.1542		11 0.3402
	12 0.1544		12 0.3394
	13 0.1550		13 0.3400
	14 0.1549		14 0.3401
	15 0.1542		15 0.3402
	16 0.1544		16 0.3395
	17 0.1540		17 0.3395
	18 0.1544		18 0.3401
	19 0.1545		19 0.3400
	20 0.1542		20 0.3400
	21 0.1544		21 0.3398
	22 0.1542		22 0.3404
	23 0.1547		23 0.3391
	24 0.1545		24 0.3402
	25 0.1545		25 0.3402
	26 0.1545		26 0.3392
	27 0.1546		27 0.3391
	28 0.1545		28 0.3394
	29 0.1547		29 0.3399
	30 0.1547		30 0.3394
PROMEDIO	0.1543	PROMEDIO	0.3397
DESV.	0.0003	DESV.	0.0004
MINIMO	0.1537	MINIMO	0.3390
MAXIMO	0.1550	MAXIMO	0.3404
AMPLITUD	0.0013	AMPLITUD	0.0014

EL ERROR APORTADO POR NO MEDIR EL PESO DEL FLOTADOR EN CADA MEDICION
 ES MUY PEQUEÑO EN RELACION CON EL ERROR POR EL TAMAÑO DE LA GOTA.

ERROR POR LA VARIACION DEL PESO DEL FLOTADOR VACIO:

VARIACION F. RECTANGULAR:	0.0014 g
VARIACION F. CIRCULAR:	0.0013 g
ERROR (1) FLOTADOR RECTANG:	0.0514 % (+/-)
ERROR (1) FLOTADOR CIRC:	0.0944 % (+/-)

FIGURA 6.1

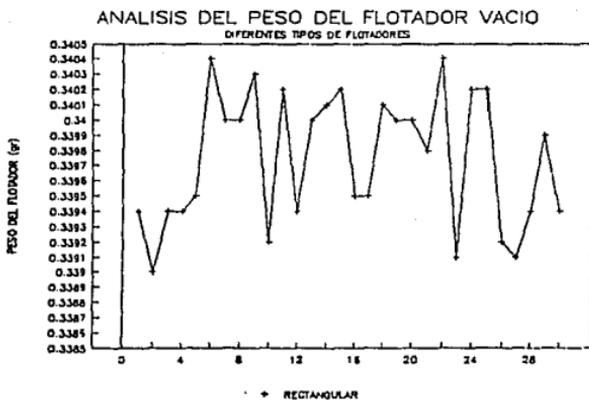
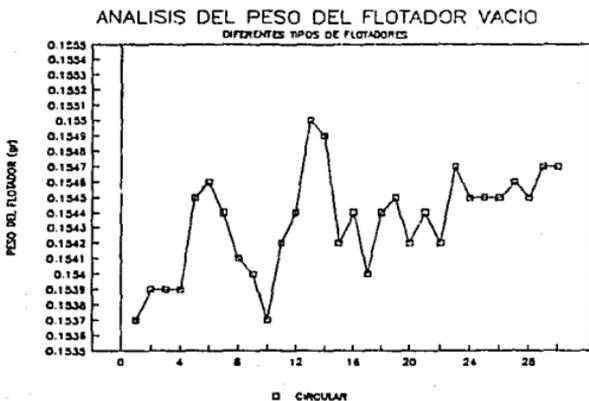


FIGURA 6.2



ANÁLISIS DEL PESO DE LA GOTA DE MERCURIO
TABLA 6.2
CONDICIONES AMBIENTALES @ 23°C, 568 mm Hg.

MUESTRA	JERINGA AZUL	JERINGA VERDE	JERINGA GRIS	JERINGA NEGRA	JERINGA MARIANJA	DIFERENCIA	DIFERENCIA	DIFERENCIA	DIFERENCIA
1	0.0260	0.0280	0.0280	0.0334	0.0323	0.0152	0.0152	0.0152	0.0152
2	0.0515	0.0255	0.0296	0.0603	0.0269	0.0647	0.0324	0.0327	0.0175
3	0.0768	0.0253	0.0301	0.0958	0.0365	0.0936	0.0289	0.0483	0.0156
4	0.1027	0.0259	0.0289	0.1306	0.0358	0.1210	0.0274	0.0661	0.0178
5	0.1265	0.0238	0.1462	0.1638	0.0332	0.1489	0.0279	0.0854	0.0183
6	0.1513	0.0248	0.1737	0.1928	0.0290	0.1821	0.0332	0.1048	0.0192
7	0.1785	0.0272	0.2000	0.2308	0.0380	0.2124	0.0303	0.1243	0.0197
8	0.2054	0.0269	0.2270	0.2625	0.0317	0.2423	0.0299	0.1434	0.0191
9	0.2322	0.0268	0.2568	0.2934	0.0309	0.2725	0.0302	0.1625	0.0191
10	0.2590	0.0268	0.2836	0.3204	0.0270	0.3027	0.0302	0.1824	0.0199
11	0.2858	0.0268	0.3137	0.3566	0.0362	0.3351	0.0324	0.2020	0.0196
12	0.3121	0.0263	0.3459	0.3894	0.0322	0.3659	0.0288	0.2236	0.0216
13	0.3390	0.0269	0.3801	0.0342	0.4215	0.0321	0.3965	0.0326	0.2433
14	0.3673	0.0283	0.4135	0.0334	0.4558	0.0343	0.4288	0.0323	0.2630
15	0.3930	0.0257	0.4413	0.0278	0.4905	0.0347	0.4578	0.0290	0.2844
16	0.4186	0.0256	0.4711	0.0298	0.5245	0.0340	0.4908	0.0330	0.3050
17	0.4459	0.0273	0.4992	0.0281	0.5515	0.0270	0.5215	0.0307	0.3254
18	0.4717	0.0258	0.5302	0.0310	0.5912	0.0397	0.5535	0.0320	0.3445
19	0.4994	0.0277	0.5612	0.0310	0.6276	0.0364	0.5808	0.0273	0.3641
20	0.5258	0.0264	0.5889	0.0277	0.6690	0.0414	0.6134	0.0326	0.3854
21	0.5520	0.0262	0.6209	0.0320	0.7087	0.0377	0.6406	0.0272	0.4055
22	0.5792	0.0272	0.6508	0.0299	0.7462	0.0395	0.6688	0.0282	0.4254
23	0.6051	0.0259	0.6795	0.0387	0.7787	0.0325	0.6970	0.0282	0.4462
24	0.6312	0.0261	0.7097	0.0302	0.8170	0.0383	0.7255	0.0285	0.4668
25	0.6573	0.0261	0.7375	0.0278	0.8548	0.0378	0.7552	0.0297	0.4894
26	0.6831	0.0256	0.7669	0.0294	0.8916	0.0368	0.7806	0.0254	0.5116
27	0.7109	0.0278	0.7911	0.0242	0.9300	0.0384	0.8116	0.0310	0.5324
28	0.7379	0.0270	0.8209	0.0298	0.9661	0.0361	0.8419	0.0303	0.5511
29	0.7644	0.0265	0.8478	0.0269	1.0059	0.0398	0.8710	0.0291	0.5719
30	0.7902	0.0258	0.8788	0.0310	1.0449	0.0390	0.9002	0.0292	0.5924
PROMEDIO	0.0263	0.0293	0.0293	0.0348	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0197
DESV.	0.0009	0.0021	0.0021	0.0039	0.0039	0.0020	0.0020	0.0016	0.0016
MINIMO	0.0238	0.0242	0.0242	0.0269	0.0269	0.0254	0.0254	0.0152	0.0152
MAXIMO	0.0283	0.0342	0.0342	0.0414	0.0414	0.0332	0.0332	0.0226	0.0226
AMPLITUD	0.0045	0.0100	0.0100	0.0145	0.0145	0.0078	0.0078	0.0074	0.0074

ERROR POR EL TAMAÑO DE LA GOTA:

CONSIDERANDO A LAS GOTAS COMO PAQUETES MASICOS CON VALORES DISCRETOS, SE ENCUENTRA QUE SIEMPRE, POR LA MECANICA EXPERIMENTAL, SIEMPRE SERA NECESARIO AGREGAR UN POCO MAS ALLA DEL VALOR REQUERIDO POR EL EQUILIBRIO DE LAS FUERZAS DE TENSION QUE DEBERA ROMPERSE PARA LOGRAR EFECTUAR LA MEDICION.

TAMAÑO PROMEDIO DE LA GOTA: 0.0263 g
 DESVIACION ESTANDAR: 0.0009 g
 ERROR (1) FLOTADOR RECTANG: 1.9299 % (+)
 ERROR (1) FLOTADOR CIRC: 3.8213 % (+)

FIGURA 6.3

ANALISIS DE LA GOTA

DIFERENTES JERINGAS

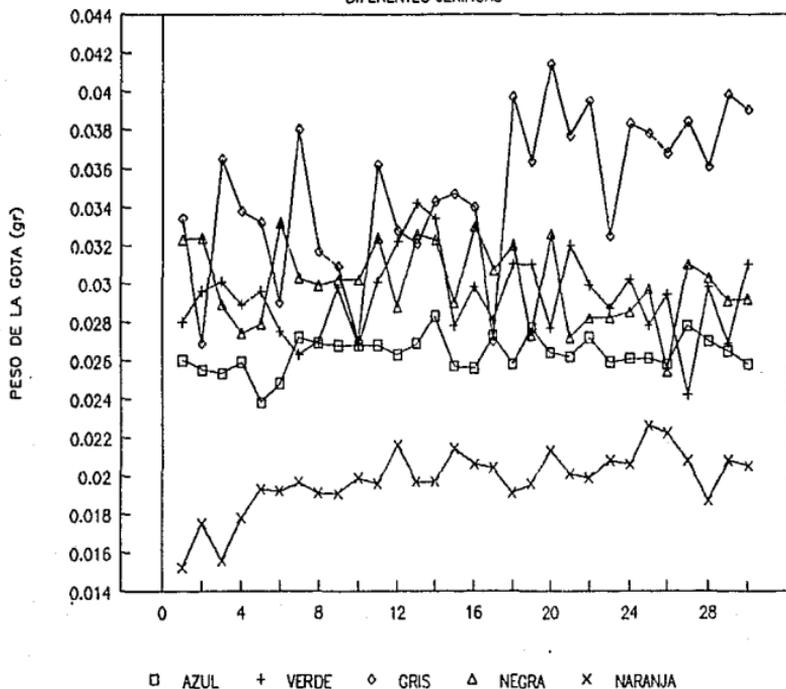


TABLA 6.3

**ESTUDIO ESTADISTICO DEL COMPORTAMIENTO DEL FLOTADOR
EN AGUA DESTILADA.**

TEMPERATURA DEL AGUA @ 20°C

TEMPERATURA AMBIENTE @ 23°C

FLOTADOR CIRCULAR 0.1543 g

FLOTADOR RECTANG. 0.3404 g

MEDICION PESO Hg PESO TOT.(g)

1	0.5575	0.7118
2	0.5204	0.6747
3	0.5050	0.6593
4	0.5260	0.6803
5	0.4729	0.6272
6	0.4480	0.6023
7	0.6047	0.7590
8	0.5530	0.7073
9	0.5281	0.6824
10	0.5442	0.6985
11	0.5105	0.6648
12	0.5839	0.7382
13	0.4595	0.6138
14	0.5920	0.7463
15	0.5180	0.6723
16	0.5576	0.7119
17	0.5185	0.6728
18	0.6410	0.7953
19	0.4955	0.6498
20	0.5161	0.6704
21	0.5293	0.6836
22	0.5214	0.6757
23	0.5745	0.7288
24	0.5478	0.7021
25	0.5643	0.7186
26	0.4798	0.6341
27	0.5548	0.7091
28	0.5246	0.6789
29	0.4971	0.6514
30	0.5725	0.7268

PROMEDIO 0.6883
DESV. 0.0423
MINIMO 0.6023
MAXIMO 0.7953
AMPLITUD 0.1930

MEDICION PESO Hg PESO TOT.(g)

1	1.0724	1.4128
2	1.0603	1.4007
3	1.0522	1.3926
4	1.0421	1.3825
5	1.0257	1.3661
6	1.0066	1.3470
7	1.0258	1.3662
8	1.0158	1.3562
9	1.0464	1.3868
10	1.0549	1.3953
11	0.9978	1.3382
12	1.0037	1.3441
13	0.9952	1.3356
14	1.0457	1.3861
15	1.0254	1.3658
16	0.9815	1.3219
17	1.0308	1.3712
18	1.0480	1.3884
19	0.9859	1.3263
20	1.1038	1.4442
21	0.9938	1.3342
22	1.0599	1.4003
23	1.0146	1.3550
24	1.0430	1.3834
25	0.9892	1.3296
26	0.9970	1.3374
27	1.0088	1.3492
28	0.9617	1.3021
29	1.0211	1.3615
30	0.9643	1.3047

PROMEDIO 1.3628
DESV. 0.0324
MINIMO 1.3021
MAXIMO 1.4442
AMPLITUD 0.1421

ERROR POR LA FUERZA ASOCIADA AL IMPACTO POR LA CAIDA:

ALTURA PROMEDIO DE CAIDA: 0.7000 cm
MASA PROMEDIO DE LA GOTA: 0.0263 g
TRABAJO ADICIONAL: 18.0418 erg
VOLUMEN DE LIQUIDO: 75.0000 cm³
INCREMENTO TEMPERATURA (1): 5.7E-09 °C

*COMO SE PUEDE OBSERVAR, LA FUERZA ASOCIADA A LA CAIDA, IMPLICA UN ERROR DESPRECIABLE.

ERROR POR LA VARIABILIDAD ENTRE MEDICIONES:

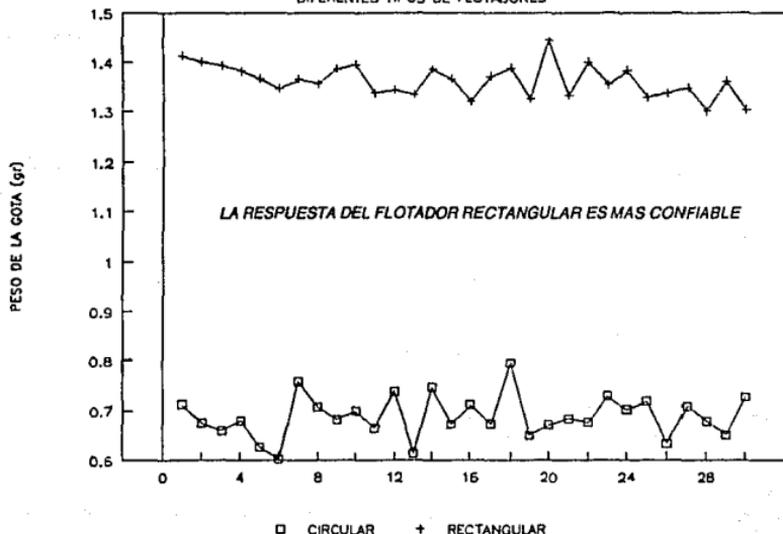
VARIACION F. RECTANGULAR: 0.1421 g
VARIACION F. CIRCULAR: 0.1930 g
ERROR (1) FLOTADOR RECTANG: 5.2135 % (+/-)
ERROR (1) FLOTADOR CIRC: 14.0200 % (+/-)

(1) ASOCIADO AL AGUA DESTILADA @ 20°C, 588 mm Hg

FIGURA 6.4

ANALISIS COMPORTAMIENTO DEL FLOTADOR

DIFERENTES TIPOS DE FLOTADORES



CONCLUSION DEL ERROR:

*UTILIZANDO LA JERINGA AZUL Y EL FLOTADOR RECTANGULAR
POR LAS MAGNITUDES Y CARACTERISTICAS DE LOS ERRORES SE
CONCLUYE QUE EL ERROR MAS SIGNIFICATIVO CORRESPONDE A
LA VARIABILIDAD ENTRE LAS MEDICIONES PARA UNAS
CONDICIONES DADAS.

ERROR INTRINSECO DEL METODO 5.2135 %

CONSIDERANDO AGUA DESTILADA @ 20°C COMO
LIQUIDO DE REFERENCIA.

**6.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES COMPARATIVOS CON SUSTANCIAS
PURAS.**

TABLA 6.4

RESULTADOS EXPERIMENTALES

VALORES CONSIDERADOS COMO CONSTANTES:

DENSIDAD DEL AIRE A 25°C	0.001186 g/cm ³
PERIMETRO DEL ANILLO	6.020000 cm
RELACION DE RADIOS r/R	0.001854
RADIO DEL CAPILAR	0.065000 cm
PESO DEL FLOTADOR	0.340400 g
PERIMETRO DEL FLOTADOR	9.200000 cm
ACELERACION POR GRAVEDAD	9.800000 m/seg ²

SUSTANCIAS PURAS

TABLA 6.5

1) AGUA DESTILADA

MEDICION LIQUIDO	TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NOÛY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR				
		DENSIDA LIQUIDO	din/cm	LECTURA	FACTOR	din/cm	REAL	cm	din/cm	g (Hg)	PESO g	din/cm
		LECTURA	REAL	REAL	REAL	LECTURA	REAL	LECTURA	TOTAL	REAL		
1	5	0.999336	80.1	0.940309	75.32	2.2	70.02	1.0978	1.4382	76.60		
2	5	0.999336	80.2	0.940402	75.42	2.2	70.02	1.1009	1.4413	76.76		
3	5	0.999336	80.0	0.940216	75.22	2.1	66.84	1.1033	1.4437	76.89		
4	5	0.999336	79.3	0.939562	74.51	2.2	70.02	1.0912	1.4316	76.25		
5	5	0.999336	80.0	0.940216	75.22	2.2	70.02	1.0970	1.4374	76.56		
				PROMEDIO	75.14		69.39			76.61		
1	15	0.997540	77.1	0.937625	72.29	1.9	60.37	1.0745	1.4149	75.36		
2	15	0.997540	77.1	0.937625	72.29	1.9	60.37	1.0809	1.4213	75.70		
3	15	0.997540	77.2	0.937720	72.39	2.0	63.54	1.0803	1.4207	75.67		
4	15	0.997540	77.8	0.938286	73.00	1.9	60.37	1.0800	1.4204	75.65		
5	15	0.997540	77.4	0.937909	72.59	2.0	63.54	1.0954	1.4358	76.47		
				PROMEDIO	72.51		61.64			75.77		
1	25	0.995616	74.6	0.935386	69.78	1.8	57.08	1.0526	1.3930	74.19		
2	25	0.995616	75.7	0.936437	70.89	1.8	57.08	1.1081	1.4485	77.15		
3	25	0.995616	75.2	0.935960	70.38	1.8	57.08	0.9800	1.3204	70.33		
4	25	0.995616	75.3	0.936055	70.48	2.2	69.76	0.9989	1.3393	71.33		
5	25	0.995616	76.4	0.937102	71.59	1.8	57.08	0.9528	1.2932	68.88		
				PROMEDIO	70.63		59.62			72.38		
1	35	0.992680	73.0	0.934057	68.19	1.8	56.91	0.8582	1.1986	63.84		
2	35	0.992680	73.0	0.934057	68.19	1.9	60.07	1.1485	1.4889	79.30		
3	35	0.992680	72.7	0.933767	67.88	1.8	56.91	1.0561	1.3965	74.38		
4	35	0.992680	72.7	0.933767	67.88	1.8	56.91	1.0044	1.3448	71.63		
5	35	0.992680	72.9	0.933960	68.09	1.8	56.91	0.8428	1.1832	63.02		
				PROMEDIO	68.05		57.54			70.43		
1	45	0.990328	70.8	0.932084	65.99	2.0	63.08	0.9526	1.2930	68.87		
2	45	0.990328	71.8	0.933060	66.99	1.9	59.93	1.0867	1.4271	76.01		
3	45	0.990328	71.6	0.932865	66.79	1.9	59.93	0.9507	1.2911	68.77		
4	45	0.990328	71.5	0.932767	66.69	2.0	63.08	1.0055	1.3459	71.68		
5	45	0.990328	71.7	0.932962	66.89	1.6	50.47	0.7765	1.1169	59.49		
				PROMEDIO	66.67		59.30			68.96		

**RESUMEN DE RESULTADOS
AGUA DESTILADA**

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	75.14	74.96	69.39	76.61
15	72.51	73.51	61.64	75.77
25	70.63	72.00	59.62	72.38
35	68.05	70.43	57.54	70.43
45	66.67	68.80	59.30	68.96

TABLA 6.6

ERRORES

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	0.23%	0.00%	-7.44%	2.20%
15	-1.35%	0.00%	-16.15%	3.08%
25	-1.90%	0.00%	-17.20%	0.53%
35	-3.38%	0.00%	-18.29%	0.01%
45	-3.09%	0.00%	-13.81%	0.24%
PROMEDIO	-1.90%	0.00%	-14.58%	1.21%
DESV. EST.	0.01	0.00	0.04	0.01

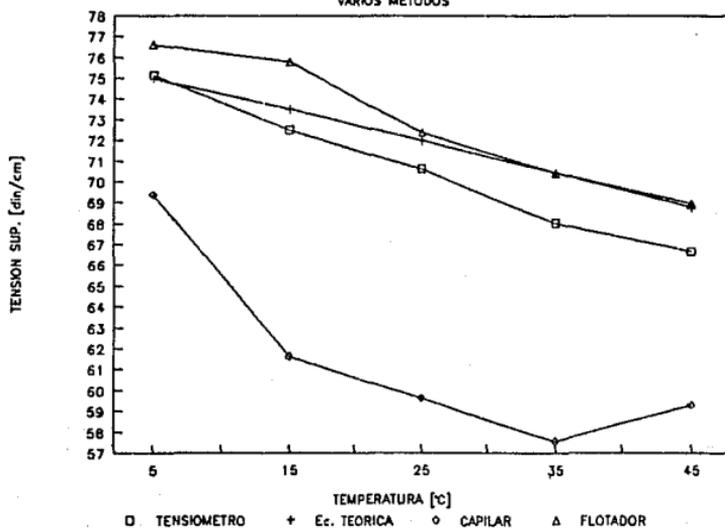
TABLA 6.7

RESULTADOS COMPARADOS CON DATOS REPORTADOS EN LA LITERATURA (9).

FIGURA 6.5

TENSION SUPERF. VS. TEMP

VARIOS METODOS



SUSTANCIAS PURAS

TABLA 6.8

2) ACEITE AUTOMOTRIZ. QUAKER STATE, SAE 20W-50. RACING OIL MULTIGRADO

MEDICION LIQUIDO	TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NOÛY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		din/cm REAL
		DENSIDA LIQUIDO	din/cm LECTURA	din/cm FACTOR	din/cm REAL	cm LECTURA	din/cm REAL	g (Hg) LECTURA	PESO g TOTAL	
1	5	0.902217	35.6	0.898309	31.98	*	*	0.3300	0.6704	35.71
2	5	0.902217	36.0	0.898821	32.36	*	*	0.3211	0.6615	35.23
3	5	0.902217	35.8	0.898565	32.17	*	*	0.2491	0.5895	31.40
4	5	0.902217	35.6	0.898309	31.98	*	*	0.3045	0.6449	34.35
5	5	0.902217	35.6	0.898309	31.98	*	*	0.3153	0.6557	34.92
				PROMEDIO	32.09					34.32
1	15	0.895642	37.0	0.900440	33.32	*	*	0.2666	0.6070	32.33
2	15	0.895642	35.8	0.898902	32.18	*	*	0.2469	0.5873	31.28
3	15	0.895642	35.9	0.900313	33.22	*	*	0.2336	0.5740	30.57
4	15	0.895642	35.8	0.898902	32.18	*	*	0.3059	0.6463	34.42
5	15	0.895642	35.5	0.898515	31.90	*	*	0.2317	0.5721	30.47
				PROMEDIO	32.56					31.82
1	25	0.889067	34.2	0.897159	30.68	*	*	0.1708	0.5112	27.23
2	25	0.889067	34.2	0.897159	30.68	*	*	0.2563	0.5967	31.78
3	25	0.889067	34.1	0.897028	30.59	*	*	0.2246	0.5650	30.09
4	25	0.889067	33.7	0.896502	30.21	*	*	0.2233	0.5637	30.02
5	25	0.889067	33.4	0.896107	29.93	*	*	0.1788	0.5192	27.65
				PROMEDIO	30.42					29.36
1	35	0.882493	35.0	0.898544	31.45	*	*	0.2129	0.5533	29.47
2	35	0.882493	35.2	0.898805	31.64	*	*	0.1473	0.4877	25.97
3	35	0.882493	35.2	0.898805	31.64	*	*	0.2440	0.5844	31.13
4	35	0.882493	35.2	0.898805	31.64	*	*	0.1992	0.5396	28.74
5	35	0.882493	35.1	0.898675	31.54	*	*	0.2390	0.5794	30.86
				PROMEDIO	31.58					29.23
1	45	0.875918	34.0	0.897566	30.52	*	*	0.1579	0.4983	26.54
2	45	0.875918	33.7	0.897167	30.23	*	*	0.1771	0.5175	27.56
3	45	0.875918	33.4	0.896768	29.95	*	*	0.2093	0.5497	29.28
4	45	0.875918	33.5	0.896901	30.05	*	*	0.1929	0.5333	28.40
5	45	0.875918	33.7	0.897167	30.23	*	*	0.1511	0.4915	26.18
				PROMEDIO	30.20					27.59

**RESUMEN DE RESULTADOS
ACEITE**

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	32.09	32.23	*	34.32
15	32.56	31.56	*	31.82
25	30.42	31.04	*	29.36
35	31.58	30.69	*	29.23
45	30.20	30.42	*	27.59

TABLA 6.9

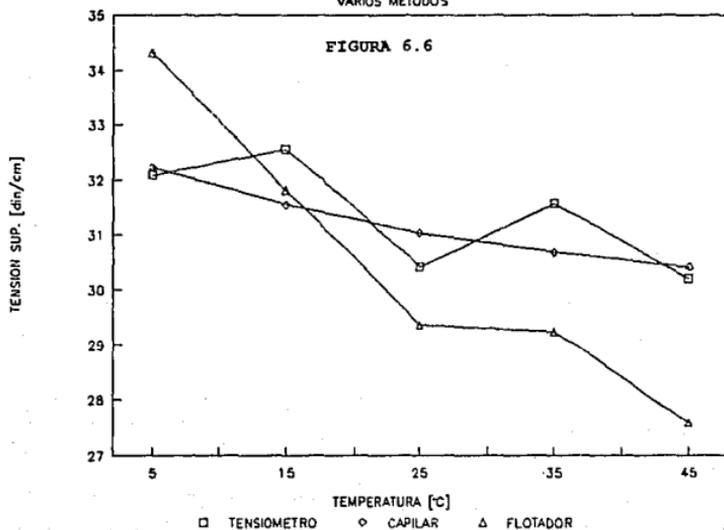
ERRORES

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-0.42%	0.00%	*	6.49%
15	3.17%	0.00%	*	0.81%
25	-2.00%	0.00%	*	-5.43%
35	2.90%	0.00%	*	-4.74%
45	-0.73%	0.00%	*	-9.30%
PROMEDIO	0.58%	0.00%	*	-2.43%
DES.V. EST.	0.02	0.00	*	0.06

TABLA 6.10

LOS ERRORES SON COMPARADOS CONTRA VALORES PROPORCIONADOS POR LA COMPAÑIA PRODUCTORA DEL ACEITE UTILIZADO.

TENSION SUPERF. VS. TEMP
VARIOS METODOS



- EL ASCENSO CAPILAR NO FUNCIONO PARA BAJAS TEMPERATURAS POR LA VISCOSIDAD DEL ACEITE. FUE NECESARIO AUMENTAR LA TEMPERATURA HASTA 65°C PARA OBTENER UNA LECTURA DE 24 din/cm .
- **NO SE ENCONTRO UNA FUENTE CONFIABLE PARA LOS DATOS TEORICOS DEL ACEITE A OTRAS TEMPERATURAS.

A LA TEMPERATURA DE 65°C EL FLOTADOR TUVO PROBLEMAS DE ESTABILIDAD. EL HUNDIMIENTO SE PRODUCIA SIN NECESIDAD DE LASTRE.

LOS RESULTADOS OBSERVADOS, UN POCO ELEVADOS CON RESPECTO AL ESPERADO TEORICO, PUEDEN EXPLICARSE POR LA ALTA VISCOSIDAD DEL ACEITE QUE RETRASA LA RESPUESTA DE ROTURA DE LA CAPA SUPERFICIAL DEL LIQUIDO.

SUSTANCIAS PURAS

TABLA 6.11

3) BENCENO

MEDICION	TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NOUY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		
		LIQUIDO	DENSIDA LIQUIDO	din/cm LECTURA	din/cm FACTOR REAL	cm LECTURA	din/cm REAL	g (Hg) LECTURA	PESO g TOTAL	din/cm REAL
1	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.
3	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.
5	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1	15	0.876472	32.4	0.895402	29.01	1.0	27.92	0.1432	0.4836	25.76
2	15	0.876472	32.1	0.894998	28.73	0.9	25.12	0.1862	0.5266	28.04
3	15	0.876472	32.6	0.895670	29.20	1.0	27.92	0.1231	0.4635	24.68
4	15	0.876472	31.7	0.894459	28.35	1.0	27.92	0.1885	0.5289	28.17
5	15	0.876472	32.4	0.895402	29.01	0.9	25.12	0.1278	0.4682	24.93
				PROMEDIO	28.86		26.80			26.32
1	25	0.874452	30.5	0.892927	27.23	1.0	27.85	**	**	**
2	25	0.874452	29.7	0.891830	26.49	1.0	27.85	**	**	**
3	25	0.874452	29.6	0.891693	26.39	1.0	27.85	**	**	**
4	25	0.874452	29.4	0.891417	26.21	1.1	30.64	**	**	**
5	25	0.874452	29.4	0.891417	26.21	1.1	30.64	**	**	**
				PROMEDIO	26.51		28.97			
1	35	0.860296	27.7	0.889689	24.64	1.0	27.40	**	**	**
2	35	0.860296	27.3	0.889127	24.27	1.0	27.40	**	**	**
3	35	0.860296	27.8	0.889835	24.74	1.0	27.40	**	**	**
4	35	0.860296	28.0	0.890118	24.92	1.0	27.40	**	**	**
5	35	0.860296	27.3	0.889127	24.27	1.0	27.40	**	**	**
				PROMEDIO	24.57		27.40			
1	45	0.852492	25.9	0.887466	22.99	0.8	21.72	**	**	**
2	45	0.852492	26.6	0.888477	23.63	0.9	24.44	**	**	**
3	45	0.852492	26.0	0.887611	23.08	0.8	21.82	**	**	**
4	45	0.852492	26.6	0.888477	23.63	0.9	24.44	**	**	**
5	45	0.852492	26.7	0.888621	23.73	0.9	24.44	**	**	**
				PROMEDIO	23.41		23.37			

**RESUMEN DE RESULTADOS
BENCENO**

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	*	*	*	*
15	28.86	29.56	26.80	26.32
25	26.51	28.24	28.97	**
35	24.57	26.94	27.40	**
45	23.41	25.64	23.37	**

TABLA 6.12

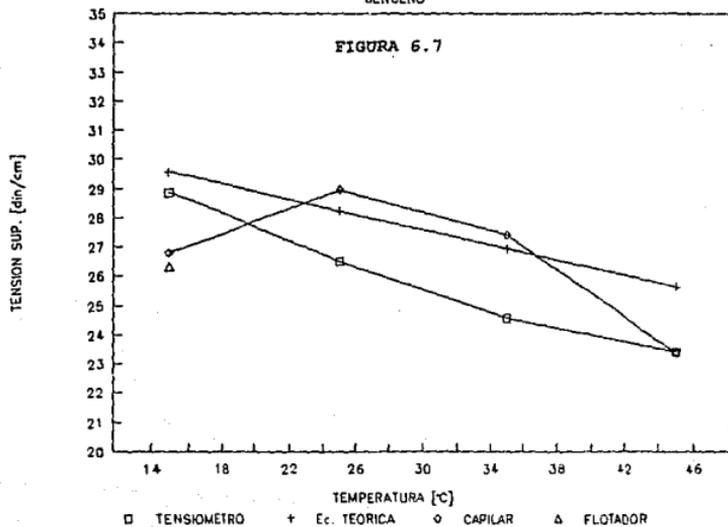
ERRORES

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	*	*	*	*
15	-2.35%	0.00%	-9.33%	-10.96%
25	-6.14%	0.00%	2.57%	**
35	-8.78%	0.00%	1.72%	**
45	-8.70%	0.00%	-8.87%	**
PROMEDIO	-6.49%	0.00%	-3.48%	-10.96%
DESV.EST.	0.03	0.00	0.06	**

TABLA 6.13

ERRORES CALCULADOS CON BASE A LOS DATOS REPORTADOS EN LA LITERATURA (0).

**TENSION SUPERF. VS. TEMP
BENCENO**



- EL PUNTO DE FUSION DEL BENCENO ES DE 5.5°C POR LO QUE LA LECTURA DE LA TENSION SUPERFICIAL A 5°C NO PUEDE REALIZARSE.
- ** EL FLOTADOR PRESENTA GRAVES PROBLEMAS DE ESTABILIDAD A TEMPERATURAS SUPERIORES A LOS 15°C EN EL CASO DEL BENCENO; SIN EMBARGO, ESTA INESTABILIDAD ES VALIDA Y CLARA INDICADORA DE LA BAJA TENSION SUPERFICIAL DE ESTA SUSTANCIA.

LA LECTURA A OBTENIDA A LOS 15°C FUE EXTREMADAMENTE DIFICIL.
EL FLOTADOR EN BENCENO SE HUNDE SOLO FACILMENTE.

SUSTANCIAS PURAS

TABLA 6.14

4) PROPANOL

MEDICION LIQUIDO	TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NÓUY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		
		DENSIDA	din/cm	din/cm	REAL	cm	din/cm	g (Hg)	PESO g	din/cm
LIQUIDO		LECTURA	FACTOR			LECTURA	REAL	LECTURA	TOTAL	REAL
1	5	0.811392	26.3	0.889959	23.41	1.00	25.84	**	**	**
2	5	0.811392	26.5	0.890259	23.59	1.00	25.84	**	**	**
3	5	0.811392	25.3	0.888453	22.48	1.00	25.84	**	**	**
4	5	0.811392	26.1	0.889659	23.22	1.00	25.84	**	**	**
5	5	0.811392	26.6	0.890408	23.68	1.00	25.84	**	**	**
			PROMEDIO		23.28		25.84			
1	15	0.806464	26.2	0.890050	23.32	0.90	23.12	**	**	**
2	15	0.806464	26.3	0.890200	23.41	0.90	23.12	**	**	**
3	15	0.806464	26.7	0.890801	23.78	0.90	23.12	**	**	**
4	15	0.806464	24.8	0.887926	22.02	0.90	23.12	**	**	**
5	15	0.806464	26.1	0.889899	23.23	0.90	23.12	**	**	**
			PROMEDIO		23.15		23.12			
1	25	0.801436	26.0	0.889994	23.14	0.70	17.87	**	**	**
2	25	0.801436	24.9	0.888317	22.12	0.70	17.87	**	**	**
3	25	0.801436	24.9	0.888317	22.12	0.70	17.87	**	**	**
4	25	0.801436	24.8	0.889163	22.03	0.80	20.42	**	**	**
5	25	0.801436	26.1	0.890146	23.23	0.70	17.87	**	**	**
			PROMEDIO		22.53		18.38			
1	35	0.796608	23.4	0.886222	20.74	0.70	17.76	**	**	**
2	35	0.796608	25.4	0.889316	22.59	0.80	20.30	**	**	**
3	35	0.796608	25.5	0.889470	22.68	0.70	17.76	**	**	**
4	35	0.796608	22.6	0.884967	20.00	0.70	17.76	**	**	**
5	35	0.796608	24.5	0.887931	21.75	0.70	17.76	**	**	**
			PROMEDIO		21.55		18.27			
1	45	0.791680	22.3	0.884714	19.73	0.70	17.65	**	**	**
2	45	0.791680	23.6	0.886763	20.93	0.70	17.65	**	**	**
3	45	0.791680	23.5	0.886606	20.84	0.70	17.65	**	**	**
4	45	0.791680	24.7	0.888477	21.95	0.70	17.65	**	**	**
5	45	0.791680	22.0	0.884237	19.45	0.70	17.65	**	**	**
			PROMEDIO		20.58		17.65			

**RESUMEN DE RESULTADOS
PROPANOL**

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	23.28	24.75	25.84	**
15	23.15	24.06	23.12	**
25	22.53	23.32	18.38	**
35	21.55	22.56	18.27	**
45	20.58	21.77	17.65	**

TABLA 6.15

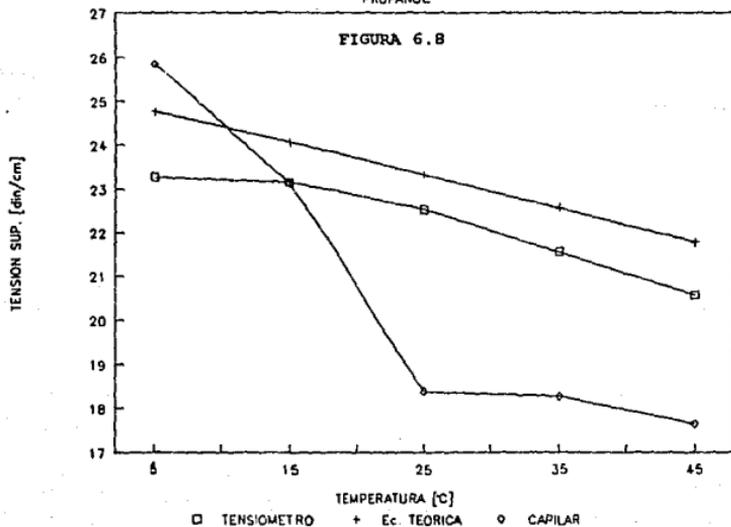
ERRORES

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-5.97%	0.00%	4.40%	**
15	-3.75%	0.00%	-3.90%	**
25	-3.42%	0.00%	-21.20%	**
35	-4.47%	0.00%	-19.03%	**
45	-5.47%	0.00%	-18.92%	**
PROMEDIO	-4.62%	0.00%	-11.73%	**
DES.V.EST.	0.01	0.00	0.10	**

TABLA 6.16

ERRORES CALCULADOS POR COMPARACION CON LOS DATOS REPORTADOS
EN LA LITERATURA (0).

**TENSION SUPERF. VS. TEMP
PROPANOL**



** EL FLOTADOR NUNCA LOGRO MANTENERSE SOBRE LA SUPERFICIRE DEL PROPANOL PURO A NINGUNA DE LAS TEMPERATURAS MUESTREADAS.

LA BAJA TENSION SUPERFICIAL DEL PROPANOL PURO SE VE CLARA EN EL COMPORTAMIENTO DEL FLOTADOR. EL PESO MISMO DEL FLOTADOR ES SUFICIENTE PARA PRODUCIR EL HUNDIMIENTO.

6.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES COMPARATIVOS CON MEZCLAS.

SOLUCIONES

TABLA 6.17

1.1) PROPANOL-AGUA

SOLUCION 1, 1M

TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NÔUY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR			
	DENSIDA LIQUIDO	din/cm	LECTURA	FACTOR	din/cm REAL	cm	din/cm REAL	g (Hg) LECTURA	PESO g TOTAL	din/cm REAL
1	5	0.998440	58.3	0.918991	53.58	1.7	54.06	0.6876	1.0280	54.75
2	5	0.998440	58.2	0.918867	53.47	1.7	54.06	0.7348	1.0752	57.27
3	5	0.998440	58.3	0.918981	53.58	1.7	54.06	0.7295	1.0699	56.99
4	5	0.998440	58.7	0.919436	54.01	1.7	54.06	0.6286	0.9690	51.61
5	5	0.998440	58.3	0.918991	53.58	1.7	54.06	0.7435	1.0839	57.73
			PROMEDIO		53.64		54.06			55.67
1	15	0.995824	57.6	0.918453	52.94	1.7	53.92	0.6381	0.9785	52.12
2	15	0.995824	57.5	0.918339	52.83	1.7	53.92	0.6590	0.9994	53.23
3	15	0.995824	55.9	0.916612	51.22	1.7	53.92	0.6582	0.9986	53.19
4	15	0.995824	56.8	0.917535	52.08	1.7	53.92	0.6873	1.0277	54.74
5	15	0.995824	56.1	0.916843	51.43	1.8	57.09	0.6888	1.0292	54.82
			PROMEDIO		52.10		54.55			53.62
1	25	0.993208	52.8	0.913496	48.23	1.5	47.45	0.5916	0.9320	49.64
2	25	0.993208	52.7	0.913378	48.13	1.6	50.61	0.5734	0.9138	48.67
3	25	0.993208	53.9	0.914671	49.30	1.5	47.45	0.5907	0.9311	49.59
4	25	0.993208	53.8	0.914553	49.19	1.6	50.61	0.5913	0.9317	49.63
5	25	0.993208	53.2	0.913967	48.66	1.6	50.61	0.5805	0.9209	49.05
			PROMEDIO		48.70		49.35			49.32
1	35	0.990592	50.2	0.910790	45.69	1.6	50.48	0.4831	0.8235	43.86
2	35	0.990592	49.7	0.910310	45.26	1.5	47.33	0.5075	0.8479	45.16
3	35	0.990592	49.5	0.910069	45.05	1.6	50.48	0.5233	0.8637	46.00
4	35	0.990592	50.3	0.910910	45.79	1.6	50.48	0.5227	0.8631	45.97
5	35	0.990592	49.8	0.910430	45.37	1.6	50.48	0.5137	0.8541	45.49
			PROMEDIO		45.43		49.85			45.30
1	45	0.987976	47.9	0.908395	43.47	1.5	47.20	0.5205	0.8609	45.85
2	45	0.987976	47.3	0.907786	42.94	1.5	47.20	0.4344	0.7748	41.27
3	45	0.987976	48.4	0.909003	44.00	1.5	47.20	0.4730	0.8134	43.32
4	45	0.987976	48.2	0.908760	43.78	1.5	47.20	0.5550	0.8954	47.69
5	45	0.987976	47.7	0.908274	43.36	1.5	47.20	0.5344	0.8748	46.59
			PROMEDIO		43.51		47.20			44.94

RESUMEN
PROPANOL-AGUA SOLUCION (1)

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	53.64	57.87	54.06	55.67
15	52.10	56.75	54.55	53.62
25	48.70	55.58	49.35	49.32
35	45.43	54.37	49.85	45.30
45	43.51	53.12	47.20	44.94

TABLA 6.18

ERRORES

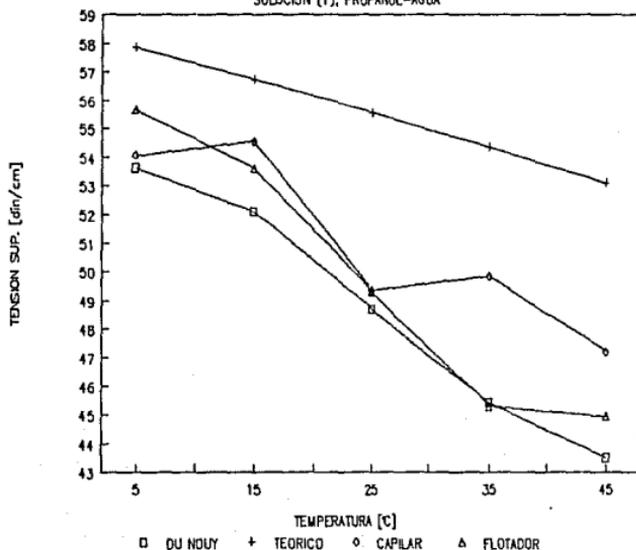
TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-7.31%	0.00%	-6.58%	-3.80%
15	-8.19%	0.00%	-3.87%	-5.52%
25	-12.37%	0.00%	-11.21%	-11.27%
35	-16.44%	0.00%	-8.31%	-16.69%
45	-18.09%	0.00%	-11.14%	-15.39%
PROMEDIO	-12.48%	0.00%	-8.22%	-10.54%
DESV.EST.	0.04	0.00	0.03	0.05

TABLA 6.19

FIGURA 6.9

COMPARACION DE METODOS

SOLUCION (1), PROPANOL-AGUA



SOLUCIONES

TABLA 6.20

1.2) PROPANOL-AGUA

SOLUCION 2, 0.5M

MEDICION LIQUIDO	TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NOUY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		
		DENSIDA LIQUIDO	din/cm LECTURA	FACTOR	din/cm REAL	cm LECTURA	din/cm REAL	g (Hg) LECTURA	PESO g TOTAL	din/cm REAL
1	5	0.998800	69.9	0.930601	65.03	2.2	69.99	0.8773	1.2177	64.86
2	5	0.998800	70.9	0.931647	66.08	2.2	69.99	0.7703	1.1107	59.16
3	5	0.998800	70.1	0.930853	65.27	2.2	69.99	0.8238	1.1642	62.01
4	5	0.998800	70.5	0.931193	65.62	2.2	69.99	0.7168	1.0572	56.31
5	5	0.998800	70.1	0.930853	65.27	2.1	66.80	0.9308	1.2712	67.71
				PROMEDIO	65.45			69.35		62.01
1	15	0.996162	67.2	0.928144	62.37	2.1	66.63	0.7715	1.1119	59.22
2	15	0.996162	65.9	0.926870	61.10	2.1	66.63	0.8233	1.1637	61.98
3	15	0.996162	66.7	0.927681	61.91	2.1	66.63	0.7974	1.1378	60.60
4	15	0.996162	65.3	0.926288	60.52	2.1	66.63	0.7455	1.0859	57.84
5	15	0.996162	65.5	0.926405	60.64	2.1	66.63	0.8492	1.1896	63.36
				PROMEDIO	61.31			66.63		60.60
1	25	0.993524	64.4	0.925526	59.61	2.0	63.29	0.7221	1.0625	56.59
2	25	0.993524	64.6	0.925760	59.84	1.8	56.96	0.6726	1.0130	53.96
3	25	0.993524	64.6	0.925760	59.84	2.0	63.29	0.6974	1.0378	55.27
4	25	0.993524	64.1	0.925174	59.27	1.9	60.12	0.6479	0.9883	52.64
5	25	0.993524	63.9	0.925056	59.15	1.9	60.12	0.7469	1.0873	57.91
				PROMEDIO	59.54			60.76		55.27
1	35	0.990886	57.2	0.918279	52.51	1.8	56.81	0.6428	0.9832	52.36
2	35	0.990886	58.2	0.919373	53.54	1.7	53.65	0.6531	0.9935	52.92
3	35	0.990886	57.4	0.918523	52.74	1.8	56.81	0.6479	0.9883	52.64
4	35	0.990886	58.0	0.919131	53.31	1.8	56.81	0.6376	0.9780	52.09
5	35	0.990886	57.5	0.918644	52.86	1.8	56.81	0.6583	0.9987	53.19
				PROMEDIO	52.99			56.18		52.64
1	45	0.988248	53.3	0.914363	48.78	1.7	53.51	0.5840	0.9244	49.23
2	45	0.988248	53.2	0.914238	48.66	1.7	53.51	0.6420	0.9824	52.32
3	45	0.988248	53.3	0.914363	48.78	1.8	56.66	0.6130	0.9534	50.78
4	45	0.988248	53.5	0.914488	48.89	1.7	53.51	0.5550	0.8954	47.69
5	45	0.988248	53.7	0.914737	49.11	1.7	53.51	0.6709	1.0113	53.86
				PROMEDIO	48.84			54.14		50.78

RESUMEN
PROPANOL-AGUA SOLUCION (2)

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	65.45	63.87	69.35	62.01
15	61.31	62.62	66.63	60.60
25	59.54	61.34	60.76	55.27
35	52.99	60.00	56.18	52.64
45	48.84	58.62	54.14	50.78

TABLA 6.21

ERRORES

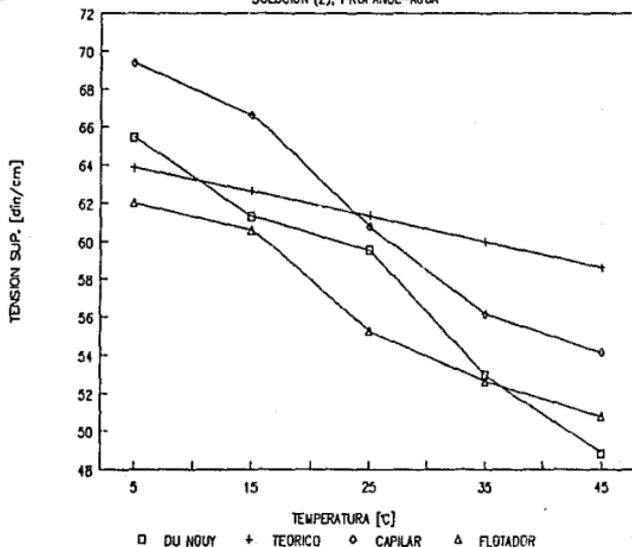
TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	2.48%	0.00%	8.58%	-2.92%
15	-2.09%	0.00%	6.40%	-3.23%
25	-2.93%	0.00%	-0.95%	-9.89%
35	-11.68%	0.00%	-6.37%	-12.27%
45	-16.68%	0.00%	-7.65%	-13.38%
PROMEDIO	-6.18%	0.00%	0.00%	-8.34%
DESV.EST.	0.07	0.00	0.07	0.04

TABLA 6.22

FIGURA 6.10

COMPARACION DE METODOS

SOLUCION (2), PROPANOL-AGUA



SOLUCIONES

TABLA 6.23

1.3) PROPANOL-AGUA

SOLUCION 3, 0.25M

MEDICION LIQUIDO	TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NOÛY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		
		DENSIDA LIQUIDO	din/cm LECTURA	FACTOR	din/cm REAL	cm LECTURA	din/cm REAL	g (Hg) LECTURA	PESO g TOTAL	din/cm REAL
1	5	0.996300	70.0	0.930916	65.19	2.30	72.98	0.8718	1.2122	64.56
2	5	0.996300	71.2	0.932096	66.40	2.10	66.64	0.8670	1.2074	64.31
3	5	0.996300	71.2	0.932096	66.40	2.30	72.98	0.8694	1.2098	64.44
4	5	0.996300	70.6	0.931453	65.74	2.40	76.16	0.8646	1.2050	64.18
5	5	0.996300	70.8	0.931668	65.96	2.40	76.16	0.8742	1.2146	64.69
				PROMEDIO	65.94		72.98			64.44
1	15	0.994264	69.3	0.930341	64.47	2.20	69.67	0.8528	1.1932	63.55
2	15	0.994264	69.1	0.930125	64.25	2.20	69.67	0.8474	1.1878	63.26
3	15	0.994264	69.6	0.930665	64.80	2.20	69.67	0.8501	1.1905	63.41
4	15	0.994264	69.1	0.930125	64.25	2.20	69.67	0.8447	1.1851	63.12
5	15	0.994264	70.0	0.930988	65.13	2.20	69.67	0.8556	1.1960	63.70
				PROMEDIO	64.58		69.67			63.41
1	25	0.992228	66.3	0.927538	61.52	2.30	72.69	0.8108	1.1512	61.32
2	25	0.992228	66.1	0.927318	61.31	2.10	66.37	0.8298	1.1702	62.33
3	25	0.992228	66.7	0.927867	61.85	2.00	63.20	0.8203	1.1607	61.82
4	25	0.992228	66.9	0.928086	62.07	2.00	63.20	0.8014	1.1418	60.81
5	25	0.992228	67.0	0.928196	62.18	2.10	66.37	0.8393	1.1797	62.83
				PROMEDIO	61.79		66.37			61.82
1	35	0.990192	64.7	0.926018	59.89	2.00	63.08	0.8305	1.1709	62.36
2	35	0.990192	65.2	0.926572	60.44	2.10	66.23	0.7768	1.1172	59.50
3	35	0.990192	65.8	0.927124	60.99	2.00	63.08	0.8037	1.1441	60.93
4	35	0.990192	66.0	0.927344	61.20	2.00	63.08	0.7500	1.0904	58.07
5	35	0.990192	64.9	0.926240	60.11	2.00	63.08	0.8574	1.1978	63.79
				PROMEDIO	60.53		63.71			60.93
1	45	0.988156	60.4	0.921776	55.67	1.80	56.65	0.9079	1.2483	66.49
2	45	0.988156	60.5	0.921890	55.77	2.00	62.95	0.6546	0.9950	52.99
3	45	0.988156	60.5	0.921890	55.77	1.80	56.65	0.7813	1.1217	59.74
4	45	0.988156	60.7	0.922116	55.99	1.80	56.65	0.5280	0.8684	46.25
5	45	0.988156	61.1	0.922456	56.32	1.80	56.65	1.0346	1.3750	73.23
				PROMEDIO	55.90		57.91			59.74

RESUMEN
PROPANOL-AGUA SOLUCION (3)

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	65.94	68.35	72.98	64.44
15	64.58	67.02	69.67	63.41
25	61.79	65.65	66.37	61.82
35	60.53	64.22	63.71	60.93
45	55.90	62.74	57.91	59.74

TABLA 6.24

ERRORES

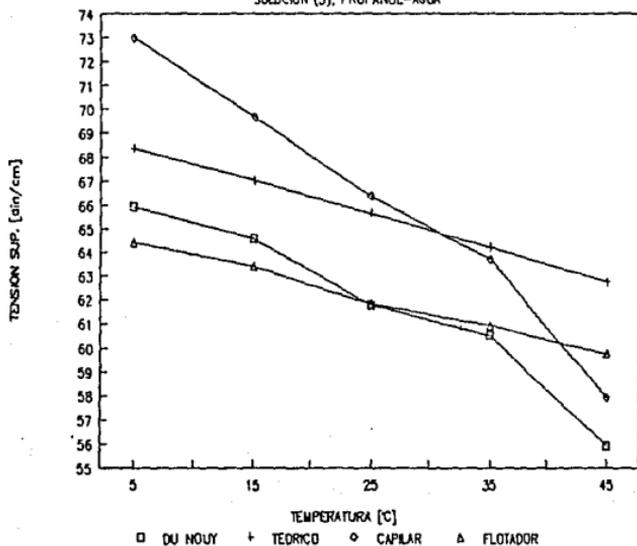
TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-3.53%	0.00%	6.78%	-5.73%
15	-3.64%	0.00%	3.95%	-5.39%
25	-5.89%	0.00%	1.09%	-5.83%
35	-5.75%	0.00%	-0.80%	-5.12%
45	-10.90%	0.00%	-7.70%	-4.78%
PROMEDIO	-5.94%	0.00%	0.66%	-5.37%
DESV.EST.	0.03	0.00	0.05	0.00

TABLA 6.25

FIGURA 6.11

COMPARACION DE METODOS

SOLUCION (3), PROPANOL-AGUA



SOLUCIONES

TABLA 6.26

1.4) PROPANOL-AGUA

SOLUCION 4, 0.1M

104

MEDICION LIQUIDO	TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NOUY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		
		DENSIDA LIQUIDO	din/cm LECTURA	FACTOR	din/cm REAL	cm LECTURA	din/cm REAL	g (Hg) LECTURA	PESO g TOTAL	din/cm REAL
1	5	0.999077	73.7	0.934224	68.80	2.2	70.01	0.9431	1.2835	68.36
2	5	0.999077	72.5	0.933134	67.66	2.2	70.01	0.9381	1.2785	68.09
3	5	0.999077	73.1	0.933679	68.23	2.2	70.01	0.9406	1.2810	68.23
4	5	0.999077	73.3	0.933897	68.46	2.2	70.01	0.9355	1.2759	67.96
5	5	0.999077	73.7	0.934224	68.80	2.2	70.01	0.9456	1.2860	68.49
			PROMEDIO		68.39		70.01			68.23
1	15	0.996399	71.2	0.932004	66.31	2.2	69.82	0.9230	1.2634	67.29
2	15	0.996399	71.4	0.932224	66.54	2.2	69.82	0.9312	1.2716	67.73
3	15	0.996399	71.4	0.932224	66.54	2.3	72.99	0.9271	1.2675	67.51
4	15	0.996399	72.0	0.932774	67.11	2.2	69.82	0.9189	1.2593	67.07
5	15	0.996399	71.6	0.932444	66.77	2.3	72.99	0.9353	1.2757	67.95
			PROMEDIO		66.65		71.09			67.51
1	25	0.993721	66.1	0.927163	61.24	2.2	69.63	0.8379	1.1783	62.76
2	25	0.993721	66.3	0.927389	61.47	2.1	66.47	0.8849	1.2253	65.26
3	25	0.993721	66.2	0.927276	61.36	2.2	69.63	0.8614	1.2018	64.01
4	25	0.993721	69.9	0.930973	65.08	2.2	69.63	0.8145	1.1549	61.51
5	25	0.993721	70.1	0.931195	65.31	2.2	69.63	0.9083	1.2487	66.51
			PROMEDIO		62.89		69.00			64.01
1	35	0.991043	66.0	0.927273	61.19	2.2	69.44	0.8890	1.2294	65.48
2	35	0.991043	67.2	0.928449	62.36	2.2	69.44	0.8550	1.1954	63.67
3	35	0.991043	67.0	0.928331	62.24	2.2	69.44	0.8720	1.2124	64.57
4	35	0.991043	67.2	0.928449	62.36	2.2	69.44	0.8380	1.1784	62.76
5	35	0.991043	68.2	0.929501	63.41	2.2	69.44	0.9061	1.2465	66.39
			PROMEDIO		62.31		69.44			64.57
1	45	0.988365	66.1	0.927520	61.27	2.0	62.96	0.8954	1.2358	65.82
2	45	0.988365	65.5	0.926918	60.67	2.0	62.96	0.7442	1.0846	57.76
3	45	0.988365	64.9	0.926313	60.07	2.0	62.96	0.8198	1.1602	61.79
4	45	0.988365	65.1	0.926555	60.31	2.1	66.11	0.6685	1.0089	53.74
5	45	0.988365	66.2	0.927641	61.39	2.0	62.96	0.9711	1.3115	69.85
			PROMEDIO		60.74		63.59			61.79

RESUMEN
PROPANOL-AGUA SOLUCION (4)

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	68.39	71.89	70.01	68.23
15	66.65	70.49	71.09	67.51
25	62.89	69.04	69.00	64.01
35	62.31	67.54	69.44	64.57
45	60.74	65.98	63.59	61.79

TABLA 6.27

ERRORES

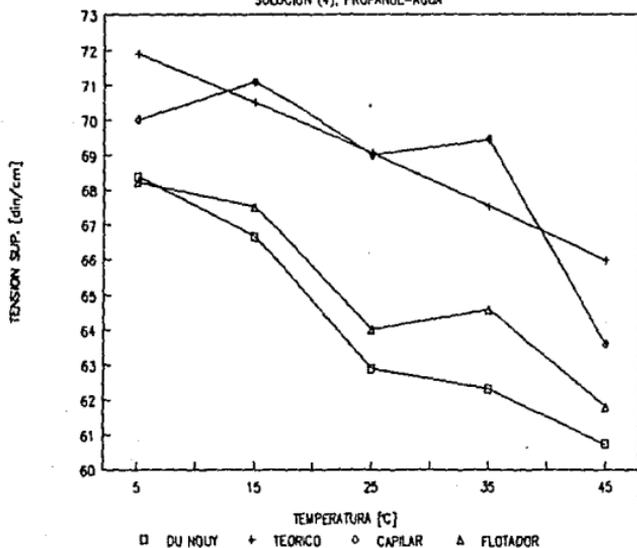
TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-4.87%	0.00%	-2.62%	-5.10%
15	-5.44%	0.00%	0.85%	-4.23%
25	-8.91%	0.00%	-0.06%	-7.29%
35	-7.74%	0.00%	2.82%	-4.39%
45	-7.94%	0.00%	-3.62%	-6.35%
PROMEDIO	-6.98%	0.00%	-0.53%	-5.47%
DESV.EST.	0.02	0.00	0.02	0.01

TABLA 6.28

FIGURA 6.12

COMPARACION DE METODOS

SOLUCION (4), PROPANOL-AGUA



SOLUCIONES

TABLA 6.29

1.5) PROPANOL-AGUA

SOLUCION 5, 0.05M

MEDICION LIQUIDO	TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NOÛY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		
		DENSIDA LIQUIDO	din/cm LECTURA	FACTOR	din/cm REAL	cm LECTURA	din/cm REAL	g (Hg) LECTURA	PESO g TOTAL	din/cm REAL
1	5	0.996810	74.1	0.934821	69.27	2.30	73.02	0.9873	1.3277	70.71
2	5	0.996810	73.3	0.934055	68.47	2.40	76.20	0.9821	1.3225	70.44
3	5	0.996810	74.1	0.934821	69.27	2.30	73.02	0.9847	1.3251	70.58
4	5	0.996810	74.1	0.934821	69.27	2.40	76.20	0.9795	1.3199	70.30
5	5	0.996810	77.0	0.937537	72.14	2.30	73.02	0.9899	1.3303	70.85
			PROMEDIO		69.68		74.29			70.58
1	15	0.994860	73.3	0.934193	68.48	2.20	69.71	0.9665	1.3069	69.61
2	15	0.994860	73.1	0.933973	68.25	2.30	72.88	0.9880	1.3284	70.75
3	15	0.994860	73.2	0.934083	68.36	2.30	72.88	0.9773	1.3177	70.18
4	15	0.994860	73.2	0.934083	68.36	2.30	72.88	0.9558	1.2962	69.04
5	15	0.994860	73.3	0.934193	68.48	2.30	72.88	0.9987	1.3391	71.32
			PROMEDIO		68.39		72.24			70.18
1	25	0.992910	65.7	0.930873	64.93	2.20	69.57	0.8961	1.2365	65.86
2	25	0.992910	70.7	0.931793	65.87	2.20	69.57	0.9695	1.3099	69.77
3	25	0.992910	71.3	0.932366	66.45	2.20	69.57	0.9328	1.2732	67.81
4	25	0.992910	70.5	0.931563	65.63	2.20	69.57	0.8594	1.1998	63.90
5	25	0.992910	70.3	0.931449	65.51	2.20	69.57	1.0062	1.3466	71.72
			PROMEDIO		65.68		69.57			67.81
1	35	0.990960	68.0	0.929247	63.15	2.20	69.44	0.8997	1.2401	66.05
2	35	0.990960	67.8	0.929125	63.03	2.20	69.44	0.8857	1.2261	65.30
3	35	0.990960	67.8	0.929125	63.03	2.20	69.44	0.8927	1.2331	65.68
4	35	0.990960	67.7	0.929002	62.91	2.20	69.44	0.8786	1.2190	64.93
5	35	0.990960	68.4	0.929698	63.61	2.20	69.44	0.9068	1.2472	66.43
			PROMEDIO		63.15		69.44			65.68
1	45	0.989009	63.3	0.924650	58.48	2.10	66.15	0.8585	1.1989	63.85
2	45	0.989009	63.4	0.924781	58.61	2.00	63.00	0.8102	1.1506	61.28
3	45	0.989009	62.2	0.923600	57.47	2.10	66.15	0.8343	1.1747	62.57
4	45	0.989009	64.2	0.925564	59.38	2.10	66.15	0.7851	1.1265	60.00
5	45	0.989009	63.3	0.924650	58.48	2.10	66.15	0.8826	1.2230	65.14
			PROMEDIO		58.49		65.52			62.57

RESUMEN
PROPANOL-AGUA SOLUCION (5)

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	69.68	73.34	74.29	70.58
15	68.39	71.91	72.24	70.18
25	65.68	70.43	69.57	67.81
35	63.15	68.90	69.44	65.68
45	58.49	67.31	65.52	62.57

TABLA 6.30

ERRORES

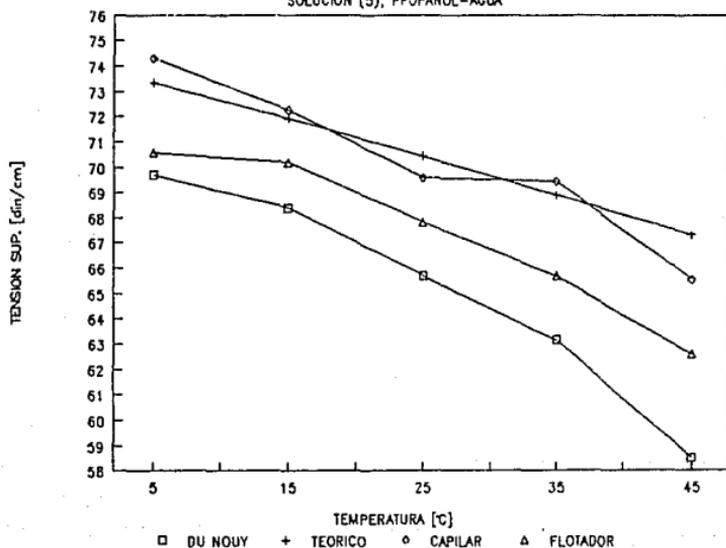
TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-4.98%	0.00%	1.30%	-3.77%
15	-4.90%	0.00%	0.47%	-2.41%
25	-6.75%	0.00%	-1.22%	-3.72%
35	-8.35%	0.00%	0.78%	-4.68%
45	-13.11%	0.00%	-2.66%	-7.05%
PROMEDIO	-7.62%	0.00%	-0.27%	-4.32%
DESV.EST.	0.03	0.00	0.01	0.02

TABLA 6.31

FIGURA 6.13

COMPARACION DE METODOS

SOLUCION (5), PROPANOL-AGUA



SOLUCIONES

TABLA 6.32

2.1) DETERGENTE-AGUA

SOLUCION 1, 1:80 (6g EN 480ml)

TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NOÛY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR			
	DENSIDA LIQUIDO	din/cm	LECTURA	FACTOR	din/cm REAL	cm	din/cm REAL	g (Hg) LECTURA	PESO g TOTAL	din/cm REAL
1	5	1.012360	33.0	0.890210	29.41	0.9	29.02	0.2348	0.5752	30.64
2	5	1.012360	32.8	0.889910	29.17	0.9	29.02	0.2490	0.5894	31.39
3	5	1.012360	32.9	0.890005	29.25	0.9	29.02	0.2491	0.5895	31.40
4	5	1.012360	32.6	0.889711	29.02	0.9	29.02	0.2338	0.5742	30.58
5	5	1.012360	33.0	0.890226	29.42	0.9	29.02	0.2476	0.5880	31.32
				PROMEDIO	29.25		29.02			31.06
1	15	1.008492	32.6	0.889835	29.00	0.8	25.70	0.2284	0.5688	30.29
2	15	1.008492	32.5	0.889710	28.91	0.8	25.70	0.2126	0.5530	29.45
3	15	1.008492	32.6	0.889824	29.00	0.9	28.91	0.2386	0.5790	30.84
4	15	1.008492	32.5	0.889767	28.95	0.9	28.91	0.2205	0.5609	29.87
5	15	1.008492	32.8	0.890042	29.16	0.8	25.70	0.2315	0.5719	30.46
				PROMEDIO	29.00		26.98			30.18
1	25	1.004620	31.2	0.888290	27.71	0.8	25.60	0.1972	0.5376	28.64
2	25	1.004620	32.3	0.889629	28.74	0.8	25.60	0.1903	0.5307	28.26
3	25	1.004620	32.0	0.889265	28.46	0.8	25.60	0.1785	0.5189	27.64
4	25	1.004620	31.9	0.889143	28.36	0.8	25.60	0.1889	0.5293	28.19
5	25	1.004620	31.4	0.888534	27.90	0.8	25.60	0.2091	0.5495	29.27
				PROMEDIO	28.23		25.60			28.40
1	35	1.000748	31.6	0.888927	28.09	0.8	25.50	0.1977	0.5381	28.66
2	35	1.000748	31.4	0.888683	27.90	0.8	25.50	0.1867	0.5271	28.07
3	35	1.000748	31.6	0.888927	28.09	0.8	25.50	0.2013	0.5417	28.85
4	35	1.000748	31.2	0.888437	27.72	0.8	25.50	0.2007	0.5411	28.82
5	35	1.000748	31.2	0.888437	27.72	0.8	25.50	0.1850	0.5254	27.98
				PROMEDIO	27.90		25.50			28.48
1	45	0.996876	30.8	0.888093	27.35	0.8	25.40	0.1715	0.5119	27.27
2	45	0.996876	30.6	0.887847	27.17	0.8	25.40	0.1808	0.5212	27.76
3	45	0.996876	30.7	0.887970	27.26	0.8	25.40	0.1730	0.5134	27.34
4	45	0.996876	30.6	0.887847	27.17	0.8	25.40	0.1539	0.4943	26.33
5	45	0.996876	30.7	0.887970	27.26	0.8	25.40	0.1727	0.5131	27.33
				PROMEDIO	27.24		25.40			27.20

**RESUMEN
DETERGENTE-AGUA SOLUCION (1)**

TEMP.	DU NOÛY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	29.25	29.51	29.02	31.06
15	29.00	29.12	26.98	30.18
25	28.23	28.83	25.60	28.40
35	27.90	28.54	25.50	28.48
45	27.24	28.27	25.40	27.20

TABLA 6.33

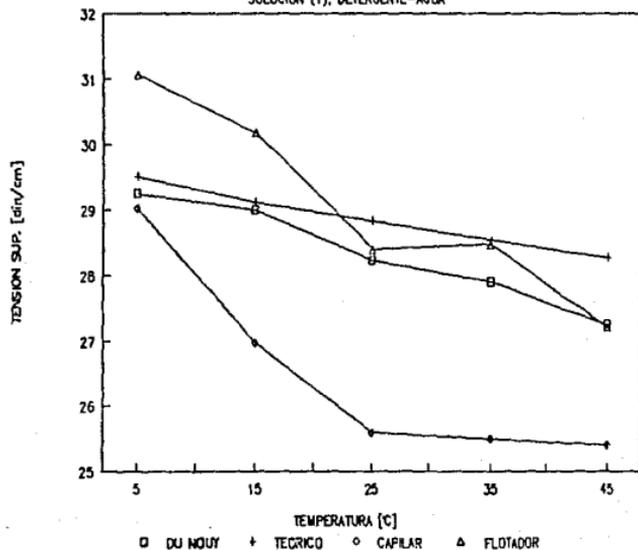
ERRORES

TEMP.	DU NOÛY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-0.87%	0.00%	-1.66%	5.27%
15	-0.40%	0.00%	-7.34%	3.65%
25	-2.07%	0.00%	-11.21%	-1.49%
35	-2.23%	0.00%	-10.66%	-0.22%
45	-3.64%	0.00%	-10.15%	-3.77%
PROMEDIO	-1.84%	0.00%	-8.20%	0.69%
DESV.EST.	0.01	0.00	0.04	0.03

TABLA 6.34

FIGURA 6.14

**COMPARACION DE METODOS
SOLUCION (1), DETERGENTE-AGUA**



SOLUCIONES

TABLA 6.35

2.2) DETERGENTE-AGUA

SOLUCION 2, 1:160 (3g en 480 ml)

MEDICION LIQUIDO	TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NOUY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		
		DENSIDA LIQUIDO	din/cm LECTURA	FACTOR	din/cm REAL	cm LECTURA	din/cm REAL	g (Hg) LECTURA	PESO g TOTAL	din/cm REAL
1	5	1.005684	34.1	0.891754	30.41	0.9	28.83	0.2379	0.5783	30.80
2	5	1.005684	34.2	0.891874	30.50	0.9	28.83	0.2486	0.5890	31.37
3	5	1.005684	34.2	0.891874	30.50	0.9	28.83	0.2414	0.5818	30.99
4	5	1.005684	34.4	0.892113	30.69	0.9	28.83	0.2372	0.5776	30.76
5	5	1.005684	34.1	0.891754	30.41	0.9	28.83	0.2328	0.5732	30.53
				PROMEDIO	30.50		28.83			30.89
1	15	1.002004	33.8	0.891544	30.13	0.8	25.53	0.2344	0.5748	30.62
2	15	1.002004	34.0	0.891784	30.32	0.8	25.53	0.2441	0.5845	31.13
3	15	1.002004	33.9	0.891664	30.23	0.8	25.53	0.2378	0.5782	30.79
4	15	1.002004	33.7	0.891424	30.04	0.8	25.53	0.2224	0.5628	29.97
5	15	1.002004	34.0	0.891784	30.32	0.8	25.53	0.2424	0.5828	31.04
				PROMEDIO	30.21		25.53			30.71
1	25	0.998324	33.5	0.891332	29.86	0.8	25.44	0.2408	0.5812	30.96
2	25	0.998324	32.9	0.890606	29.30	0.8	25.44	0.2535	0.5939	31.63
3	25	0.998324	33.2	0.890969	29.56	0.8	25.44	0.2510	0.5914	31.50
4	25	0.998324	33.4	0.891211	29.77	0.8	25.44	0.2421	0.5825	31.02
5	25	0.998324	33.1	0.890848	29.49	0.8	25.44	0.2382	0.5786	30.82
				PROMEDIO	29.60		25.44			31.19
1	35	0.994644	32.8	0.890632	29.21	0.8	25.34	0.2280	0.5684	30.27
2	35	0.994644	32.8	0.890632	29.21	0.8	25.34	0.2388	0.5792	30.85
3	35	0.994644	32.9	0.890754	29.31	0.8	25.34	0.2122	0.5526	29.43
4	35	0.994644	33.0	0.890875	29.40	0.8	25.34	0.2152	0.5556	29.59
5	35	0.994644	32.8	0.890632	29.21	0.8	25.34	0.2155	0.5559	29.61
				PROMEDIO	29.27		25.34			29.95
1	45	0.990964	31.8	0.889555	28.29	0.7	22.09	0.2181	0.5585	29.75
2	45	0.990964	32.1	0.889923	28.57	0.7	22.09	0.2233	0.5637	30.02
3	45	0.990964	31.8	0.889555	28.29	0.7	22.09	0.2235	0.5639	30.03
4	45	0.990964	31.9	0.889678	28.38	0.7	22.09	0.2087	0.5491	29.24
5	45	0.990964	32.0	0.889801	28.47	0.7	22.09	0.2232	0.5636	30.02
				PROMEDIO	28.40		22.09			29.81

RESUMEN
DETERGENTE-AGUA SOLUCION (2)

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	30.50	30.67	28.83	30.89
15	30.21	30.45	25.53	30.71
25	29.60	30.17	25.44	31.19
35	29.27	30.01	25.34	29.95
45	28.40	29.86	22.09	29.81

TABLA 6.36

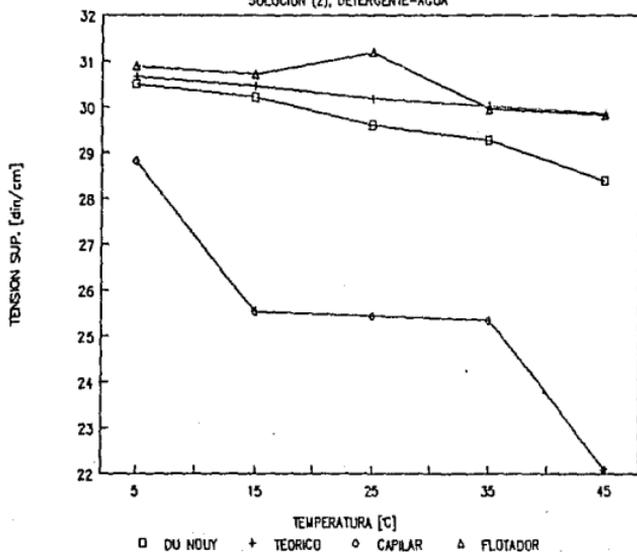
ERRORES

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-0.55%	0.00%	-6.01%	0.72%
15	-0.79%	0.00%	-16.15%	0.86%
25	-1.89%	0.00%	-15.69%	3.37%
35	-2.47%	0.00%	-15.55%	-0.19%
45	-4.89%	0.00%	-26.01%	-0.16%
PROMEDIO	-2.12%	0.00%	-15.88%	0.92%
DESV.EST.	0.02	0.00	0.06	0.01

TABLA 6.37

FIGURA 6.15

COMPARACION DE METODOS
SOLUCION (2), DETERGENTE-AGUA



SOLUCIONES

TABLA 6.38

2.3) DETERGENTE-AGUA SOLUCION 3, 1:320 (1.5g EN 480ml)

112

MEDICION LIQUIDO	TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NOUY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		
		DENSIDA LIQUIDO	din/cm LECTURA	FACTOR	din/cm REAL	cm LECTURA	din/cm REAL	g (Hg) LECTURA	PESO g TOTAL	din/cm REAL
1	5	1.001240	39.0	0.897715	35.01	1.0	31.89	0.3230	0.6634	35.33
2	5	1.001240	39.0	0.897715	35.01	1.0	31.89	0.3297	0.6701	35.69
3	5	1.001240	39.3	0.898063	35.29	1.0	31.89	0.3308	0.6712	35.75
4	5	1.001240	39.1	0.897831	35.11	1.0	31.89	0.3275	0.6679	35.58
5	5	1.001240	39.6	0.898410	35.58	1.0	31.89	0.3177	0.6581	35.05
				PROMEDIO	35.20		31.89			35.48
1	15	0.997722	38.2	0.896942	34.26	1.0	31.78	0.3219	0.6623	35.27
2	15	0.997722	37.6	0.896239	33.70	0.9	28.60	0.3071	0.6475	34.49
3	15	0.997722	38.0	0.896708	34.07	1.0	31.78	0.3306	0.6710	35.74
4	15	0.997722	38.5	0.897293	34.55	0.9	28.60	0.3176	0.6580	35.05
5	15	0.997722	38.0	0.896708	34.07	1.0	31.78	0.3171	0.6575	35.02
				PROMEDIO	34.13		30.51			35.11
1	25	0.994205	36.2	0.894740	32.39	1.0	31.67	0.2945	0.6349	33.82
2	25	0.994205	36.8	0.895451	32.95	1.0	31.67	0.3130	0.6534	34.80
3	25	0.994205	35.9	0.894383	32.11	1.0	31.67	0.2824	0.6228	33.17
4	25	0.994205	35.9	0.894383	32.11	1.0	31.67	0.3112	0.6516	34.70
5	25	0.994205	36.0	0.894502	32.20	1.0	31.67	0.3082	0.6486	34.54
				PROMEDIO	32.35		31.67			34.21
1	35	0.990687	34.5	0.892855	30.80	0.8	25.24	0.2684	0.6088	32.43
2	35	0.990687	35.0	0.893457	31.27	0.8	25.24	0.2863	0.6267	33.38
3	35	0.990687	35.0	0.893457	31.27	0.8	25.24	0.2721	0.6125	32.62
4	35	0.990687	34.9	0.893336	31.18	0.9	28.40	0.2567	0.5971	31.80
5	35	0.990687	35.0	0.893457	31.27	0.8	25.24	0.2702	0.6106	32.52
				PROMEDIO	31.16		25.67			32.55
1	45	0.987171	34.6	0.893124	30.90	0.9	28.30	0.2360	0.5764	30.70
2	45	0.987171	34.7	0.893245	31.00	0.9	28.30	0.2435	0.5839	31.10
3	45	0.987171	33.4	0.891667	29.78	0.9	28.30	0.2523	0.5927	31.57
4	45	0.987171	33.9	0.892276	30.25	0.9	28.30	0.2298	0.5702	30.37
5	45	0.987171	34.2	0.892640	30.53	0.9	28.30	0.2229	0.5633	30.00
				PROMEDIO	30.49		28.30			30.75

RESUMEN
DETERGENTE-AGUA SOLUCION (3)

TEMP.	DU NÔUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	35.20	35.31	31.89	35.48
15	34.13	35.16	30.51	35.11
25	32.35	35.02	31.67	34.21
35	31.16	34.86	25.87	32.55
45	30.49	34.79	28.30	30.75

TABLA 6.39

ERRORES

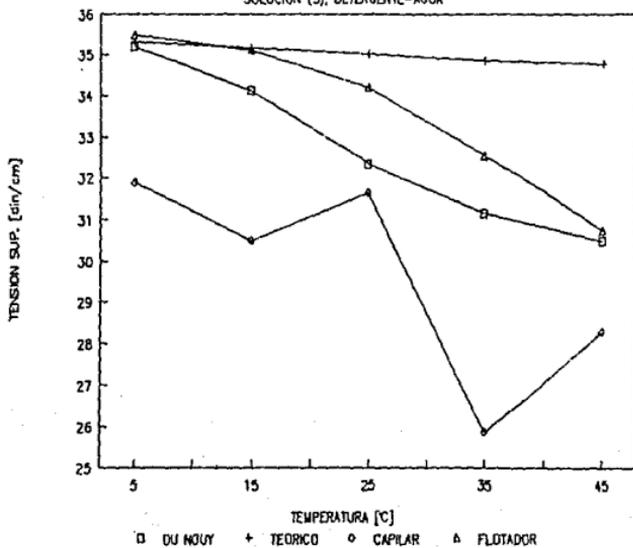
TEMP.	DU NÔUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-0.31%	0.00%	-9.69%	0.48%
15	-2.93%	0.00%	-13.24%	-0.13%
25	-7.62%	0.00%	-9.58%	-2.32%
35	-10.62%	0.00%	-25.78%	-6.63%
45	-12.36%	0.00%	-18.66%	-11.62%
PROMEDIO	-6.77%	0.00%	-15.39%	-4.04%
DES.V.EST.	0.05	0.00	0.06	0.05

TABLA 6.40

FIGURA 6.16

COMPARACION DE METODOS

SOLUCION (3), DETERGENTE-AGUA



SOLUCIONES

TABLA 6.41

2.4) DETERGENTE-AGUA

SOLUCION 4, 1:640 (0.75g EN 480ml)

MEDICION	TEMP.	TENSIMETRO DE DU NOÛY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		
		DENSIDA LIQUIDO	div/cm LECTURA	div/cm FACTOR	div/cm REAL	cm LECTURA	div/cm REAL	g (Hg) LECTURA	PESO g TOTAL	div/cm REAL
1	5	1.002478	40.9	0.899847	36.80	1.0	31.93	0.3716	0.7120	37.92
2	5	1.002478	40.8	0.899733	36.71	1.0	31.93	0.3733	0.7137	38.01
3	5	1.002478	40.8	0.899733	36.71	1.0	31.93	0.3605	0.7009	37.33
4	5	1.002478	40.8	0.899733	36.71	1.0	31.93	0.3834	0.7238	38.55
5	5	1.002478	40.9	0.899847	36.80	1.0	31.93	0.3857	0.7261	38.67
				PROMEDIO	36.75		31.93			38.10
1	15	0.998503	40.7	0.899804	36.62	0.9	28.62	0.3484	0.6888	36.68
2	15	0.998503	40.7	0.899804	36.62	0.9	28.62	0.3310	0.6714	35.76
3	15	0.998503	40.7	0.899804	36.62	0.9	28.62	0.3374	0.6778	36.10
4	15	0.998503	40.7	0.899804	36.62	0.9	28.62	0.3625	0.7029	37.44
5	15	0.998503	40.6	0.899689	36.53	0.9	28.62	0.3559	0.6963	37.09
				PROMEDIO	36.60		28.62			36.61
1	25	0.994528	40.4	0.899645	36.35	1.0	31.68	0.3542	0.6946	36.99
2	25	0.994528	40.6	0.899876	36.53	1.0	31.68	0.3639	0.7043	37.51
3	25	0.994528	40.3	0.899529	36.25	1.0	31.68	0.3503	0.6907	36.79
4	25	0.994528	40.5	0.899760	36.44	1.0	31.68	0.3550	0.6954	37.04
5	25	0.994528	40.5	0.899760	36.44	1.0	31.68	0.3605	0.7009	37.33
				PROMEDIO	36.40		31.68			37.13
1	35	0.990553	40.3	0.899716	36.26	0.9	28.39	0.3741	0.7145	38.05
2	35	0.990553	40.4	0.899832	36.35	0.9	28.39	0.3801	0.7205	38.38
3	35	0.990553	40.4	0.899832	36.35	0.9	28.39	0.3608	0.7012	37.35
4	35	0.990553	40.3	0.899716	36.26	0.9	28.39	0.3835	0.7239	38.56
5	35	0.990553	40.4	0.899832	36.35	0.9	28.39	0.3574	0.6978	37.17
				PROMEDIO	36.32		28.39			37.90
1	45	0.986578	40.0	0.899556	35.98	1.1	34.56	0.3600	0.7004	37.30
2	45	0.986578	40.2	0.899788	36.17	1.1	34.56	0.3605	0.7009	37.33
3	45	0.986578	40.1	0.899672	36.08	1.1	34.56	0.3533	0.6937	36.95
4	45	0.986578	40.1	0.899672	36.08	1.1	34.56	0.3653	0.7057	37.59
5	45	0.986578	40.0	0.899556	35.98	1.1	34.56	0.3597	0.7001	37.29
				PROMEDIO	36.06		34.56			37.29

**RESUMEN
DETERGENTE-AGUA SOLUCION (4)**

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	36.75	36.82	31.93	38.10
15	36.60	36.65	28.62	36.61
25	36.40	36.64	31.68	37.13
35	36.32	36.57	28.39	37.90
45	36.06	36.58	34.56	37.29

TABLA 6.42

ERRORES

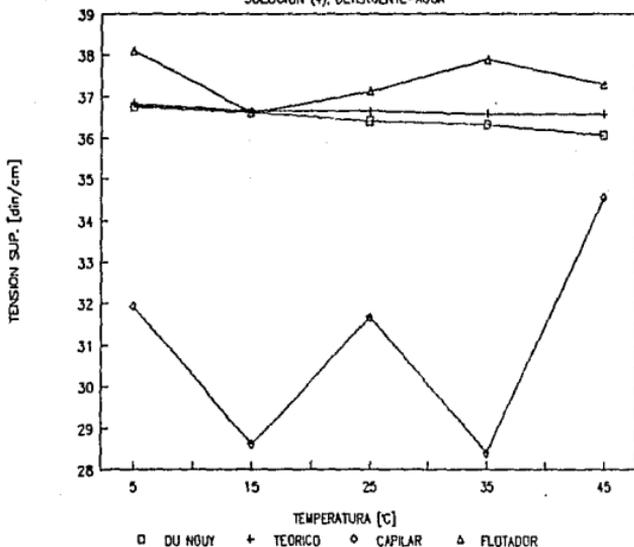
TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-0.20%	0.00%	-13.28%	3.47%
15	-0.13%	0.00%	-21.90%	-0.10%
25	-0.65%	0.00%	-13.55%	1.34%
35	-0.70%	0.00%	-22.36%	3.64%
45	-1.43%	0.00%	-5.51%	1.94%
PROMEDIO	-0.62%	0.00%	-15.32%	2.06%
DESV. EST.	0.00	0.00	0.06	0.01

TABLA 6.43

FIGURA 6.17

COMPARACION DE METODOS

SOLUCION (4), DETERGENTE-AGUA



SOLUCIONES

TABLA 6.44

2.5) DETERGENTE-AGUA

SOLUCION 5, 1:1280 (0.375g EN 480ml)

MEDICION	TEMP. LIQUIDO	TENSIOMETRO DE DU NOÛY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		
		DENSIDA LIQUIDO	din/cm LECTURA	din/cm FACTOR	din/cm REAL	cm LECTURA	din/cm REAL	g (Hg) LECTURA	PESO g TOTAL	din/cm REAL
1	5	1.002338	47.5	0.907250	43.09	1.2	38.31	0.4979	0.8383	44.65
2	5	1.002338	47.5	0.907250	43.09	1.2	38.31	0.4931	0.8385	44.39
3	5	1.002338	47.5	0.907250	43.09	1.2	38.31	0.5057	0.8461	45.06
4	5	1.002338	47.4	0.907140	43.00	1.2	38.31	0.4826	0.8230	43.84
5	5	1.002338	47.5	0.907250	43.09	1.2	38.31	0.4866	0.8270	44.05
				PROMEDIO	43.08		38.31			44.40
1	15	0.998555	47.4	0.907338	43.01	1.2	38.16	0.4796	0.8200	43.67
2	15	0.998555	47.2	0.907117	42.82	1.2	38.16	0.4739	0.8143	43.37
3	15	0.998555	47.3	0.907228	42.91	1.2	38.16	0.4842	0.8246	43.92
4	15	0.998555	47.4	0.907338	43.01	1.2	38.16	0.4825	0.8229	43.83
5	15	0.998555	47.4	0.907338	43.01	1.2	38.16	0.4747	0.8151	43.41
				PROMEDIO	42.95		38.16			43.64
1	25	0.994772	46.9	0.906983	42.54	1.3	41.19	0.4942	0.8346	44.45
2	25	0.994772	47.0	0.907094	42.63	1.3	41.19	0.4993	0.8397	44.72
3	25	0.994772	46.9	0.906983	42.54	1.3	41.19	0.4960	0.8364	44.55
4	25	0.994772	46.8	0.906873	42.44	1.3	41.19	0.4954	0.8358	44.52
5	25	0.994772	46.7	0.906762	42.35	1.3	41.19	0.4976	0.8380	44.64
				PROMEDIO	42.50		41.19			44.57
1	35	0.990984	46.7	0.906960	42.36	1.2	37.88	0.4716	0.8120	43.25
2	35	0.990984	46.7	0.906960	42.36	1.2	37.88	0.4586	0.7990	42.56
3	35	0.990984	46.6	0.906849	42.26	1.2	37.88	0.4543	0.7947	42.32
4	35	0.990984	46.5	0.906737	42.16	1.2	37.88	0.4859	0.8263	44.01
5	35	0.990984	46.4	0.906626	42.07	1.2	37.88	0.4561	0.7965	42.42
				PROMEDIO	42.24		37.88			42.91
1	45	0.987206	45.9	0.906264	41.60	1.2	37.73	0.4730	0.8134	43.32
2	45	0.987206	45.8	0.906152	41.50	1.2	37.73	0.4678	0.8082	43.04
3	45	0.987206	45.9	0.906264	41.60	1.2	37.73	0.4908	0.8312	44.27
4	45	0.987206	45.7	0.906040	41.41	1.2	37.73	0.4569	0.7973	42.46
5	45	0.987206	45.7	0.906040	41.41	1.2	37.73	0.4842	0.8246	43.92
				PROMEDIO	41.50		37.73			43.40

RESUMEN
DETERGENTE-AGUA SOLUCION (5)

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	43.08	43.26	38.31	44.40
15	42.95	43.08	38.16	43.64
25	42.50	42.61	41.19	44.57
35	42.24	42.26	37.88	42.91
45	41.50	41.96	37.73	43.40

TABLA 6.45

ERRORES

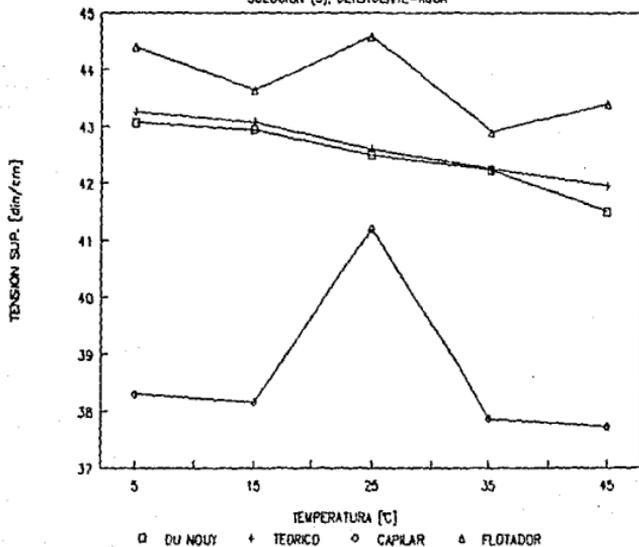
TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-0.43%	0.00%	-11.44%	2.63%
15	-0.30%	0.00%	-11.41%	1.30%
25	-0.26%	0.00%	-3.34%	4.61%
35	-0.05%	0.00%	-10.38%	1.54%
45	-1.09%	0.00%	-10.08%	3.44%
PROMEDIO	-0.43%	0.00%	-9.33%	2.71%
DESV.EST.	0.00	0.00	0.03	0.01

TABLA 6.46

FIGURA 6.18

COMPARACION DE METODOS

SOLUCION (5), DETERGENTE-AGUA



SOLUCIONES

TABLA 6.47

3.1) TWEEN-AGUA

SOLUCION 1 (20.2663g EN 500ml)

TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NOÛY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR			
	DENSIDA	dir/cm	dir/cm	dir/cm	cm	dir/cm	g (Hg)	PESO g	dir/cm	
MEDICION LIQUIDO	LIQUIDO	LECTURA	FACTOR	REAL	LECTURA	REAL	LECTURA	TOTAL	REAL	
1	5	1.007091	47.9	0.907441	43.47	1.2	38.49	0.4893	0.8297	44.19
2	5	1.007091	47.7	0.907222	43.27	1.2	38.49	0.5073	0.8477	45.15
3	5	1.007091	47.8	0.907332	43.37	1.2	38.49	0.4717	0.8121	43.26
4	5	1.007091	47.8	0.907332	43.37	1.2	38.49	0.4730	0.8134	43.32
5	5	1.007091	47.9	0.907441	43.47	1.2	38.49	0.4938	0.8342	44.43
				PROMEDIO	43.39		38.49			44.07
1	15	1.003134	46.9	0.906549	42.52	1.1	35.14	0.4693	0.8097	43.13
2	15	1.003134	46.9	0.906549	42.52	1.1	35.14	0.4714	0.8118	43.24
3	15	1.003134	47.0	0.906659	42.61	1.1	35.14	0.4706	0.8110	43.20
4	15	1.003134	46.8	0.906439	42.42	1.1	35.14	0.4740	0.8144	43.38
5	15	1.003134	46.9	0.906549	42.52	1.1	35.14	0.4799	0.8203	43.69
				PROMEDIO	42.52		35.14			43.32
1	25	0.999177	42.5	0.901828	38.33	1.2	38.19	0.4004	0.7408	39.45
2	25	0.999177	42.7	0.902055	38.52	1.2	38.19	0.4031	0.7435	39.60
3	25	0.999177	42.6	0.901941	38.42	1.2	38.19	0.3887	0.7291	38.83
4	25	0.999177	42.7	0.902055	38.52	1.2	38.19	0.3965	0.7369	39.25
5	25	0.999177	42.4	0.901714	38.23	1.2	38.19	0.4143	0.7547	40.20
				PROMEDIO	38.40		38.19			39.47
1	35	0.995221	39.9	0.899034	35.87	0.9	28.53	0.3459	0.6863	36.55
2	35	0.995221	40.0	0.899150	35.97	0.9	28.53	0.3346	0.6750	35.95
3	35	0.995221	40.1	0.899266	36.06	0.9	28.53	0.3633	0.7037	37.48
4	35	0.995221	39.9	0.899034	35.87	0.9	28.53	0.3341	0.6745	35.93
5	35	0.995221	40.1	0.899266	36.06	0.9	28.53	0.3535	0.6939	36.96
				PROMEDIO	35.97		28.53			36.57
1	45	0.991264	39.2	0.898404	35.22	0.9	28.41	0.3329	0.6733	35.86
2	45	0.991264	39.2	0.898404	35.22	0.9	28.41	0.3204	0.6508	35.20
3	45	0.991264	39.2	0.898404	35.22	0.9	28.41	0.3257	0.6661	35.48
4	45	0.991264	39.1	0.898287	35.12	0.9	28.41	0.3172	0.6576	35.02
5	45	0.991264	39.1	0.898287	35.12	0.9	28.41	0.3514	0.6918	36.84
				PROMEDIO	35.18		28.41			35.68

RESUMEN
TWEEN-AGUA SOLUCION (1)

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	43.39	43.58	38.49	44.07
15	42.52	42.84	35.14	43.32
25	38.40	41.12	38.19	39.47
35	35.97	38.46	28.53	36.57
45	35.18	35.16	28.41	35.68

TABLA 6.48

ERRORES

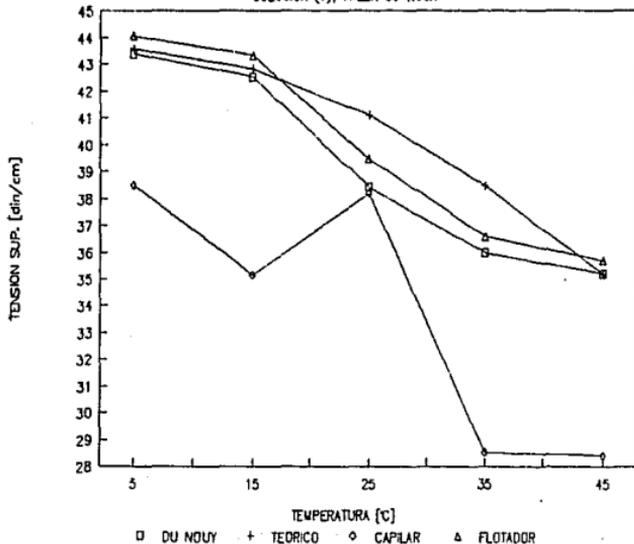
TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-0.44%	0.00%	-11.68%	1.12%
15	-0.75%	0.00%	-17.96%	1.13%
25	-6.61%	0.00%	-7.13%	-4.02%
35	-6.48%	0.00%	-25.82%	-4.90%
45	0.06%	0.00%	-19.18%	1.48%
PROMEDIO	-2.84%	0.00%	-16.36%	-1.04%
DESV.EST.	0.03	0.00	0.06	0.03

TABLA 6.49

FIGURA 6.19

COMPARACION DE METODOS

SOLUCION (1), TWEEN 80-AGUA



SOLUCIONES

TABLA 6.50

3.2) TWEEN-AGUA

SOLUCION 2, (10.1332g EN 500 ml)

MEDICION LIQUIDO	TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NOUY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		
		DENSIDA	din/cm	LECTURA	FACTOR	din/cm	REAL	g (Hg)	PESO g	din/cm
		LIQUIDO	LECTURA	REAL	REAL	cm	LECTURA	REAL	LECTURA	TOTAL	REAL
1	5	1.004502	49.6	0.909425	45.11	1.3	41.59	0.5300	0.8704	46.36
2	5	1.004502	49.3	0.909100	44.82	1.3	41.59	0.5325	0.8729	46.49
3	5	1.004502	49.6	0.909425	45.11	1.3	41.59	0.5141	0.8545	45.51
4	5	1.004502	49.5	0.909317	45.01	1.3	41.59	0.5485	0.8869	47.24
5	5	1.004502	49.3	0.909100	44.82	1.3	41.59	0.5316	0.8720	46.44
				PROMEDIO	44.97		41.59			45.41
1	15	1.000871	46.7	0.906445	42.33	1.2	38.25	0.4595	0.7999	42.60
2	15	1.000871	47.0	0.906776	42.62	1.2	38.25	0.4555	0.7959	42.39
3	15	1.000871	46.5	0.906224	42.14	1.2	38.25	0.4473	0.7877	41.95
4	15	1.000871	46.1	0.905781	41.76	1.2	38.25	0.4502	0.7906	42.11
5	15	1.000871	46.9	0.906666	42.52	1.2	38.25	0.4709	0.8113	43.21
				PROMEDIO	42.27		38.25			42.45
1	25	0.997239	45.9	0.905745	41.57	1.1	34.94	0.4365	0.7769	41.38
2	25	0.997239	45.9	0.905745	41.57	1.1	34.94	0.4382	0.7786	41.47
3	25	0.997239	45.5	0.905300	41.19	1.1	34.94	0.4446	0.7850	41.81
4	25	0.997239	46.6	0.906523	42.24	1.1	34.94	0.4494	0.7898	42.07
5	25	0.997239	45.4	0.905188	41.10	1.1	34.94	0.4387	0.7791	41.50
				PROMEDIO	41.54		34.94			41.64
1	35	0.993604	44.4	0.904251	40.15	1.0	31.65	0.4122	0.7526	40.08
2	35	0.993604	43.8	0.903574	39.58	1.0	31.65	0.4008	0.7412	39.48
3	35	0.993604	43.7	0.903461	39.48	1.0	31.65	0.4055	0.7459	39.73
4	35	0.993604	43.8	0.903574	39.58	1.0	31.65	0.4045	0.7449	39.67
5	35	0.993604	43.7	0.903461	39.48	1.0	31.65	0.4070	0.7474	39.81
				PROMEDIO	39.65		31.65			39.75
1	45	0.989976	40.1	0.899512	36.07	1.0	31.53	0.3564	0.6968	37.11
2	45	0.989976	40.2	0.899628	36.17	1.0	31.53	0.3434	0.6838	36.42
3	45	0.989976	39.7	0.899047	35.69	1.0	31.53	0.3552	0.6956	37.05
4	45	0.989976	39.7	0.899047	35.69	1.0	31.53	0.3565	0.6969	37.12
5	45	0.989976	39.6	0.898930	35.60	1.0	31.53	0.3528	0.6932	36.92
				PROMEDIO	35.84		31.53			36.92

120

RESUMEN
TWEEN-AGUA SOLUCION (2)

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	44.97	45.23	41.59	46.41
15	42.27	43.05	38.25	42.45
25	41.54	42.16	34.94	41.64
35	39.65	40.75	31.65	39.75
45	35.84	39.29	31.53	36.92

TABLA 6.51

ERRORES

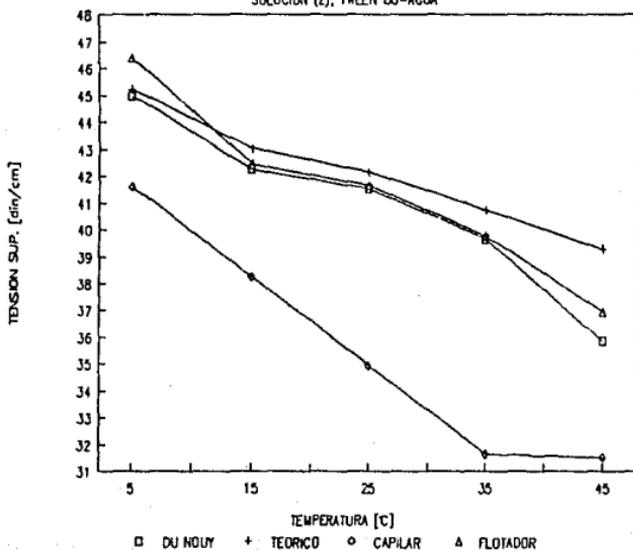
TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-0.57%	0.00%	-8.04%	2.60%
15	-1.80%	0.00%	-11.14%	-1.39%
25	-1.48%	0.00%	-17.13%	-1.22%
35	-2.69%	0.00%	-22.34%	-2.45%
45	-8.77%	0.00%	-19.75%	-6.02%
PROMEDIO	-3.06%	0.00%	-15.68%	-1.69%
DESV.EST.	0.03	0.00	0.05	0.03

TABLA 6.52

FIGURA 6.20

COMPARACION DE METODOS

SOLUCION (2), TWEEN 80-AGUA



SOLUCIONES

TABLA 6.53

3.3) TWEEN-AGUA

SOLUCION 3, (5.0666g EN 500 ml)

MEDICION	TEMP. LIQUIDO	TENSIOMETRO DE DU NOUY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		
		DENSIDA LIQUIDO	din/cm LECTURA	din/cm FACTOR	din/cm REAL	cm LECTURA	din/cm REAL	g (Hg) LECTURA	PESO g TOTAL	din/cm REAL
1	5	1.002981	51.5	0.911555	46.95	1.3	41.53	0.5642	0.9046	48.18
2	5	1.002981	51.6	0.911662	47.04	1.3	41.53	0.5597	0.9001	47.94
3	5	1.002981	51.4	0.911448	46.85	1.3	41.53	0.5665	0.9069	48.30
4	5	1.002981	51.4	0.911448	46.85	1.3	41.53	0.5460	0.8864	47.21
5	5	1.002981	51.3	0.911340	46.75	1.3	41.53	0.5614	0.9018	48.03
				PROMEDIO	46.89		41.53			47.93
1	15	0.999513	49.6	0.909634	45.12	1.2	38.20	0.5177	0.8581	45.71
2	15	0.999513	49.5	0.909585	45.02	1.2	38.20	0.5353	0.8757	46.64
3	15	0.999513	49.5	0.909585	45.02	1.2	38.20	0.5136	0.8540	45.48
4	15	0.999513	49.8	0.909911	45.31	1.2	38.20	0.5264	0.8668	46.17
5	15	0.999513	48.7	0.908713	44.25	1.2	38.20	0.5317	0.8721	46.45
				PROMEDIO	44.95		38.20			46.09
1	25	0.996044	47.6	0.907690	43.21	1.3	41.24	0.4798	0.8192	43.63
2	25	0.996044	47.5	0.907580	43.11	1.3	41.24	0.4640	0.8044	42.84
3	25	0.996044	47.6	0.907690	43.21	1.3	41.24	0.4779	0.8183	43.58
4	25	0.996044	47.6	0.907690	43.21	1.3	41.24	0.4848	0.8252	43.95
5	25	0.996044	47.9	0.908020	43.49	1.3	41.24	0.4972	0.8376	44.61
				PROMEDIO	43.24		41.24			43.72
1	35	0.992576	45.8	0.905874	41.49	1.1	34.77	0.4693	0.8097	43.13
2	35	0.992576	46.2	0.906320	41.87	1.1	34.77	0.4616	0.8020	42.71
3	35	0.992576	45.9	0.905985	41.58	1.1	34.77	0.4674	0.8078	43.02
4	35	0.992576	45.8	0.905874	41.49	1.1	34.77	0.4851	0.8255	43.97
5	35	0.992576	45.3	0.905314	41.01	1.1	34.77	0.4509	0.7913	42.15
				PROMEDIO	41.49		34.77			43.00
1	45	0.989108	44.2	0.904252	39.97	1.0	31.50	0.4316	0.7720	41.12
2	45	0.989108	43.9	0.903913	39.68	1.1	34.65	0.4386	0.7790	41.49
3	45	0.989108	43.6	0.903572	39.40	1.0	31.50	0.4259	0.7663	40.81
4	45	0.989108	44.1	0.904139	39.87	1.0	31.50	0.4331	0.7735	41.20
5	45	0.989108	44.1	0.904139	39.87	1.0	31.50	0.4373	0.7777	41.42
				PROMEDIO	39.76		32.13			41.21

RESUMEN
TWEEN-AGUA SOLUCION (3)

TEMP.	DU NOUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	46.89	46.98	41.53	47.93
15	44.95	45.31	38.20	46.09
25	43.24	44.12	41.24	43.72
35	41.49	43.05	34.77	43.00
45	39.76	42.53	32.13	41.21

TABLA 6.54

ERRORES

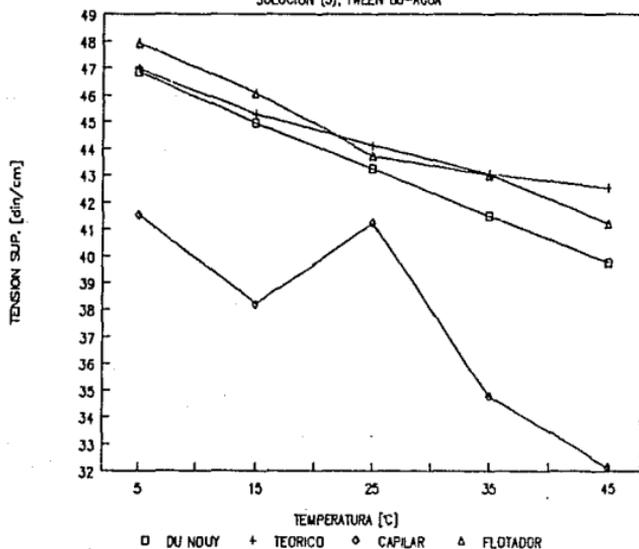
TEMP.	DU NOUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-0.20%	0.00%	-11.60%	2.03%
15	-0.80%	0.00%	-15.69%	1.72%
25	-1.98%	0.00%	-6.52%	-0.90%
35	-3.63%	0.00%	-19.22%	-0.13%
45	-6.52%	0.00%	-24.45%	-3.11%
PROMEDIO	-2.63%	0.00%	-15.50%	-0.08%
DESV.EST.	0.02	0.00	0.06	0.02

TABLA 6.55

FIGURA 6.21

COMPARACION DE METODOS

SOLUCION (3), TWEEN 80-AGUA



SOLUCIONES

TABLA 6.56

3.4) TWEEN-AGUA

SOLUCION 4, (2.5333g EN 500ml)

MEDICION	TEMP.	TENSIOMETRO DE DU NOUY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		
		DENSIDA	din/cm	FACTOR	din/cm	cm	din/cm	g (Hg)	PESO g	din/cm
		LIQUIDO	LECTURA		REAL	LECTURA	REAL	LECTURA	TOTAL	REAL
1	5	1.004715	51.6	0.911566	47.04	1.3	41.60	0.5862	0.9266	49.35
2	5	1.004715	51.7	0.911673	47.13	1.3	41.60	0.6016	0.9420	50.17
3	5	1.004715	51.7	0.911673	47.13	1.3	41.60	0.5766	0.9170	48.84
4	5	1.004715	51.6	0.911566	47.04	1.3	41.60	0.5796	0.9200	49.00
5	5	1.004715	51.8	0.911780	47.23	1.3	41.60	0.5897	0.9301	49.54
			PROMEDIO		47.11		41.60			49.38
1	15	0.999583	50.6	0.910773	46.09	1.3	41.39	0.5387	0.8791	46.82
2	15	0.999583	50.7	0.910881	46.18	1.4	44.57	0.5565	0.8969	47.77
3	15	0.999583	50.7	0.910881	46.18	1.4	44.57	0.5375	0.8779	46.76
4	15	0.999583	50.6	0.910773	46.09	1.3	41.39	0.5504	0.8908	47.44
5	15	0.999583	50.5	0.910665	45.99	1.3	41.39	0.5444	0.8848	47.12
			PROMEDIO		46.10		42.66			47.18
1	25	0.994451	49.4	0.909750	44.94	1.3	41.18	0.5169	0.8573	45.66
2	25	0.994451	49.5	0.909859	45.04	1.3	41.18	0.5325	0.8729	46.49
3	25	0.994451	49.3	0.909641	44.85	1.3	41.18	0.5227	0.8631	45.97
4	25	0.994451	49.5	0.909859	45.04	1.3	41.18	0.5275	0.8679	46.23
5	25	0.994451	49.5	0.909859	45.04	1.3	41.18	0.5178	0.8582	45.71
			PROMEDIO		44.98		41.18			46.01
1	35	0.98931	48.1	0.908600	43.70	1.3	40.96	0.5211	0.8615	45.88
2	35	0.98931	48.5	0.909041	44.09	1.3	40.96	0.5303	0.8707	46.38
3	35	0.98931	48.4	0.908931	43.99	1.3	40.96	0.5318	0.8722	46.45
4	35	0.98931	48.5	0.909041	44.09	1.3	40.96	0.5319	0.8723	46.46
5	35	0.98931	48.5	0.909041	44.09	1.3	40.96	0.5092	0.8496	45.25
			PROMEDIO		43.99		40.96			46.08
1	45	0.984187	46.9	0.907542	42.56	1.3	40.75	0.4715	0.8119	43.24
2	45	0.984187	47.1	0.907765	42.76	1.3	40.75	0.4667	0.8071	42.99
3	45	0.984187	47.1	0.907765	42.76	1.3	40.75	0.4803	0.8207	43.71
4	45	0.984187	47.1	0.907765	42.76	1.3	40.75	0.4729	0.8133	43.32
5	45	0.984187	46.9	0.907542	42.56	1.3	40.75	0.4758	0.8162	43.47
			PROMEDIO		42.68		40.75			43.35

RESUMEN
TWEEN-AGUA SOLUCION (4)

TEMP.	DU NOUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	47.11	47.62	41.60	49.38
15	46.10	45.37	42.66	47.18
25	44.98	44.02	41.18	46.01
35	43.99	43.18	40.96	46.08
45	42.68	42.45	40.75	43.35

TABLA 6.57

ERRORES

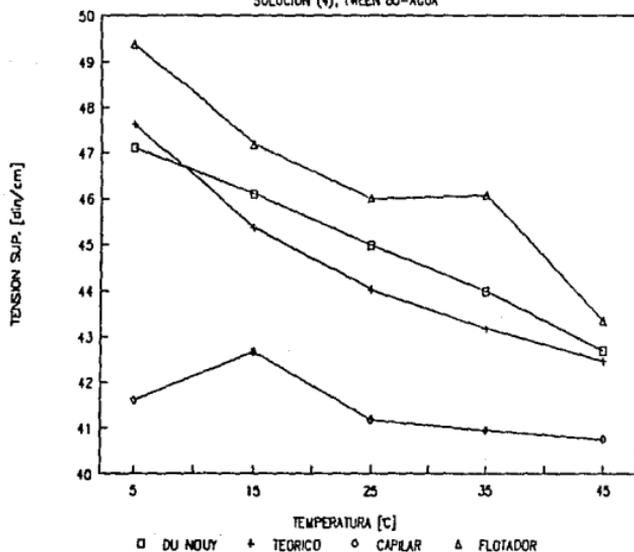
TEMP.	DU NOUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-1.06%	0.00%	-12.64%	3.70%
15	1.62%	0.00%	-5.97%	4.00%
25	2.18%	0.00%	-6.46%	4.53%
35	1.88%	0.00%	-5.14%	6.73%
45	0.54%	0.00%	-4.00%	2.11%
PROMEDIO	1.03%	0.00%	-6.84%	4.21%
DESV.EST.	0.01	0.00	0.03	0.01

TABLA 6.58

FIGURA 6.22

COMPARACION DE METODOS

SOLUCION (4), TWEEN 80-AGUA



SOLUCIONES

TABLA 6.59

3.5) TWEEN-AGUA

SOLUCION 5, (1.2666g EN 500ml)

MEDICION	TEMP.	TENSIMETRO DE DU NÓUY				ASCENSO CAPILAR		FLOTADOR		
		DENSIDA LIQUIDO	din/cm	LECTURA	FACTOR	din/cm	REAL	cm	din/cm	g (Hg)	PESO g	din/cm
1	5	1.001949	53.3	0.913533	48.69	1.4	44.68	0.5860	0.9264	49.34
2	5	1.001949	53.1	0.913320	48.50	1.4	44.68	0.5981	0.9385	49.98
3	5	1.001949	53.0	0.913214	48.40	1.4	44.68	0.5788	0.9192	48.96
4	5	1.001949	53.3	0.913533	48.69	1.4	44.68	0.5898	0.9302	49.54
5	5	1.001949	53.1	0.913320	48.50	1.4	44.68	0.5877	0.9281	49.43
			PROMEDIO		48.56		44.68			49.45
1	15	0.998458	51.9	0.912235	47.35	1.4	44.52	0.5898	0.9302	49.54
2	15	0.998458	52.3	0.912663	47.73	1.4	44.52	0.5938	0.9342	49.76
3	15	0.998458	51.9	0.912235	47.35	1.4	44.52	0.6040	0.9444	50.30
4	15	0.998458	51.9	0.912235	47.35	1.4	44.52	0.6063	0.9467	50.42
5	15	0.998458	52.2	0.912556	47.64	1.4	44.52	0.5757	0.9161	48.79
			PROMEDIO		47.48		44.52			49.76
1	25	0.994967	50.4	0.910810	45.90	1.3	41.20	0.5402	0.8806	46.90
2	25	0.994967	51.1	0.911568	46.58	1.3	41.20	0.5344	0.8748	46.59
3	25	0.994967	50.7	0.911135	46.19	1.3	41.20	0.5558	0.8962	47.73
4	25	0.994967	50.8	0.911243	46.29	1.3	41.20	0.5340	0.8744	46.57
5	25	0.994967	50.7	0.911135	46.19	1.3	41.20	0.5321	0.8725	46.47
			PROMEDIO		46.23		41.20			46.85
1	35	0.991477	49.8	0.910349	45.34	1.3	41.05	0.5319	0.8723	46.46
2	35	0.991477	49.6	0.910130	45.14	1.3	41.05	0.5209	0.8613	45.87
3	35	0.991477	49.6	0.910130	45.14	1.3	41.05	0.5229	0.8633	45.98
4	35	0.991477	49.6	0.910130	45.14	1.3	41.05	0.5352	0.8756	46.63
5	35	0.991477	49.5	0.910021	45.05	1.3	41.05	0.5195	0.8899	47.40
			PROMEDIO		45.16		41.05			46.47
1	45	0.987986	48.0	0.908561	43.61	1.2	37.76	0.4969	0.8373	44.60
2	45	0.987986	48.0	0.908561	43.61	1.2	37.76	0.5022	0.8426	44.88
3	45	0.987986	47.9	0.908450	43.51	1.2	37.76	0.5053	0.8457	45.04
4	45	0.987986	47.9	0.908450	43.51	1.2	37.76	0.4858	0.8262	44.00
5	45	0.987986	47.9	0.908450	43.51	1.2	37.76	0.5074	0.8478	45.16
			PROMEDIO		43.55		37.76			44.74

RESUMEN
TWEEN-AGUA SOLUCION (5)

TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	48.56	49.01	44.68	49.45
15	47.48	48.14	44.52	49.76
25	46.23	47.23	41.20	46.85
35	45.16	46.37	41.05	46.47
45	43.55	45.56	37.76	44.74

TABLA 6.60

ERRORES

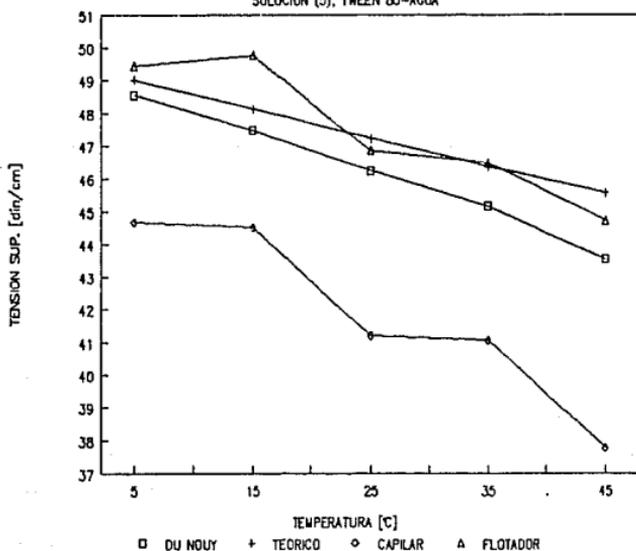
TEMP.	DU NÓUY	TEORICO	CAPILAR	FLOTADOR
5	-0.93%	0.00%	-8.84%	0.90%
15	-1.37%	0.00%	-7.52%	3.37%
25	-2.11%	0.00%	-12.77%	-0.80%
35	-2.61%	0.00%	-11.47%	0.21%
45	-4.40%	0.00%	-17.12%	-1.81%
PROMEDIO	-2.28%	0.00%	-11.54%	0.38%
DESV.EST.	0.01	0.00	0.03	0.02

TABLA 6.61

FIGURA 6.23

COMPARACION DE METODOS

SOLUCION (5), TWEEN 80-AGUA



CONTRASTACION DE METODOS PARA MEDIR LA TENSION SUPERFICIAL

SISTEMA PROPANOL-AGUA

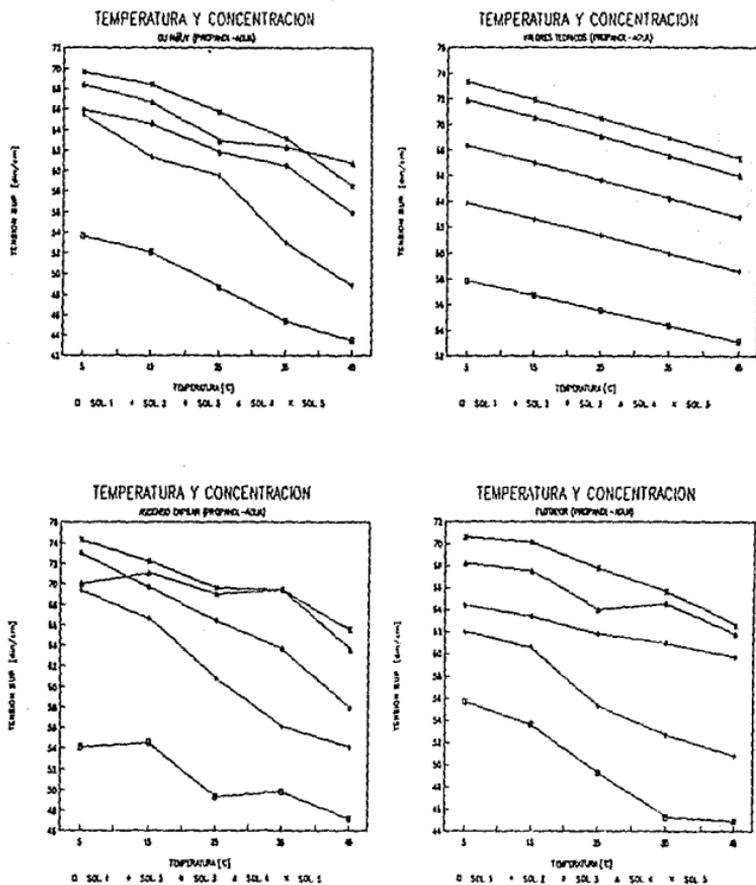


FIGURA 6.24

CONTRASTACION DE METODOS PARA MEDIR LA TENSION SUPERFICIAL

SISTEMA DETERGENTE-AGUA

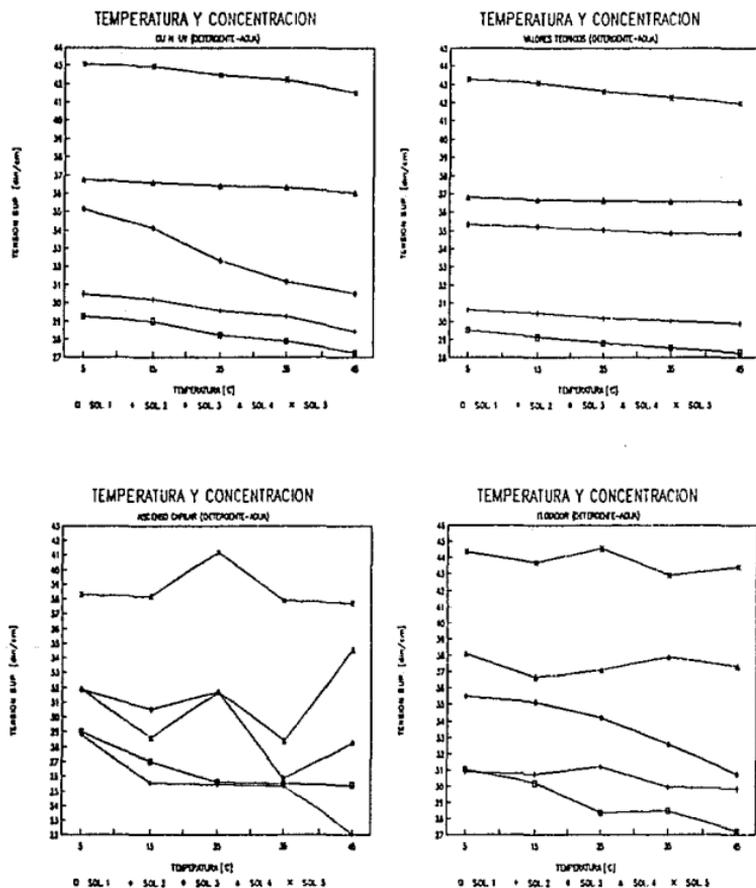


FIGURA 6.25

SISTEMA TWEEN-AGUA

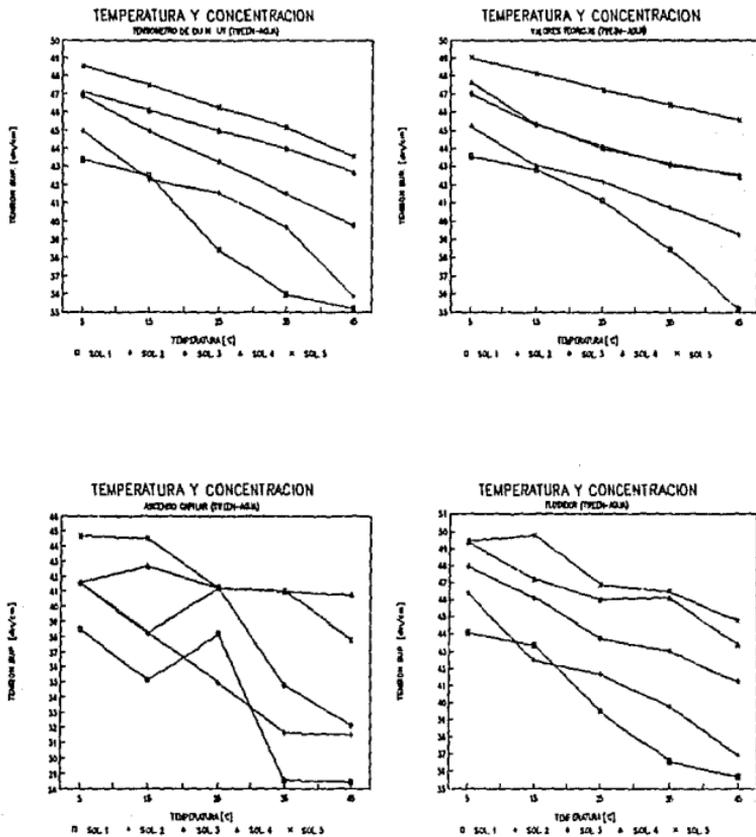


FIGURA 6.26

6.5 OTROS EXPERIMENTOS RELACIONADOS CON EL METODO PROPUESTO.

EXPERIMENTOS ADICIONALES CON EL SISTEMA PROPANOL AGUA

A) PESO Y TEMPERATURA CONSTANTE, CONCENTRACION VARIABLE

PESO DEL FLOTADOR 0.9578 g
 TEMPERATURA 25 °C
 BASE 100 ml AGUA DESTILADA

MUESTRA	ml PROPANOL		MOLARIDAD	T.SUP.		% ERROR
	PROPANOL	DENSIDAD		TEORICA		
1	7.2	0.801436	0.961723	51.01326	49.7755	2.4867%
2	6.8	0.801436	0.908294	51.01326	50.4113	1.1941%
3	6.4	0.801436	0.854865	51.01326	51.0471	-0.0663%
4	7.0	0.801436	0.935008	51.01326	50.0934	1.8363%
5	6.7	0.801436	0.894936	51.01326	50.5702	0.8761%
PROMEDIO	6.82	0.801436	0.910965	51.01326	50.3795	1.2580%
DEV.EST.	0.2713		0.036237		0.4312	

* LAS TENSIONES SUPERFICIALES SUPERIORES A LAS ESPERADAS SE ATTRIBUYEN AL TIEMPO EN QUE SE LOGRA EL EQUILIBRIO EN LA SOLUCION SIN EFECTOS MECANICOS DE AGITACION.

B) PESO Y CONCENTRACION CONSTANTE, TEMPERATURA VARIABLE

PESO DEL FLOTADOR 1.1162 g
 CONCENTRACION 0.1 MOLAR

MUESTRA	TEMP.	T.SUP.			% ERROR
		T.SUP.	TEORICA		
1	67	59.4498	59.3480	0.1715%	
2	59	59.4498	60.2360	-1.3052%	
3	65	59.4498	59.5700	-0.2018%	
4	54	59.4498	60.7910	-2.2062%	
5	72	59.4498	58.7930	1.1171%	
PROMEDIO	63.4	59.4498	59.7476	-0.4984%	
DEV.EST.	6.2801		0.6971		

* AL IGUAL QUE EN EL CASO DE LAS VARIACIONES DE CONCENTRACION, NO SE CONTO CON AGITACION QUE PUDIERA ALTERAR LA SUPERFICIE. DE ESTA MANERA, NO SE FAVORECIO LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION FORZADA.

6.6 DESARROLLO DE LOS MODELOS MATEMATICOS

A través del análisis de resultados para el flotador, se observa un comportamiento aproximadamente lineal de la tensión superficial, para la región analizada de temperaturas y concentraciones, para los tres diferentes sistemas de mezclas. Por esta razón se optó por hacer uso de modelos lineales.

Para el caso particular de este trabajo se utilizó la regresión lineal múltiple para la generación de los modelos. El programa utilizado para el cálculo de los coeficientes y el valor del coeficiente de correlación para los datos se incluye en el anexo 1. Para cada sistema de mezclas se analizó la relación para concentración, temperatura y tensión superficial para 25 tercias de datos.

En el caso de las sustancias puras, una regresión lineal sencilla para temperatura y tensión superficial resulta adecuada para la generación del modelo; sin embargo, el caso de las mezclas resulta mucho más interesante y por este hecho fue el único analizado para la construcción de los modelos que a continuación se presentan.

MODELO MATEMATICO PARA PROPANOL-AGUA

TABLA 6.62

DATOS DE TENSION SUPERFICIAL UTILIZANDO EL FLOTADOR

mol/lit	1	0.5	0.25	0.125	0.0625
TEMP.	1	2	3	4	5
5	55.67	62.01	64.44	68.23	70.58
15	53.62	60.60	63.41	67.51	70.18
25	49.32	55.27	61.82	64.01	67.81
35	45.30	52.64	60.93	64.57	65.68
45	44.94	50.78	59.74	61.79	62.57

MODELO MATEMATICO LINEAL $r = 0.9995348$

$$TS = 72.7145 - 18.4689 (C) - 0.2168399 (T)$$

TEMP.	1	0.5	0.25	0.125	0.0625
5	53.1614	62.3959	67.0131	69.3217	70.4760
15	50.9930	60.2275	64.8447	67.1533	68.3076
25	48.8246	58.0591	62.6763	64.9849	66.1392
35	46.6562	55.8907	60.5079	62.8165	63.9708
45	44.4878	53.7223	58.3395	60.6481	61.8024

ERRORES

TEMP.	1	2	3	4	5
5	4.72%	-0.62%	-3.85%	-1.58%	0.14%
15	5.14%	0.62%	-2.22%	0.53%	2.74%
25	1.01%	-4.80%	-1.36%	-1.50%	2.53%
35	-2.91%	-5.82%	0.70%	2.80%	2.67%
45	1.02%	-5.48%	2.40%	1.89%	1.24%
PROMEDIO	1.80%	-3.22%	-0.86%	0.43%	1.86%
DESV.EST.	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01

donde: TS = Tensión Superficial (din/cm)
 C = Concentración (moles propanol/lit)
 T = Temperatura (°C)

PROPANOL-AGUA

FIGURA 6.27

RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL FLOTADOR

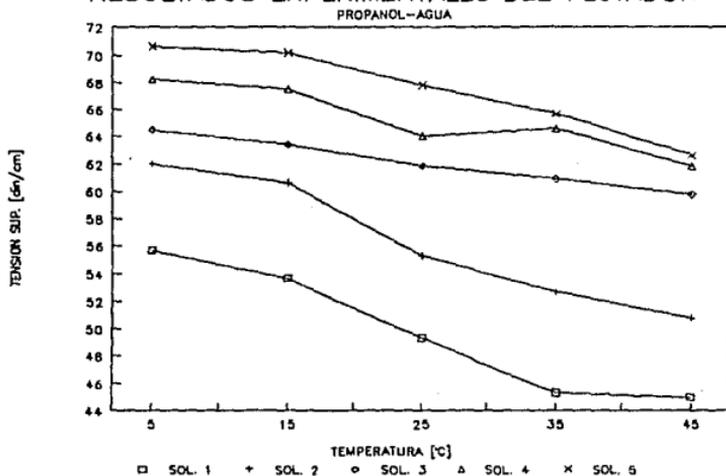
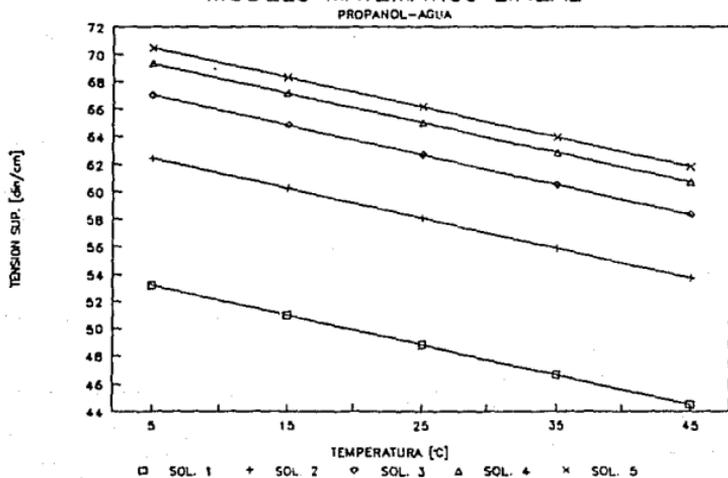


FIGURA 6.28

MODELO MATEMATICO LINEAL



MODELO MATEMATICO PARA DETERGENTE-AGUA

TABLA 6.63

DATOS DE TENSION SUPERFICIAL UTILIZANDO EL FLOTADOR

g/lt	12.5	6.25	3.125	1.5625	0.78125
TEMP.	1	2	3	4	5
5	31.06	30.89	35.48	38.10	44.40
15	30.18	30.71	35.11	36.61	43.64
25	28.40	31.19	34.21	37.13	44.57
35	28.48	29.95	32.55	37.90	42.91
45	27.20	29.81	30.75	37.29	43.40

MODELO MATEMATICO LINEAL $r = 0.9922453$

$$TS = 41.2062 - 1.02366 (C) - 0.0548398 (T)$$

TEMP.	12.5	6.25	3.125	1.5625	0.78125
5	28.1362	34.5341	37.7330	39.3325	40.1322
15	27.5878	33.9857	37.1846	38.7841	39.5838
25	27.0394	33.4373	36.6362	38.2357	39.0354
35	26.4910	32.8889	36.0878	37.6873	38.4870
45	25.9426	32.3405	35.5394	37.1389	37.9386

ERRORES

TEMP.	1	2	3	4	5
5	10.41%	-10.55%	-5.97%	-3.14%	10.63%
15	9.41%	-9.64%	-5.57%	-5.59%	10.25%
25	5.03%	-6.73%	-6.63%	-2.89%	14.19%
35	7.50%	-8.93%	-9.80%	0.57%	11.50%
45	4.86%	-7.82%	-13.48%	0.41%	14.41%
PROMEDIO	7.44%	-8.73%	-8.29%	-2.13%	12.19%
DESV.EST.	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02

donde: TS = Tensión Superficial (din/cm)
 C = Concentración (gramos de detergente/lt)
 T = Temperatura (°C)

DETERGENTE-AGUA

FIGURA 6.29

RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL FLOTADOR DETERGENTE-AGUA

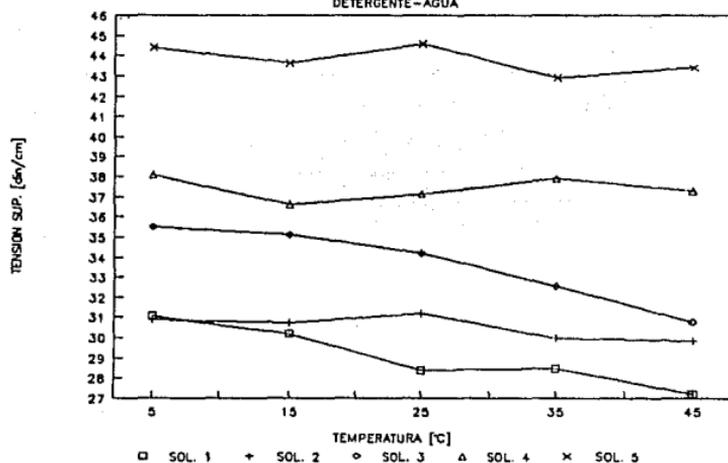
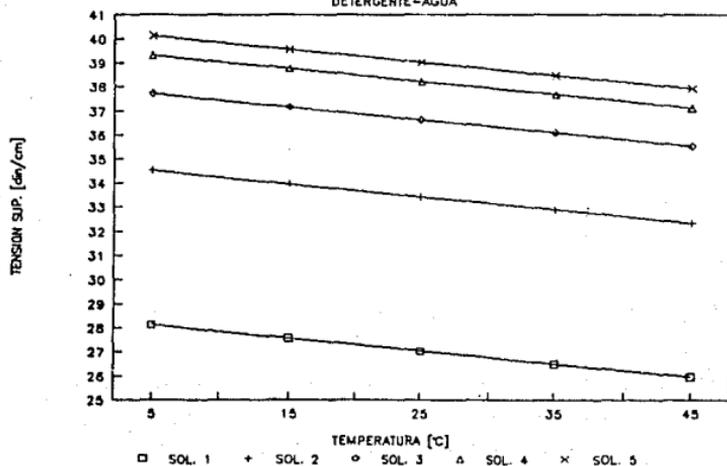


FIGURA 6.30

MODELO MATEMATICO LINEAL DETERGENTE-AGUA



MODELO MATEMATICO PARA TWEEN-AGUA

TABLA 6.64

DATOS DE TENSION SUPERFICIAL UTILIZANDO EL FLOTADOR

g/l	40.5326	20.2663	10.13315	5.0666	2.5333
TEMP.	1	2	3	4	5
5	44.07	46.41	47.93	49.38	49.45
15	43.32	42.45	46.09	47.18	49.76
25	39.47	41.64	43.72	46.01	46.85
35	36.57	39.75	43.00	46.08	46.47
45	35.68	36.92	41.21	43.35	44.74

MODELO MATEMATICO LINEAL $r = 0.99937$

$$TS = 51.3831 - 0.19754 (C) - 0.1752199 (T)$$

TEMP.	40.5326	20.2663	10.13315	5.0666	2.5333
5	42.5003	46.5037	48.5053	49.5061	50.0065
15	40.7481	44.7515	46.7531	47.7539	48.2544
25	38.9959	42.9993	45.0009	46.0017	46.5022
35	37.2437	41.2471	43.2487	44.2495	44.7500
45	35.4915	39.4949	41.4965	42.4973	42.9978

ERRORES

TEMP.	1	2	3	4	5
5	3.69%	-0.21%	-1.18%	-0.25%	-1.11%
15	6.32%	-5.14%	-1.42%	-1.19%	3.12%
25	1.21%	-3.15%	-2.84%	0.02%	0.76%
35	-1.80%	-3.62%	-0.59%	4.15%	3.84%
45	0.53%	-6.51%	-0.70%	2.00%	4.04%
PROMEDIO	1.99%	-3.72%	-1.34%	0.94%	2.13%
DESV.EST.	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02

donde: TS = Tensión Superficial (din/cm)
 C = Concentración (gramos de TWEEN 80/lit)
 T = Temperatura (°C)

TWEEN 80-AGUA

FIGURA 6.31

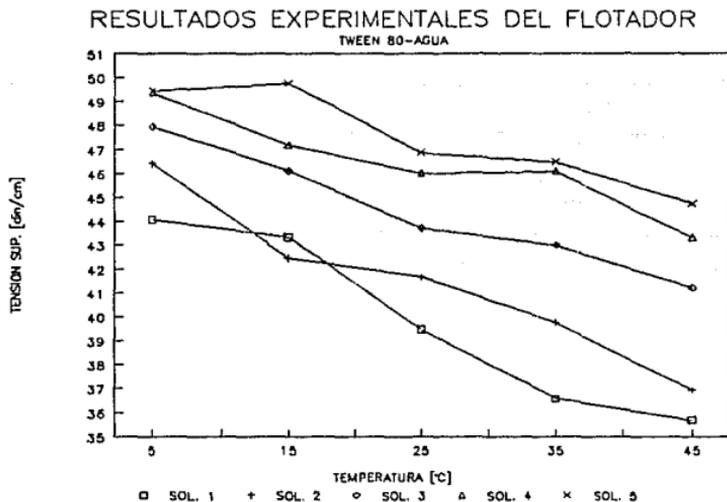
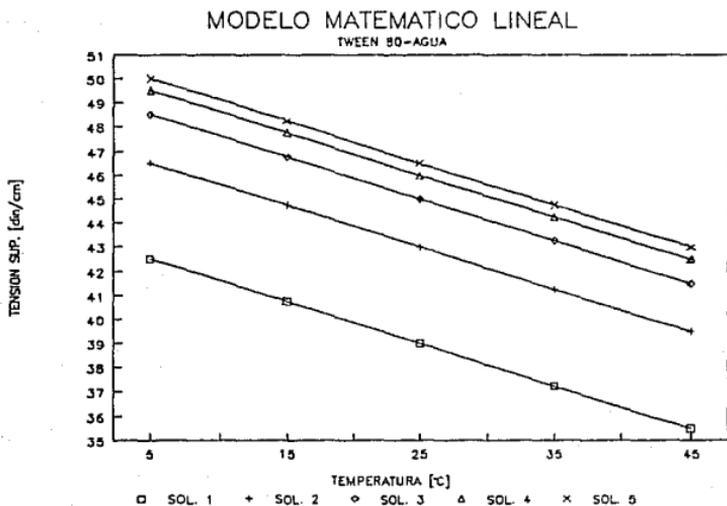


FIGURA 6.32



CAPITULO VII

CONCLUSIONES

Después de haber analizado los resultados, es posible afirmar que el método propuesto en este trabajo funciona, y resulta una herramienta adecuada para la medición de la tensión superficial de una gran cantidad de líquidos puros y sistemas de mezclas de varias sustancias. La ecuación, propuesta para el cálculo, involucra como variables experimentales el perímetro del flotador, que permanece básicamente constante, y el peso del flotador más el del lastre (mercurio) utilizado para lograr el hundimiento que determina el rompimiento del equilibrio de las fuerzas de tensión. La expresión queda entonces como:

$$TS = (g * w) / (2 * p)$$

dónde:

TS = Tensión Superficial (din/cm)

g = Aceleración por efecto de la gravedad (cm/seg²)

P = Perímetro del flotador (cm)

w = Peso sumado del flotador y el mercurio (g)

El error intrínseco del método, como fue demostrado en la sección de resultados experimentales, corresponde como máximo al 5.22% por lo que solamente se menciona como

referencia y se omite en los resultados por su bajo impacto. Las comparaciones entre el método propuesto y otros métodos experimentales (tensiómetro de Du Nöuy y Ascenso Capilar) muestran resultados muy favorables para el flotador; siendo este más consistente y confiable que el ascenso capilar (7.9% promedio de variación) y la aproximación a los resultados obtenidos con el tensiómetro de Du Nöuy es muy buena (1.2% promedio de variación) según se corrobora en la información gráfica.

El comportamiento del flotador totalmente sensible a los cambios de tensión superficial del líquido sobre el que se encuentre depositado; sin embargo, por su misma construcción, resulta muy difícil la lectura de tensiones superficiales muy bajas (menores a 30 din/cm) siendo imposible lograr la estabilidad por debajo de 25 din/cm donde el hundimiento se produce, inevitablemente, sin necesidad de aplicar la carga extra del mercurio.

Los mejores resultados fueron alcanzados haciendo uso de un flotador rectangular de 9.2 cm de perímetro con un popote, como receptáculo, de 1 cm de altura sellado con silicón.

Al trabajar con el aceite, se observó un retraso en la respuesta del dispositivo debido a la mayor viscosidad; esto último se traduce en una mayor variabilidad en los resultados obtenidos. El método no resulta adecuado para

líquidos con viscosidades superiores a los 60 cp. En cuanto a los rangos de temperatura, no se encontraron restricciones; aunque cabe aclarar que el rango aplicado durante la experimentación no fue muy amplio (5 - 70°C).

A partir de la experiencia, se pudo comprobar que un número menor a 5 lecturas, para la determinación de un valor de tensión superficial, resulta poco representativo. Se recomienda entonces un mínimo de 5 lecturas para considerar el promedio de las mismas como el valor adecuado para evaluar la tensión superficial.

La construcción del flotador resulta muy importante ya que una pobre estabilidad; es decir, lastre aplicado lejos del centroide del cubreobjetos o fugas en el sello, repercuten en desviaciones importantes al suscitarse hundimientos prematuros.

La aplicación del lastre debe de ser cuidadosamente dosificada para lograr gotas de mercurio uniformes, un depósito con una distribución homogénea y centrada; y finalmente para poder apreciar con precisión el momento en que se produce el hundimiento por el rompimiento de la tensión superficial.

Los experimentos con variación de la composición a peso constante, agitación mecánica, baños de microondas e

incrementos de temperatura por calentamiento directo a composición constante resultan otras formas para comprobar el funcionamiento correcto del método propuesto.

Quizás la parte más relevante de los resultados alcanzados esta en el hecho de que se puede presentar un método confiable, con un costo extremadamente bajo, y con una aplicación altamente didáctica que reside en su simplicidad.

Los modelos matemáticos lineales, obtenidos para los tres sistemas de mezclas, resultaron adecuados y representativos tanto de la realidad como de la respuesta teórica esperada. Las ecuaciones generadas describen comportamientos que van en línea con otros modelos teóricos disponibles. Utilizando el flotador, es posible valorar las distintas constantes, características de cada compuesto o mezcla, necesarias para el desarrollo de la ecuación lineal general que a continuación se plantea:

$$TS = X_1 + X_2 * (C) + X_3 * (T)$$

donde:

S = Tensión Superficial

C = Concentración (sólo aplica en caso de mezclas)

T = Temperatura

X_i = Constantes particulares de cada sistema

Las constantes particulares se evalúan a partir de los datos experimentales de tensión superficial a diferentes temperaturas y concentraciones. Para mezclas, es necesario contar con un mínimo de 4 tercias de datos; mientras que para sustancias puras, las dos únicas constantes (X_1 y X_3 , $X_2=0$) pueden ser evaluadas a partir de únicamente dos pares de datos de temperatura y tensión superficial; sin embargo, la precisión del modelo será mayor en cuanto el número de datos utilizados para la evaluación de las constantes sea mayor. Otro factor que puede alterar la confiabilidad del modelo reside en los rangos de temperaturas y concentraciones utilizados, siendo lógico esperar que a mayores rangos, mayor variación respecto a la respuesta real. Cabe recordar que para evaluar estas constantes, se puede hacer uso del programa para regresión lineal multivariable, anexo.

La aplicación más recomendada está en el laboratorio de enseñanza de fenómenos de superficie, debido a que la tensión superficial se convierte en algo tangible y al alcance de todos los que observan la respuesta del flotador.

ANEXO 1

PROGRAMA PARA REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE CÁLCULO DE COEFICIENTES DE LOS MODELOS

PROGRAMA ELABORADO POR J.A.PARRA Y Z.CASTRO
DISEÑADO PARA CORRER EN BASIC

```

50 INPUT "NÚMERO DE VARIABLES";A
60 INPUT "NÚMERO DE DATOS";B
70 DIM C(B,A+1),D(A+1,A+1),X(A+1,A+1)
80 FOR I=1 TO A+1
90 FOR J=1 TO B
100 IF I=1 THEN 130
110 PRINT "VARIABLE";I-1;" DATO";J;:INPUT C(J,I)
120 GOTO 140
130 C(J,I)=1
140 NEXT J:NEXT I
150 FOR I=1 TO A+1
160 FOR J=1 TO A+1
170 FOR K=1 TO B
180 D(I,J)=D(I,J)+C(K,I)*C(K,J):X(I,J)=D(I,J)
190 NEXT K:NEXT J:NEXT I
200 FOR I=1 TO A: E=X(I,I)
210 FOR L=1 TO A+1
220 X(I,L)=X(I,L)/E
230 NEXT L
240 FOR J=1 TO A: E=X(J,I)
250 FOR K=1 TO A+1
260 IF J=1 THEN 180
270 X(J,K)=E*(-X(I,K))+X(J,K)
280 NEXT K:NEXT J:NEXT I
290 FOR I=1 TO A
300 PRINT "COEFICIENTE(";I;)"=";X(I,A+1)
310 NEXT I
320 FOR I=1 TO A
330 R=X(I,A+1)*D(I,A+1)+R
340 NEXT I
350 R=(R-1/D(1,1)*D(1,A)^2)/2(D(A+1,A+1)-1/D(1,1)*D(1,A)^2)
360 PRINT "R=";(R)^(1/2)
370 END

```

BIBLIOGRAFIA

- (01) Adam, N.K..- "THE PHYSICS & CHEMISTRY OF SURFACES".- Dover, Publications Inc..- N.Y., 1968.
- (02) Adamson, A.W..- "PHYSICAL CHEMISTRY OF SURFACES".- 3rd. Edition.- John Wiley & Sons.- N.Y., 1976.
- (03) Andrews, V.C..- "PETALS ON THE WIND".- Pocket Books.- N.Y., 1980.
- (04) Atkins, P.W..- "FISICOQUIMICA".- Fondo Educativo Interamericano.- México, 1986.
- (05) Bikerman, J.J..- "SURFACE CHEMISTRY. THEORY AND APPLICATIONS".- Academic Press Inc. Publishers.- N.Y., 1958.
- (06) Cornejo, M.A..- "EL SER EXCELENTE".- Editorial Grad..- 2a. Edición.- Mexico, 1991.
- (07) Edgar, T.F. & Himmelblau, D.M..- "OPTIMIZATION OF CHEMICAL PROCESSES".- Mc. Graw Hill.- U.S.A., 1989.
- (08) Fernández, J.S..- "RECOPIACION DE METODOS PARA LA ESTIMACION DE LA TENSION SUPERFICIAL".- U.N.A.M..- Tesis de Ing. Química.- México, 1970.
- (09) Gawbill, W.R..- Chem.Eng..- Apr.07, 1958.- "SURFACE TENSION FOR PURE LIQUIDS".
- (10) Gawbill, W.R..- Chem.Eng..- May.05, 1958.- "SURFACE TENSION FOR PURE LIQUIDS".
- (11) Glasston, S..- "TRATADO DE QUIMICA-FISICA".- Aguilar, S.A. de Ediciones.- España, 1953.
- (12) Gold, I.P..- Chem.Eng..- May.19, 1969.- "ESTIMATING THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF LIQUIDS (PART VIII, SURFACE TENSION)".
- (13) Gordillo, B.R..- "TENSION SUPERFICIAL E INTERFACIAL DE LIQUIDOS".- I.P.N..- Tesis de Ing. Química.- México, 1983.

(14) Harkins, W.D. & Alexander, A.E.- "PHYSICAL METHODS FOR ORGANIC CHEMISTRY (SURFACE AND INTERFACIAL TENSIONS)".- Weiss Berger.- Vol. I.

(15) Heat Transfer & Fluid Flow Service.- "HTFS HANDBOOK".- PD6: Surface Tension of Pure Fluids.

(16) Himmelblau, D.M.- "PRINCIPIOS Y CALCULOS BASICOS DE LA INGENIERIA QUIMICA".- Cia. Editorial Continental.- México, 1989.

(17) Holman, J.P.- "METODOS EXPERIMENTALES PARA INGENIEROS".- 4a. Edición.- Mc. Graw Hill.- México, 1990.

(18) Jasper, J.J.- (1972), "THE SURFACE TENSION OF PURE LIQUID COMPOUNDS".- J.Phys.Chem.- Ref. Data, Vol. 1, pp. 841-1009.

(19) Kaveeshwar, S.N. & Agrawal, R.M.- Vikram, J. Vikram Univ., 3, Nol; pp 97,98. (1959). Chem.Abstr. V.54,9411b. "SIMPLIFIED METHOD OF CALCULATION OF PARACHORS IN SOLUTION".

(20) Kundt, Ann. Physic, 12, 538 (1881).

(21) Lu, W.C., John, M.S., Ree, T. & Eyring, H.- (1967), "SIGNIFICANT STRUCTURE THEORY APPLIED TO SURFACE TENSION".- J.Chem.Phys. Vol. 46, No. 5, pp. 1075-1081.

(22) Mc-Allister, R.A. & Howard, K.S.- Ind.Eng.Chem., 41:2782 (1949).

(23) Meissner, H.P. & Michaels, A.S.- (1949).- Ind.Eng.Chem., 41:2782.

(24) Mendenhall, W. & Scheaffer, R.L.- "ESTADISTICA MATEMATICA CON APLICACIONES".- Gpo. Editorial Iberoamérica.- México, 1988.

(25) Michael, A.S., Alexander, R.S. & Becker, C.L.- Ind.Eng.Chem. 42,11,2332.- (1950).- "ESTIMATION OF SURFACE TENSION".

(26) Mitra, S.S. & Srivastava.- J.Chem.Phys., 22, pp. 1134-1135 (1954).- "DEPENDANCE OF SURFACE TENSION ON TEMPERATURE".

(27) Mitra, S.S. & Sanyal, N.K.- J.Chem.Phys., 23, p. 1737 (1955).- "SURFACE TENSION TEMPERATURE RELATION".

(28) Mosqueira, Y.P.- "TENSION SUPERFICIAL DE LIQUIDOS SIMPLES EN EL MODELO UNIFORME DEL ESTADO LIQUIDO".- U.N.A.M.- Tesis de Ing. Química.- México, 1969.

(29) Othmer, O.F., Fowitz, J. & Schmutzler, Q.F.-
Ind.Eng.Chem., 40, p. 886 (1948).- "CORRELATING SURFACE
TENSION OF LIQUIDS".

(30) Perry R.H. & Green, D.- "PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS'
HANDBOOK".- Mc. Graw Hill.- 6th. Edition.- U.S.A., 1984.

(31) Reid, Prausnitz & Poling.- "PROPERTIES OF LIQUIDS
& GASES".- 4th Edition.- Mc. Graw Hill.- U.S.A., 1987.

(32) Shaw, D.- "INTRODUCTION TO COLOID & SURFACE
CHEMISTRY".- Ed; Bulterworths.- 1970.

(33) Smith, W.A.- "ANALISIS NUMERICO".- Prentice Hall.-
México, 1988.

(34) Sudgen,- "THE PARACHOR AND VALENCY".- Routledge.- 1930

(35) Toral, M.T.- "FISICOQUIMICA DE SUPERFICIES Y SISTEMAS
DISPERSOS".- 1a. Edición.- Ed. Urmo.- España, 1973.

(36) Torre, N.E.- "MODIFICACION AL METODO DE HARKINS Y BROWN
PARA LA DETERMINACION DE LA TENSION SUPERFICIAL".- U.N.A.M.-
Tesis de Ing. Química.- México, 1969.

(37) Wright, F.J.- (1961), "CORRELATION BETWEEN SURFACE
TENSION AND OTHER PHYSICAL PROPERTIES".- J.Appl.Chem., Vol.
II, June, pp. 193-196.