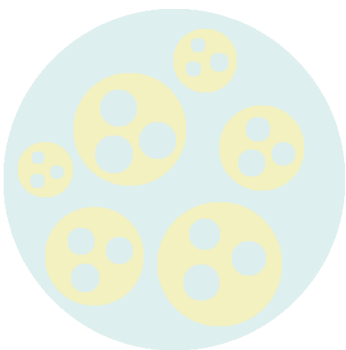




[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)



## ESTUDIO DE LA ESTABILIDAD DE LAS EMULSIONES MÚLTIPLES

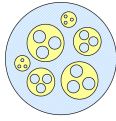
---

Proyecto de grado presentado por:  
Elisa Ramírez Catapano  
Tutor Prof. Antonio Cárdenas  
Escuela de Ingeniería Química  
Universidad de los Andes  
Mérida 2009, Venezuela

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**Gracias a mi Tutor, el prof. Antonio Cárdenas  
por su guía constante y optimista,  
y al apoyo técnico de  
Yajaira Araque y  
Julio Hernandez.**

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

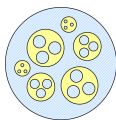


# ÍNDICE

Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

## ÍNDICE GENERAL

Índice General .....	i
Índice de Tablas .....	iii
Índice de Figuras .....	v
<hr/>	
Resumen .....	.vii
<hr/>	
Introducción .....	1
Objetivos .....	3
Capítulo I. EMULSIONES .....	5
I.1 ¿Qué son Emulsiones? .....	6
I.2 Tipos de Emulsiones .....	6
I.3 Obtención de Emulsiones .....	7
1.3.1 Agente Emulsionante .....	8
1.3.2 Variables de Formulación .....	9
1.3.2.1 Balance Hidrofílico-Lipofílico (HLB) .....	10
1.3.2.2 Teoría R de Winsor .....	11
1.3.2.3 Diferencia de Afinidad del Surfactante (SAD) .....	13
1.3.2.4 Barridos de Formulación .....	15
1.3.3 Variables de Composición .....	16
1.3.2.1 Relación Agua-Aceite (WOR) .....	16
1.3.4 Factores Fluomecánicos .....	18
I.4 Propiedades de las Emulsiones .....	18
1.4.1 Conductividad .....	18
1.4.2 Viscosidad .....	19
1.4.3 Estabilidad .....	20
Capítulo II. EMULSIONES MÚLTIPLES .....	22
II.1 Membranas .....	23
II.2 Membranas Líquidas .....	25
II.3 Membranas Líquidas emulsionadas o Emulsiones Múltiples .....	26
II.4 Tipos de Emulsiones Múltiples .....	27



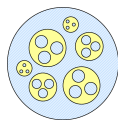
## ÍNDICE

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

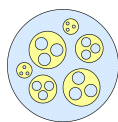
<b>II.5</b>	<b>Obtención de Emulsiones Múltiples</b> .....	<b>27</b>
II.5.1	Método de Inversión .....	27
II.5.2	Método de dos pasos .....	28
<b>II.6</b>	<b>Aplicaciones</b> .....	<b>30</b>
II.6.1	Separación .....	30
II.6.2	Liberación controlada .....	32
II.6.3	Transportadores .....	33
II.6.4	Problemas en el uso de Emulsiones Múltiples .....	35
<b>II.7</b>	<b>Estabilidad de las Emulsiones Múltiples</b> .....	<b>35</b>
II.7.1	Rompimiento de la membrana líquida .....	36
II.7.2	Coalescencia .....	36
<b>Capítulo III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA RECIENTE</b> .....		<b>37</b>
<b>Capítulo IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL</b> .....		<b>41</b>
IV.1	Materiales y Equipos .....	42
IV.2	Procedimiento .....	45
<b>Capítulo V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....		<b>53</b>
<b>Conclusiones</b> .....		<b>73</b>
<b>Referencias</b> .....		<b>75</b>
<b>Anexos</b> .....		<b>79</b>

---



### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla I.1</b> HLB de algunos surfactantes noiónicos.....	10
<b>Tabla I.2</b> Relación entre R de Winsor y SAD.....	14
<b>Tabla IV.1</b> Características de las emulsiones múltiples preparadas para el estudio de su estabilidad en función del tiempo.....	49
<b>Tabla IV.2</b> Características de los barridos de formulación realizados.....	50
<b>Tabla V.1</b> Comportamiento de fase observado en los barridos de formulación. ...	71
<b>Tabla A.1</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema I.....	81
<b>Tabla A.2</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema II.....	82
<b>Tabla A.3</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema III.....	83
<b>Tabla A.4</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema IV.....	84
<b>Tabla A.5</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema V.....	85
<b>Tabla A.6</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema VI.....	86
<b>Tabla A.7</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema VII.....	87
<b>Tabla A.8</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema VIII.....	88
<b>Tabla A.9</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema IX.....	89
<b>Tabla A.10</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema X.....	90
<b>Tabla A.11</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema XI.....	91
<b>Tabla A.12</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema XII.....	92
<b>Tabla A.13</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema XIII.....	93
<b>Tabla A.14</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema XIV.....	94
<b>Tabla A.15</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema XV.....	95
<b>Tabla A.16</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema XVI.....	96
<b>Tabla A.17</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema XVII.....	97
<b>Tabla A.18</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema XVIII.....	98
<b>Tabla A.19</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema XIX.....	99
<b>Tabla A.20</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema XX.....	100
<b>Tabla A.21</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema XXI.....	101
<b>Tabla A.22</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema XXII.....	102
<b>Tabla A.23</b> Conductividad en función del tiempo para el Sistema XXIII.....	103
<b>Tabla A.24</b> Conductividad en función de la temperatura para el Sistema X.....	104
<b>Tabla A.25</b> Distribución de vol. para el barrido de HLB en el Sistema Uno.....	106



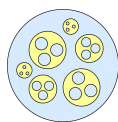
## ÍNDICE

Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

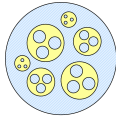
<b>Tabla A.26</b> Distribución de vol. para el barrido de HLB en el Sistema Dos. . . . .	107
<b>Tabla A.27</b> Distribución de vol. para el barrido de HLB en el Sistema Tres. . . . .	108
<b>Tabla A.28</b> Distribución de vol. para el barrido de HLB en el Sistema Cuatro. . . . .	109
<b>Tabla A.29</b> Distribución de vol. para el barrido de HLB en el Sistema Cinco. . . . .	110
<b>Tabla A.30</b> Distribución de vol. para el barrido de HLB en el Sistema Dos con TBP. . . . .	111
<b>Tabla A.31</b> Distribución de vol. para el barrido de HLB en el Sistema Tres con TBP. . . . .	112
<b>Tabla A.32</b> Distribución de vol. para el barrido de HLB en el Sistema Cuatro con TBP. . . . .	113
<b>Tabla A.33</b> Distribución de vol. para el barrido de HLB en el Sistema Dos con DEHPA. . . . .	114
<b>Tabla A.34</b> Distribución de vol. para el barrido de HLB en el Sistema Tres con DEHPA. . . . .	115
<b>Tabla A.35</b> Distribución de vol. para el barrido de HLB en el Sistema Cuatro con DEHPA. . . . .	116

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)



### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura I.1</b> Tipo de Emulsiones. ....	6
<b>Figura I.2</b> Formulas desarrolladas de algunos surfactantes corrientes. ....	9
<b>Figura I.3</b> Tipos de diagramas ternarios de Winsor. ....	12
<b>Figura I.4</b> Evolución de un diagrama ternario en un barrido de formulación. ....	15
<b>Figura I.5</b> Diagrama del HLD vs. Composición de agua y aceite de un sistema SOW. ....	17
<b>Figura I.6</b> Fracción de volumen coalescido o clarificado en función del tiempo. ....	21
<b>Figura II.1</b> Esquema de una membrana 100% selectiva. ....	23
<b>Figura II.2</b> Clasificación de las membranas en función de los criterios Naturaleza, Estructura y Tipo de transporte que realizan. ....	24
<b>Figura II.3</b> Membrana líquida en tipo “bulk” ....	25
<b>Figura II.4</b> Membrana líquida soportada ....	26
<b>Figura II.5</b> Tipo de Emulsiones Múltiples ....	27
<b>Figura II.6</b> Método de dos pasos para la obtención de una emulsión $W_1/O/W_2$ . ....	29
<b>Figura II.7</b> Extracción de un metal con membranas líquidas emulsionadas. ....	30
<b>Figura II.8</b> Esquema conceptual del proceso para separar fenol ....	31
<b>Figura II.9</b> Etapas de transporte de una especie a través de una membrana utilizando un transportador ....	34
<b>Figura IV.1</b> Estructura química de los esteres de sorbitan. ....	43
<b>Figura IV.2</b> Estructura molecular del DEHPA y del TBP. ....	44
<b>Figura IV.3</b> Algunos de los equipos utilizados para la metodología experimental. .	45
<b>Figura IV.4</b> Montaje experimental para medir la conductividad de las emulsiones múltiples durante agitación. ....	48
<b>Figura IV.5</b> Montaje experimental para medir la conductividad de las emulsiones múltiples en función de la temperatura. ....	52
<b>Figura V.1</b> Estabilidad de los sistemas con Querosén/ Span 20 y Querosén/ Span 80 en función del tiempo. ....	56
<b>Figura V.2</b> Variación de la estabilidad de las emulsiones con la formulación. ....	57
<b>Figura V.3</b> Estabilidad de los sistemas con WOR= 30/70 y WOR=1 en función del tiempo. ....	58
<b>Figura V.4</b> Estabilidad de los sistemas con querosén y los sistemas con parafina en función del tiempo. ....	59



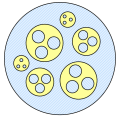
## ÍNDICE

Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

<b>Figura V.5</b> Estabilidad de los sistemas con Parafina y Span 80 con y sin transportador.....	60
<b>Figura V.6</b> Estabilidad de los sistemas con diferentes concentraciones de TBP... ..	61
<b>Figura V.7</b> Estabilidad de los sistemas con diferentes concentraciones de DEHPA.....	62
<b>Figura V.8</b> Estabilidad de los sistemas con TBP y DEHPA.....	63
<b>Figura V.9</b> Estabilidad de los sistemas con (a) 0,1 % TBP (b) 0,5 % TBP.....	63
<b>Figura V.10</b> Estabilidad de los sistemas con (a) 0,1 % DEHPA (b) 0,5 % DEHPA..	65
<b>Figura V.11</b> Estabilidad de los sistemas con (a) 0,1 % TBP (b) 0,5 % TBP.....	66
<b>Figura V.12</b> Variación de la viscosidad de las emulsiones con la formulación.....	67
<b>Figura V.13</b> Estabilidad de una emulsión en función de su formulación.....	68
<b>Figura V.14</b> Estabilidad de los sistemas con (a) 0,1 % DEHPA (b) 0,5 % DEHPA..	68
<b>Figura V.15</b> Estabilidad de las emulsiones múltiples $W_1/O/W_2$ en función de la temperatura.....	69
<b>Figura V.16</b> Estabilidad de las emulsiones múltiples con y sin aumento de temperatura.....	70

www.bdigital.ula.ve



## RESUMEN

La separación de compuestos y liberación controlada de algún componente con membranas líquidas depende, de forma significativa, de la estabilidad de la emulsión múltiple que se formula para estos procesos. En este trabajo se realizan algunos estudios preliminares sobre la estabilidad de emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$ , donde la fase interna  $W_1$  es una solución al 0,5%p/v de cloruro de sodio y la fase externa es agua destilada. Para la fase aceite, que actúa como membrana, se utilizó querosén, parafina y heptano. Para estabilizar las emulsiones se utilizaron como agentes emulsionantes Span 20 y Span 80. Como transportadores se utilizaron el DEHPA (ácido di-etil-hexil fosfórico) y el TBP (tributil fosfato).

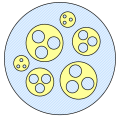
Se preparó la emulsión múltiple por el método de dos pasos (explicado con detalles en II.5.2) y se cuantificó el porcentaje de rompimiento de la misma mediante medidas de conductividad. Se estudió la estabilidad de las emulsiones múltiples modificando variables de formulación, como lo son el tipo de agente emulsionante, el tipo de transportador, el tipo de fase aceite, la temperatura y variables de composición como lo son la relación agua-aceite (WOR) y la concentración del transportador. Se realizaron barridos de formulación, donde la variable de barrido fue el HLB, para estudiar el comportamiento de fase de los sistemas surfactante-agua-aceite en función del tipo de aceite y del tipo de transportador y relacionar éstos resultados con la estabilidad de las emulsiones múltiples.

Se obtuvo que el agente emulsionante span 80 hace a las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$ , de fase aceite querosén, más estables que el span 20. En cuanto a la fase aceite, las emulsiones se rompen más rápidamente cuando se utiliza parafina que cuando se usa querosén. La cantidad de fase aceite también es importante en la estabilidad y se encontró que las emulsiones primarias preparadas con WOR igual a uno presentan un porcentaje de rompimiento mayor a las preparadas con un WOR igual a 30/70.

La presencia de un transportador disminuye un poco la estabilidad de las emulsiones múltiples. El DEHPA desestabiliza las emulsiones con mayor rapidez que el TBP. También se encontró que al agregar un 25% de heptano a la parafina aumenta la estabilidad de las emulsiones múltiples, pero al agregarlo en un 50% y 75% las desestabiliza. En cuanto a la temperatura se observó que al haber un aumento de ésta, la emulsión múltiple se desestabiliza; este resultado puede ser importante en el caso de los procesos de separación, en los cuales se desea recuperar el compuesto extraído. Sin embargo hay que continuar haciendo estudios sobre este tema.

En cuanto a los barridos, la presencia del heptano produce un desplazamiento de la zona trifásica de los sistemas SOW pero los cambios no son tan significativos como para inducir una desestabilización importante de las emulsiones múltiples estudiadas.

**Palabras Claves:** Emulsión Múltiple, Estabilidad de Emulsiones, Membranas Líquidas.



## INTRODUCCIÓN

Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

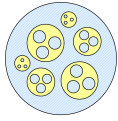
La formulación de un problema es más importante que su solución.

Albert Einstein

## INTRODUCCIÓN

Las Emulsiones Múltiples son emulsiones donde la fase dispersa es en sí una emulsión. De esta forma se presenta una fase intermedia que separa a otras dos fases miscibles o inmiscibles entre sí; el transporte selectivo de sustancias entre estas dos fases es lo que permite que la fase intermedia se comporte como una membrana.

El hecho de que exista una membrana líquida que separa a dos fases es lo que le da a las emulsiones múltiples su utilidad. Actualmente existe ya, en Austria, una planta industrial que utilizando membranas líquidas emulsionadas permite reducir el contenido de zinc de los efluentes industriales de 500ppm a menos de 3ppm. También existen plantas que recuperan fenol utilizando membranas líquidas en la industria de plásticos en China. Igualmente se han creado procesos para separar amoníaco de efluentes contaminados. Al comparar estos procesos con los procesos de separación convencionales aplicados, los fenómenos de transferencia de masa en las membranas líquidas suelen ser más rápidos ya que se facilitan los procesos de permeación, disolución y difusión como consecuencia del estado físico de la membrana. Adicionalmente estas membranas son extremadamente finas y tienen un área superficial inmensa, factores que incrementan considerablemente su velocidad de transporte.



## INTRODUCCIÓN

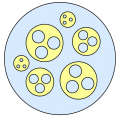
### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

Otra de las áreas de aplicación de las emulsiones múltiples es el área farmacológica cuando se necesita la liberación controlada de fármacos. Este campo también es muy importante y se han hecho numerosas investigaciones. La mayoría de los estudios con emulsiones múltiples se han realizado con emulsiones del tipo agua/aceite/agua ( $W_1/O/W_2$ ). Sin embargo existen estudios en los cuales la droga es liposoluble y se han utilizado emulsiones del tipo  $O_1/W/O_2$ . Tal es el caso de la liberación de la Pentazocina [Mishra, 1989].

Uno de los problemas, quizás el más importante, es el control de la estabilidad de dichas emulsiones. En ciertas aplicaciones se necesita que las emulsiones sean inestables y en otras se necesita una alta estabilidad. La estabilidad de las emulsiones es proporcionada por agentes surfactantes que por presentar afinidad doble (polar y no polar) se ubican en la interfase disminuyendo la tensión interfacial y permitiendo un mayor tiempo de contacto entre las fases. Generalmente además de contener surfactantes, se adiciona a las emulsiones un agente transportador soluble en la fase membrana que aumenta la selectividad del transporte por sus interacciones específicas y reversibles con las especies a transportar. La estructura de los transportadores es similar a la de los surfactantes, por la doble afinidad que presentan; es por ello que influyen igualmente en la estabilidad de la emulsión.

La tecnología de membranas es una disciplina relativamente joven y dinámica que todavía tiene un componente empírico importante. Los factores que generan cambios en el equilibrio y la estabilidad del sistema se han clasificado como variables de formulación, composición y procedimiento técnico. Como contribución al conocimiento de la estabilidad de las emulsiones múltiples, este proyecto se dedica a estudiar la influencia que ejercen algunos de estos factores, como el tipo de surfactante, tipo de aceite, relación agua-aceite, presencia de transportadores y variación de temperatura, sobre la estabilidad de emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$  de fase aceite querosén, parafina y heptano estabilizadas con Span 20 y Span 80 y con la presencia de agentes extractantes como el DEHPA y el TBP.



## OBJETIVOS

Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

Si no sabes a donde vas,  
acabarás en otra parte.

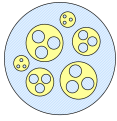
T.P. Laurance

## OBJETIVOS

Este trabajo tiene como objetivo general estudiar la influencia de la composición de la fase aceite, la influencia de los transportadores y surfactantes, el efecto de la relación volumétrica aceite-agua y de la temperatura en la estabilidad de las emulsiones múltiples del tipo  $W_1/O/W_2$ .

En el trabajo se cumplieron los siguientes objetivos específicos:

1. Se estudió la influencia del tipo de surfactante en la estabilidad de las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$ .
2. Se estudió la influencia del tipo de aceite (querosén, parafina, heptano o mezclas de éstos componentes) utilizado como fase "membrana" en la estabilidad de la misma.
3. Se analizó el efecto de la relación agua-aceite (WOR) de la emulsión primaria  $W_1/O$ , sobre el comportamiento de las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$ .
4. Se estudió la influencia del tipo de transportador (DEHPA y TBP) y concentración del mismo en la estabilidad de las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$  utilizando Span 80 como surfactante y fase aceite parafina y heptano.



## OBJETIVOS

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

5. Se investigó el efecto de la adición de heptano a la fase orgánica parafina en la estabilidad de las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$  con transportador (DEHPA y TBP) y Span 80 como surfactante.
6. Se analizó el efecto de las mezclas de heptano y parafina utilizadas como fase orgánica y la presencia de transportadores (DEHPA y TBP) en el comportamiento de fases de los sistemas Surfactante-agua-aceite mediante un barrido de HLB.
7. Se estudió la influencia de la temperatura en la estabilidad de las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$ .

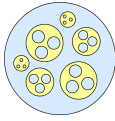
[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)



[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**CAPÍTULO I:  
EMULSIONES**

---



## CAPÍTULO I. EMULSIONES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

Lo importante es no dejar de hacerse preguntas.

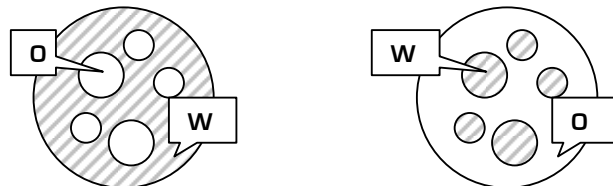
Albert Einstein

### I.1 ¿Qué son las Emulsiones?

Para describir una emulsión se debe hablar antes de dispersión, nombre que se le da a un sistema polifásico en el cual una fase se encuentra en forma fragmentada (fase dispersada) dentro de la otra (fase continua). Cuando ambas fases son líquidas, una inmisible en la otra, se habla de una emulsión.

### I.2 Tipo de Emulsiones

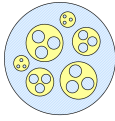
Los dos líquidos se denominan agua (W) y aceite (O), que representan la fase polar y apolar. La ubicación relativa de cada fase define el tipo de emulsión según W. Ostwald. Las **emulsiones O/W** se tratan de gotas de aceite dispersadas en agua y las **emulsiones W/O**, gotas de agua en aceite.



Emulsión O/W

Emulsión W/O

Figura I.1 Tipo de Emulsiones.



## CAPÍTULO I. EMULSIONES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

Existen otros tipos de emulsiones más complejas, como las **emulsiones múltiples**, a tratar en el capítulo II, en las cuales la fase interna es en sí una emulsión y las **biemulsiones**, en el caso en que se encuentran dos tipos de gotas (diferente naturaleza o tamaño) dispersadas en una misma fase externa [Salager, 1999].

### I.3 Obtención de Emulsiones

Para formar una emulsión se necesita [Cárdenas, 1993]:

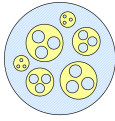
1. Dos líquidos inmiscibles entre sí (O y W).
2. Un agente que estabilice la emulsión, conocido como agente emulsionante.
3. Agitación o energía que permita dispersar una fase inmiscible en la otra.

El proceso para obtener una emulsión a partir de estos tres factores, es llamado **emulsiónación**, y el resultado de la operación depende de la naturaleza y proporciones de los componentes, así como de la forma según la cual se lleva a cabo el proceso.

En la actualidad la emulsiónación no es una ciencia exacta; sin embargo, aparecen tendencias lógicas, y algunos estudios permiten aclarar ciertos conceptos generales [Salager, 1993].

Los factores que influyen los resultados de las operaciones de emulsiónación se clasifican en:

1. Variables de Formulación.
2. Variables de Composición.
3. Factores Fluomecánicos.



#### I.3.1 Agente Emulsionante

Antes de explicar lo que son los factores que influyen en la emulsión se hará una descripción de los agentes emulsionantes, necesarios para estabilizar a las emulsiones.

Un sistema formado por dos líquidos inmiscibles posee una estabilidad mínima, por lo tanto para generar una emulsión “estable” se necesita de un tercer componente conocido como agente emulsionante. La estabilidad se refiere a una casi ausencia de cambio durante un periodo de tiempo suficientemente largo para el propósito de la aplicación práctica [Salager,1993].

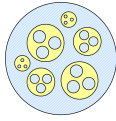
Un agente emulsionante puede ser un surfactante, nombre que se le da a una sustancia anfifílica, que posee una actividad superficial o interfacial. También se pueden emplear partículas sólidas como agentes emulsionantes. Tanto los surfactantes como las partículas sólidas se ubican en la superficie de las gotas de la emulsión y evitan o retardan la coalescencia de las mismas.

La clasificación de los surfactantes de acuerdo a la estructura de su molécula, o más exactamente según la forma de disociación en el agua [Salager,1990], es:

**Surfactantes aniónicos**, los cuales se disocian en un anión anfifílico y un catión, el cual es en general un metal alcalino o un amonio cuaternario.

**Surfactantes noiónicos**, aquellos que estando en solución acuosa no se ionizan, puesto que poseen grupos hidrófilos del tipo alcohol, fenol, éter, amida o una cadena poliéter del tipo polióxido de etileno. El grupo lipófilo es generalmente un radical alquilo o alquil benceno y a veces una estructura de origen natural como un ácido graso. Entre ellos se encuentran los surfactantes Tween® y Span® (ésteres de sorbitan etoxilados y no etoxilados).

**Surfactantes catiónicos**, los cuales se disocian en un catión orgánico anfifílico y un anión generalmente del tipo halogenuro.



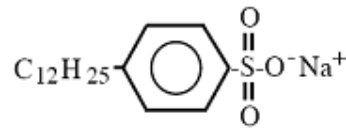
## CAPÍTULO I. EMULSIONES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

**Surfactantes anfóteros**, producto de una combinación dentro de una misma molécula de dos caracteres: aniónico y catiónico.

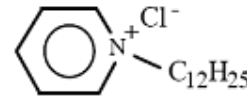
El orden en que han sido nombrados corresponde a la cantidad producida de los mismos a nivel mundial.

También existe otra clase de surfactantes, que surgieron hace casi cuarenta años, llamados **surfactantes poliméricos**, producidos asociando estructuras polimerizadas de tipo hidrofílico o lipofílico, en forma de bloques o injertos. Algunos surfactantes se muestran en la figura I.2.



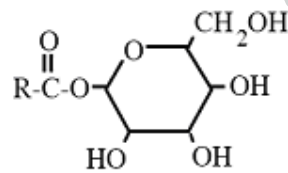
Dodecil benceno sulfonato de sodio

**Aniónico**



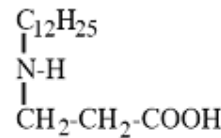
Cloruro de n-dodecil piridina

**Catiónico**



Monoéster de sorbitan

**Noiónico**



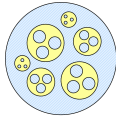
Dodecil betaina

**Anfótero**

Figura I.2 Formulas desarrolladas de algunos surfactantes corrientes [Salager,1990]

### I.3.2 Variables de Formulación

Las variables de formulación son aquellas que indican como se modifica el balance hidrofílico-lipofílico del sistema y que cambio genera en el equilibrio fisicoquímico. Las principales variables de formulación han sido reconocidas como aquellas que caracterizan los tres componentes principales: agua, aceite y surfactante, y sus interacciones en la interfase: la longitud y estructura de la cadena hidrofóbica del



## CAPÍTULO I. EMULSIONES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

surfactante, así como su grupo hidrofílico, la salinidad de la fase acuosa, el tipo de aceite, la presencia de alcoholes, la temperatura y la presión.

Para cuantificar el efecto de las variables de formulación sobre el balance global de interacciones entre los componentes se han propuesto varios conceptos.

#### I.3.2.1 Balance Hidrofílico-Lipofílico (HLB)

Griffin (1949) propuso el concepto de HLB, como una medida de la afinidad relativa del surfactante para las fases agua y aceite. El método consiste en asignarle un número HLB a cada surfactante, tomando valores bajos de HLB para surfactantes lipofílicos (más afines a la fase aceite) y valores altos de HLB para surfactantes hidrofílicos (más afines a la fase agua).

Para hallar el HLB de una mezcla de surfactantes se utiliza la regla lineal de las mezclas,

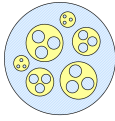
$$HLB_M = X_1 \cdot HLB_1 + X_2 \cdot HLB_2$$

Donde  $X_1$  y  $X_2$  son las fracciones en peso de los surfactantes uno y dos, cuyos números HLB son  $HLB_1$  y  $HLB_2$  respectivamente.

El método presenta una precisión de más o menos una unidad en la gran mayoría de los casos para un HLB comprendido entre 4 y 14. Para valores de HLB superiores a 14, la regla de mezcla presenta una tendencia no lineal. Algunos valores de HLB se presentan en la tabla I.1.

Tabla I.1 HLB de algunos surfactantes noiónicos.

Nombre	Surfactante	HLB
Span 80	Monooleato de Sorbitol	4,3
Span 20	Monolaurato de Sorbitol	8,6
Tween 80	Monooleato de polioxietileno de Sorbitol	15,0
Tween 20	Monolaurato de polioxietileno de Sorbitol	16,7



## CAPÍTULO I. EMULSIONES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

El HLB depende esencialmente del surfactante y no toma en cuenta el efecto de muchas variables sobre la fisicoquímica del sistema tales como el tipo de aceite, la concentración de surfactante, la presencia de alcohol y de electrolitos, y la temperatura. Sin embargo es una escala muy utilizada en la práctica por su extrema simplicidad y excelente método de comparación entre sistemas semejantes.

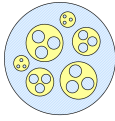
#### I.3.2.2 Teoría R de Winsor

Winsor (1954) propone un enfoque mas completo, mediante la definición del parámetro R, que con un razonamiento teórico describe la **relación de las interacciones netas** entre el surfactante y el aceite de un lado y el surfactante y el agua del otro. Las interacciones moleculares se entienden por unidad de área interfacial. Propuso la relación siguiente:

$$R = \frac{\text{Interacciones netas entre el surfactante y el aceite}}{\text{Interacciones netas entre el surfactante y el agua}}$$

Si las interacciones con la fase oleica predominan, el numerador de la relación será mayor ( $R > 1$ ) y el surfactante tendrá carácter lipofílico. Análogamente, si las interacciones con la fase acuosa, representadas por el denominador, predominan ( $R < 1$ ), el surfactante será mas afín a la fase acuosa. Cuando  $R=1$ , la afinidad del surfactante es igual para las dos fases. Estas interacciones no pueden ser cuantificadas en forma experimental ni matemática.

Según la teoría de Winsor, la estructura de un sistema SOW (**S**urfactant **O**il **W**ater) varía con el valor de R. Aunque por lo general, estos tres componentes no sean puros, se identifican como pseudos-componentes surfactante, agua y aceite, para poder representarlos en forma satisfactoria mediante un sistema ternario en el que se dispone cada uno de ellos en un vértice. Winsor utilizó esta convención para explicar los tres estados de equilibrio (Figura I.3) que presenta un sistema SOW de acuerdo a sus interacciones netas del surfactante con su entorno fisicoquímico en la interfase. [Winsor, 1954]



## CAPÍTULO I. EMULSIONES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

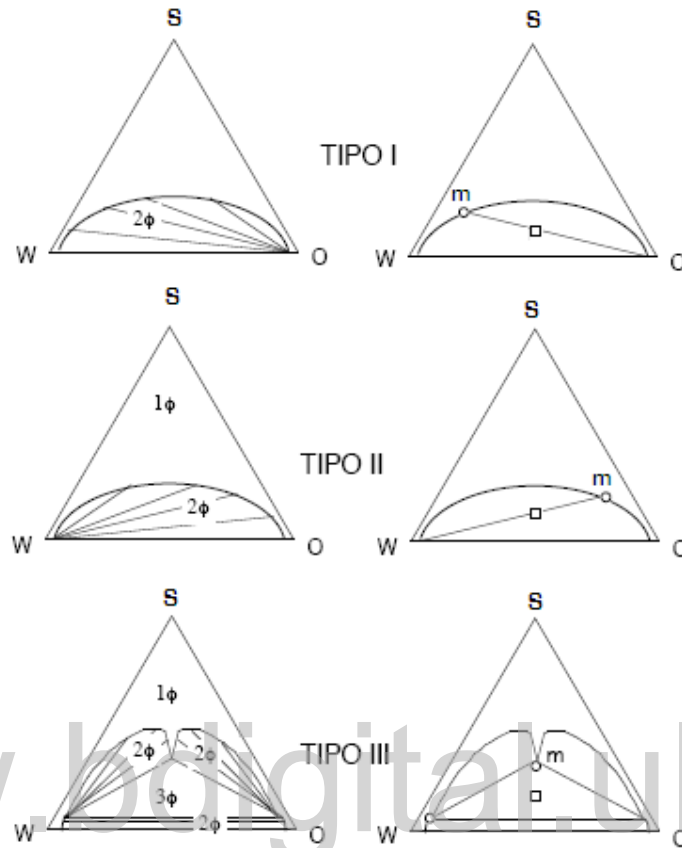
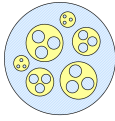


Figura I.3. Tipos de diagramas ternarios de Winsor. [Salager, 1991]

Tipo I: mayor afinidad del surfactante por la fase agua que por la fase aceite. Tipo II: mayor afinidad del surfactante por la fase aceite que por la fase agua. Tipo III: igual afinidad por las fases agua y aceite del surfactante (trifásico).

En los tres diagramas, la región de inmiscibilidad entre el aceite y el agua, encierra estados físicamente inestables y se va haciendo mas pequeña a medida que aumenta la concentración de surfactante, evidenciando de esta forma la capacidad del anfífilo de solubilizar una fase en la otra, así como la de estabilizar el sistema.

En el diagrama de **Winsor Tipo I**, las líneas de reparto en la zona de inmiscibilidad indican claramente que el surfactante prefiere solubilizarse en la fase agua que en la fase aceite ( $R < 1$ ). Se utiliza el símbolo nemotécnico  $\underline{2}$ , para indicar que se trata de un sistema difásico donde el surfactante se encuentra en la fase inferior, acuosa (por ser la mas densa). En cualquier punto dentro de zona encerrada por la línea binodal, el



## CAPÍTULO I. EMULSIONES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

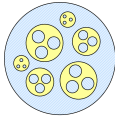
sistema está formado por una microemulsión acuosa rica en surfactante (punto m) y una fase oleica en exceso. Fuera de esta zona se encuentran sistemas monofásicos.

En el diagrama de **Winsor Tipo II**, ocurre lo contrario con respecto a la afinidad del surfactante, siendo éste más afín a la fase oleica ( $R > 1$ ), denotándose así con el símbolo  $\bar{2}$ . Cualquier sistema dentro de la zona bifásica, se particiona en una microemulsión oleica rica en surfactante (punto m) y una fase acuosa en exceso.

Por último, para el diagrama de **Winsor Tipo III**, la afinidad del surfactante es igual tanto para la fase acuosa como para la fase aceite ( $R=1$ ), Podrían esperarse líneas de reparto totalmente horizontales, donde el surfactante se distribuye en cantidades iguales en ambas fases, pero se ha encontrado que el sistema presenta una menor energía en una zona trifásica. Es por ello que se presenta una zona ternaria rodeada por dos lóbulos en los cuales existen dos fases, similares a la de los diagramas tipo I y tipo II y una zona bifásica muy cerca de la base del triángulo para mantener la continuidad en el sistema. Cualquier punto dentro de la región ternaria se separará espontáneamente en tres fases, una microemulsión (punto m) conteniendo la mayor parte del surfactante y dos fases en exceso.

#### 1.3.2.3 Diferencia de Afinidad del Surfactante (SAD)

El SAD es una variable que indica la diferencia entre la afinidad del surfactante por la fase acuosa y su afinidad por la fase aceite. Para un valor nulo de SAD (formulación óptima), se forma una microemulsión que cosolubiliza cantidades iguales de agua y aceite puesto que los anfífilos presentes dentro de la película interfacial poseen una afinidad igual para la fase acuosa que para la fase oleica (Salager y col, 2001). Dependiendo de si el valor del SAD es positivo o negativo, se obtiene un sistema bifásico con el surfactante ubicado principalmente en la zona oleica o en la zona acuosa respectivamente. Por lo tanto se puede hacer una asociación con el concepto de Winsor, como se observa en la tabla 1.2.



## CAPÍTULO I. EMULSIONES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

Tabla I.2. Relación entre R de Winsor y SAD.

Comportamiento de Fase	R	SAD
Diagrama Tipo I	< 1	< 0
Diagrama Tipo III	= 1	= 0
Diagrama Tipo II	> 1	> 0

Sin embargo, a diferencia de la relación R de Winsor, que es únicamente cualitativa, el SAD es una expresión numérica que permite hacer cálculos y predecir las compensaciones entre los efectos de las diferentes variables. Los valores numéricos de estos parámetros se determinan experimentalmente por el método del barrido de formulación, el cual se describe en la sección siguiente (1.3.2.4). Todos los términos que aumentan el valor de SAD incrementan la afinidad del surfactante por el aceite o disminuyen su afinidad por el agua, y recíprocamente.

El SAD se describe según las ecuaciones siguientes:

1. Para surfactantes aniónicos:

$$\frac{SAD}{RT} = \ln(S) - K \cdot EACN - f(A) + \sigma - a_T \cdot \Delta T = HLD$$

2. Para surfactantes no iónicos:

$$\frac{SAD}{RT} = \alpha - EON - K \cdot EACN + bS - \phi(A) + C_T \cdot \Delta T = HLD$$

Donde,

S es la salinidad de la fase agua expresada en porcentaje en peso,

EACN es el número de alcano equivalente que es una medida de la lipofilia del aceite.

f(A) y  $\phi(A)$  funciones que dependen del tipo y de la concentración de alcohol (co-surfactante),

EON es el número de grupos óxido de etileno en el grupo hidrofílico del surfactante no iónico.

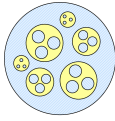
$\sigma$  y  $\alpha$  son parámetros que se relacionan linealmente con la longitud de la cadena lipofílica del surfactante,

b, es un parámetro que depende del electrolito.

$a_T$  y  $C_T$  son coeficientes de temperatura.

K es una constante.

$\Delta T$  es la diferencia de temperatura respecto a la referencia ambiente (25 °C)



El HLD (Hydrophilic Lipophilic Deviation) representa un método equivalente al SAD. Cada término representa una contribución energética sobre la totalidad del balance de interacción, expresado como una suma algebraica, en lugar de una relación como la R de Winsor. El HLD es adimensional, es el  $SAD/RT$ . La contribución positiva tiende a promover la transición en dirección de R menor a uno a R mayor a uno, mientras que los términos negativos tienen el efecto opuesto.

#### I.3.2.4 Barridos de Formulación

Cuando se tienen varios sistemas SOW idénticos, y se cambia únicamente una variable de formulación de forma progresiva, es decir, una variable que modifique las interacciones hidrofílicas y lipofílicas en la interfase, el parámetro R se modifica, lo que implica un cambio en el estado de equilibrio. De esta forma se puede modificar la afinidad del surfactante (variable de barrido) y obtener una alteración en el diagrama de Winsor correspondiente (Figura I.4). A esta técnica se le denomina barrido unidimensional de formulación.

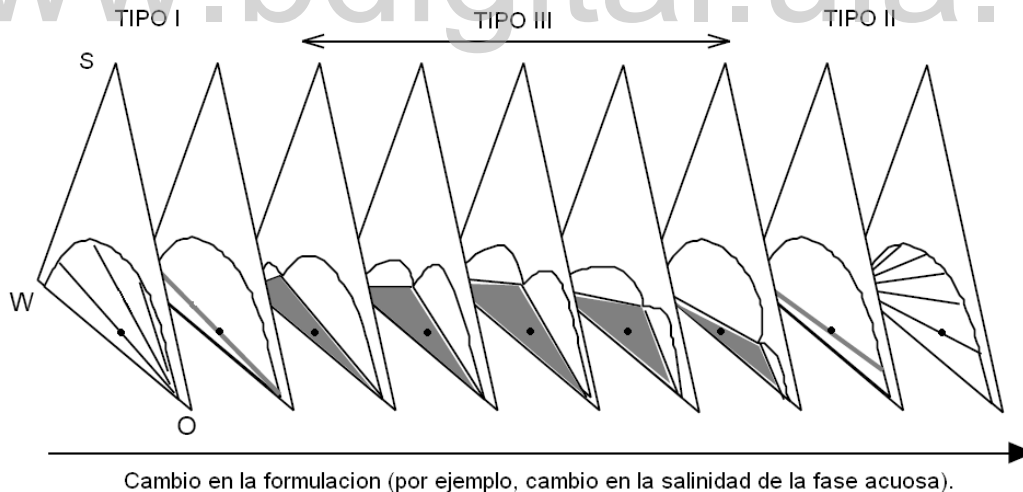
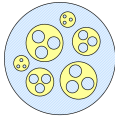


Figura I.4. Evolución de un diagrama ternario en un barrido de formulación (Salager, 2000).

Generalmente, la composición se escoge para que el punto representativo del sistema este situado en medio de la zona polifásica del diagrama de Winsor. La variable de barrido puede ser cualquiera, como por ejemplo la salinidad de la fase acuosa (tipo y concentración de electrolitos), la naturaleza de la fase oleica [ACN o EACN], la temperatura, el HLB o la composición del surfactante en una mezcla.



### I.3.3 Variables de Composición

En el caso de un ternario se necesitan al menos dos variables independientes para describir la composición del sistema, por ejemplo, la concentración de surfactante y la relación agua/aceite. No se puede representar fácilmente una propiedad en función de tres variables, por lo que hay que escoger una de las dos. Desde el punto de vista de la importancia práctica se toma la variable que describe la proporción de agua y aceite. Esto no significa que la concentración del surfactante no es una variable importante, sino que por lo general se toma en un cierto rango, típicamente 0,3-5%, en el cual las propiedades de una emulsión no dependen mucho de la cantidad. Debajo de 0,3% se puede decir que hay muy poco surfactante para estabilizar la emulsión, y por encima de 5% las propiedades no cambian mucho por lo que no se justifica el exceso de costo producido por el aumento de concentración [Salager, 1999].

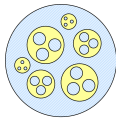
#### I.3.3.1 Relación Agua-Aceite (WOR)

La relación agua/aceite se expresa como el porcentaje relativo o absoluto de las fases inmiscibles en el sistema.

$$WOR = \frac{f_w}{f_o} = \frac{f_w}{1 - f_w}$$

Donde,  $f_w$  y  $f_o$  son las fracciones volumétricas de agua y aceite respectivamente.

Cuando el WOR es igual a la unidad se cumple la regla general de Bancroft que expresa que la fase externa de una emulsión será aquella en la cual el surfactante presenta mayor afinidad o tendencia a solubilizarse. Sin embargo, cuando el WOR aumenta, si se habla de emulsiones W/O, aunque el surfactante sea más afín a la fase aceite, llega un momento en que la cantidad de fase interna es tal que no puede mantenerse en forma dispersada dentro de la otra y pasa a ser fase externa. En estos casos, el efecto de la composición, que dirige a la fase en mayor proporción como fase externa, es mayor que el efecto fisicoquímico, que se basa en la afinidad del surfactante. Análogamente ocurre el proceso para las emulsiones O/W.



## CAPÍTULO I. EMULSIONES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

Sin embargo, la regla de Bancroft no deja de cumplirse en su totalidad, puesto que en estos sistemas atípicos se verifica la presencia de emulsiones múltiples. El tipo de emulsión más interna corresponde con la condición fisicoquímica resultante del balance de interacciones en la interfase, para así satisfacer la afinidad del surfactante.

La transición de un sistema normal a un sistema atípico y viceversa puede observarse en los mapas bidimensionales de formulación fisicoquímica versus fracción volumétrica de agua. Este diagrama se presenta a continuación.

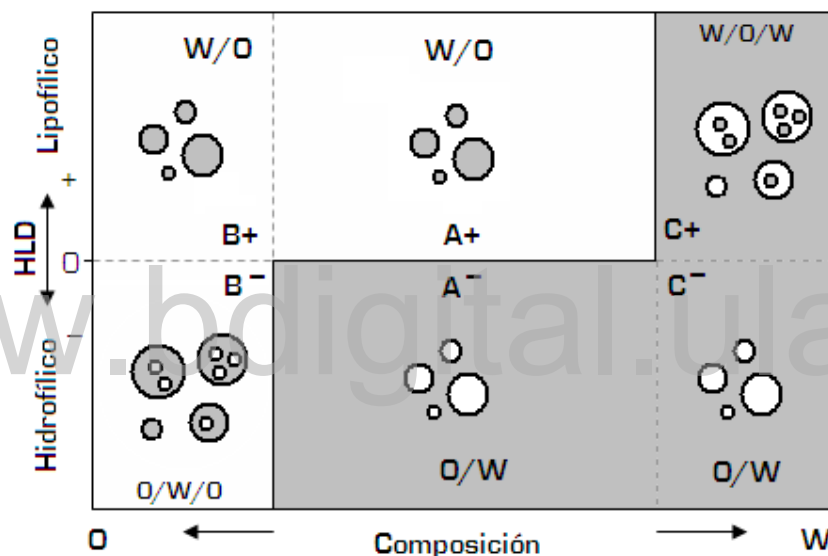
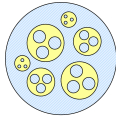


Figura I.5. Diagrama del HLD vs. Composición de agua y aceite de un sistema SOW.

La figura I.5 presenta seis regiones, que se dividen según el contenido de agua del sistema en: bajo (B), medio (A) y alto (C). También se coloca un signo que indica el valor del HLD. En las zonas B+, A+, A<sup>-</sup> y C<sup>-</sup> se obtiene el tipo de emulsión que se espera según la condición fisicoquímica, pero al aumentar o disminuir el WOR, dependiendo del caso respectivamente, se produce una inversión de fase catastrófica. En las zonas B<sup>-</sup> y C+, la cantidad de fase externa no es lo suficiente para continuar siendo la fase continua y se invierte (Cárdenas, 1993). En esta región las emulsiones tienden a ser inestables debido al antagonismo entre las variables fisicoquímicas y las de composición, en donde predominan las de composición: la fase que se encuentra en mayor proporción tiene mayor posibilidad de comportarse como fase externa.



## CAPÍTULO I. EMULSIONES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

La posición de las líneas de inversión catastrófica depende de la viscosidad del aceite o del agua, de la agitación y de la concentración de surfactante, entre otros.

#### I.3.4 Factores Fluomecánicos

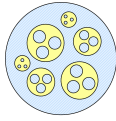
Los factores fluomecánicos se refieren al procedimiento técnico, al tipo e intensidad de agitación y a los equipos utilizados para formar las emulsiones. Es en esta parte que el empirismo domina la situación, a pesar de los numerosos estudios fundamentales orientados hacia la modelización de una parte o etapa. Becher (1957) cita cuatro métodos diferentes de adición de un líquido a otro para producir una emulsión. Otros autores proponen diversos métodos (Lissant 1974). Al comparar las recetas de Clayton (1923) con las de Becher (1957), se tiene la impresión de que la comprensión de las interacciones entre fenómenos ha avanzado muy poco en los últimos cuarenta y cinco años, y que las mejorías han consistido esencialmente en perfeccionamientos tecnológicos de los equipos, o en la obtención de emulsionantes mas variados. Si bien es cierto que se han realizado numerosos estudios sobre los mecanismos básicos y las inestabilidades, no existe todavía un modelo general que pueda utilizarse para hacer predicciones de comportamiento (Salager, 1993).

#### I.4 Propiedades de las Emulsiones

Se presentan a continuación las propiedades más importantes de las emulsiones.

##### I.4.1 Conductividad

Por lo general, las dos fases que conforman una emulsión, presentan conductividades muy diferentes. La fase acuosa en su mayoría, contiene electrolitos que elevan la conductividad, a diferencia de la fase oleica, cuya conductividad es prácticamente nula.



## CAPÍTULO I. EMULSIONES.

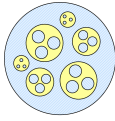
### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

Por otra parte, la conductividad de la emulsión depende esencialmente de la naturaleza de la fase continua o externa, debido a su capacidad de transmitir las cargas, a diferencia de la fase dispersa, que no presenta continuidad entre los electrodos del conductímetro. De esta forma, se puede utilizar la conductividad como herramienta para identificar el tipo de emulsión; las emulsiones O/W presentan conductividades altas y las emulsiones W/O conductividades bajas.

#### 1.4.2 Viscosidad

La viscosidad es la propiedad que caracteriza la resistencia de un fluido a desplazarse. En una emulsión las medidas de viscosidad proporcionan información acerca de la estructura de las emulsiones y sirven como guía para su estabilidad. La viscosidad de una emulsión depende de numerosos factores. Sherman da la siguiente lista de factores, por orden decreciente de importancia con excepción del último.

1. **Viscosidad de la Fase externa ( $\eta_o$ ):** A baja proporción de fase interna, la viscosidad de la emulsión es proporcional a la viscosidad de la fase externa.  $\eta = \eta_o \cdot f(x)$ . Donde,  $f(x)$  representa los demás efectos que pueden afectar la viscosidad de una emulsión.
2. **Proporción volumétrica de la fase interna ( $\phi$ ):** Un mayor contenido de fase interna o mayor cantidad de gotas, genera mayores interacciones entre ellas y por lo tanto mayor viscosidad.
3. **Tamaño de las gotas de la fase interna:** Cuando menor el tamaño de gota, mayor es el área de contacto entre ellas, aumentando la viscosidad. Con respecto a la distribución en el tamaño de gotas, cuando mas amplia la distribución de tamaño de gota, la viscosidad disminuye, ya que las gotas pequeñas se ubican entre las grandes produciendo un efecto “lubricante”.



## CAPÍTULO I. EMULSIONES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

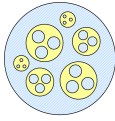
---

4. **Viscosidad de la fase interna ( $\eta_i$ ):** Influye en la viscosidad de la emulsión solo si existe un movimiento de convección dentro de las gotas.
5. **Efectos electro-viscosos:** Este efecto tiene mayor importancia en sistemas coloidales [Becher, 1972]. El efecto se produce entre cargas de gotas adyacentes, cuando existe una doble capa eléctrica. Produce un aumento de la viscosidad de la emulsión, puesto que la contribución de las cargas será siempre la de aumentar la viscosidad.
6. **Efecto de la formulación:** Estudios recientes realizados en el laboratorio FIRP, han mostrado que la viscosidad puede ser afectada considerablemente por la formulación. Cerca de la formulación óptima, la tensión es ultra baja y aunque el tamaño de las gotas es muy pequeño, debido a su facilidad de deformación pueden alargarse paralelamente a las líneas de flujo y disminuir notablemente la viscosidad.

www.bdigital.ula.ve

### 1.4.3 Estabilidad

Una emulsión es por definición un sistema termodinámicamente inestable y tarde o temprano debe separarse en dos fases. La estabilidad de una emulsión es un concepto muy amplio, ya que puede referirse a varias circunstancias. El proceso de ruptura de una emulsión puede incluir efectos físicos como gravedad artificial, movimiento Browniano, o agitación. El caso mas común cuando se habla de estabilidad se refiere a cuando la emulsión es mantenida en reposo en un recipiente a temperatura constante y bajo condiciones de gravedad normal. Para definir experimentalmente un valor, se relaciona el concepto de estabilidad con el volumen de las fases separadas. Transcurrido algún tiempo luego de haberse preparado la emulsión, esta se separa en tres zonas: una central que contiene una nata o emulsión de alto contenido de fase interna y dos fases separadas: la interna [coalescida] y la externa [clarificada].



## CAPÍTULO I. EMULSIONES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

En la figura I.6 se puede observar la fracción de volumen coalescido en función del tiempo. Esta curva posee una forma sigmoide, que indica que es un proceso de varias etapas; la primera zona de la curva representa la sedimentación de las gotas, y el drenaje de la fase externa genera películas de líquido entre ellas. Cuando las películas comienzan a alcanzar espesores del orden de  $200 \text{ \AA}$ , son susceptibles de romperse, provocando así la coalescencia de las gotas y formación de un volumen separado.

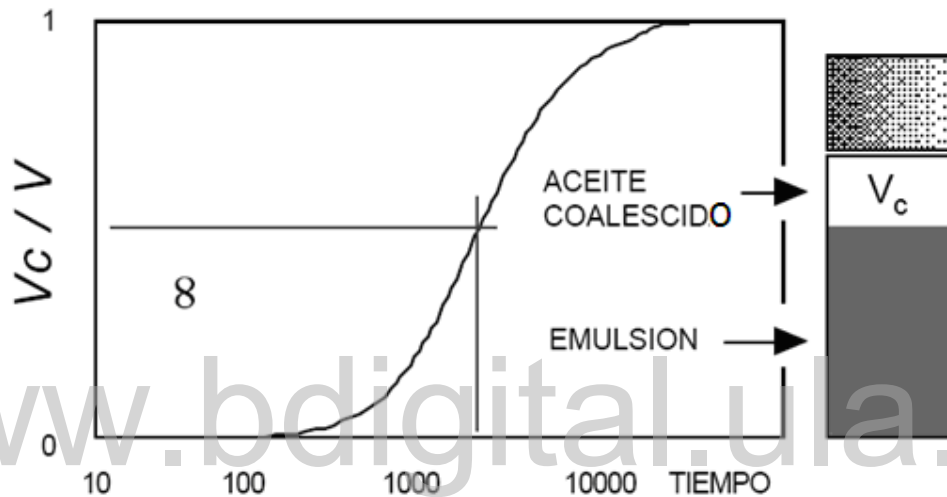
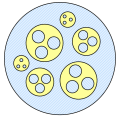


Figura I.6 Fracción de volumen coalescido o clarificado en función del tiempo.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## CAPÍTULO II: EMULSIONES MÚLTIPLES

---



## CAPÍTULO II. EMULSIONES MÚLTIPLES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

Si un poco de ciencia aparta de Dios,  
un mucho de ciencia acerca a Dios.

F. Bacón

## II.1 Membranas.

Una membrana es una interfase que tiene permeabilidad selectiva, que separa dos fases y que limita el transporte de especies químicas (moleculares o iónicas) y/o de partículas de forma muy específica [Cárdenas, 1995]. Para que se produzca el transporte debe existir un gradiente de potencial químico, ya sea generado por un gradiente de presión, concentración, potencial eléctrico o temperatura. El flujo de materia será proporcional al gradiente que lo origina e inversamente proporcional a la resistencia asociada.

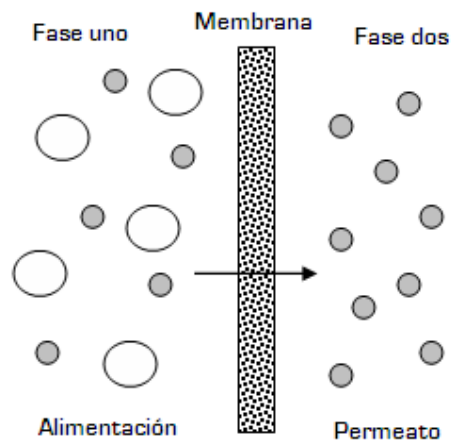
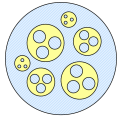


Figura II.1 Esquema de una membrana 100% selectiva.



## CAPÍTULO II. EMULSIONES MÚLTIPLES.

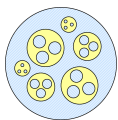
### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

Existen **membranas naturales**, creadas por la naturaleza para cumplir un fin específico y **membranas artificiales**, creadas por el hombre. Las membranas artificiales pueden ser modificaciones de las naturales para cumplir un fin diferente al original o membranas sintéticas, que tienen múltiples aplicaciones.

Las membranas artificiales pueden clasificarse según su naturaleza química en membranas de origen orgánico, inorgánico o mixtas y según su forma en asimétricas, homogéneas, compuestas o densas. También se pueden clasificar según su utilización y método de fabricación [Cárdenas, 1995]. Un resumen general de los tipos de membranas se presenta en la figura II. 2.

<b>Naturaleza</b>	Naturales	Biológicas	Bicapas lipídicas
		No Biológicas	Arcillas
	Simétricas	Inorgánicas	Metálicas Vitreas Cerámicas
		Poliméricas	Polímeros funcionalizados Polímeros no funcionalizados
		Líquidas	De volumen De emulsión Soportadas
Compuestas	Por capas superpuestas Por inclusión Por mezcla de polímeros		
<b>Estructura</b>	Estructura Microscópica	según porosidad	Densas Porosas Microporosas Mesoporosas Macroporosas
		según configuración	Simétricas Asimétricas
	Estructura Macroscópica	Laminares Tubulares Fibras Huecas	
<b>Transporte</b>	Membranas Porosas	Difusión de Knudsen Flujo fase líquida Difusión	
	Membranas de intercambio iónico	Intercambio catiónico o aniónico Difusión	
	Membranas Densas	Difusión- Disolución	

Figura II.2 Clasificación de las membranas en función de los criterios Naturaleza, Estructura y Tipo de transporte que realizan (Macanás, 2006).



## II.2 Membranas Líquidas.

Cuando la interfase que tiene permeabilidad selectiva es un líquido, y la fuerza motriz que impulsa a los componentes a través de ella es un gradiente de concentración, estas se conocen como membranas líquidas.

La selectividad se debe a la solubilidad preferencial de un compuesto en la fase membrana, o a la alteración de esta solubilidad mediante el uso de un acoyplejante selectivo que se conoce como “transportador” [Araki Takeo, 1990] el cual se describe de forma más detallada en la sección II.6.3.

Las membranas líquidas se pueden clasificar en tres tipos:

1. Membranas líquidas en volumen (“bulk”).
2. Membranas líquidas soportadas.
3. Membranas líquidas emulsionadas o emulsiones múltiples.

Las membranas tipo “bulk” son sistemas elaborados en estructuras geométricas, como celdas en forma de “U”, que permiten el contacto entre una fase orgánica (que puede contener transportadores) y dos fases acuosas o viceversa. Un esquema de este tipo de membranas se muestra en la Figura II.3. Se utilizan ampliamente a escala de laboratorio ya que son fáciles de montar y permiten obtener datos experimentalmente interesantes.

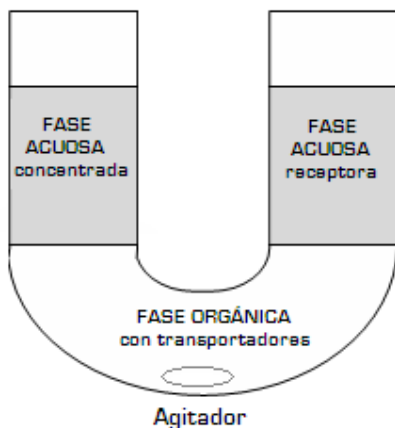
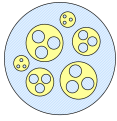


Figura II.3 Membrana líquida en tipo “bulk”.



## CAPÍTULO II. EMULSIONES MÚLTIPLES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

Las membranas líquidas soportadas consisten en un líquido inmiscible que se coloca en los poros de una membrana (que actúa como soporte) que separa dos fases. Estas membranas pueden ser acuosas u orgánicas, siendo las últimas las más comunes [Cárdenas, 2007]. Una de las diferencias de este tipo de membranas con las membranas emulsionadas, es que en las segundas se deben utilizar surfactantes para estabilizar a la emulsión y en las primeras la adición de surfactante disminuye la tensión superficial haciendo que el líquido que forma la membrana tienda a salirse de ella destruyéndola [Cárdenas, 1995]. Un esquema de este tipo de membrana se observa en la Figura II.4.

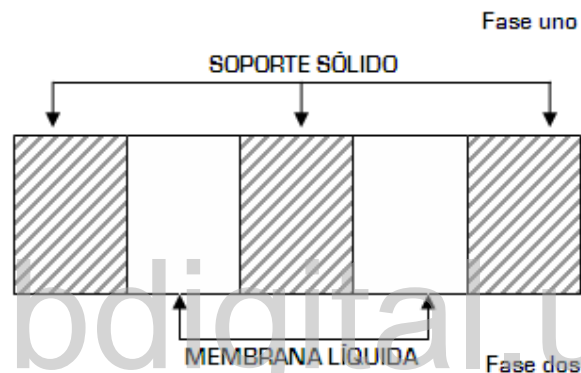
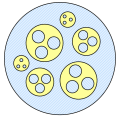


Figura II.4 Membrana líquida soportada.

### II.3 Membranas líquidas emulsionadas o Emulsiones Múltiples

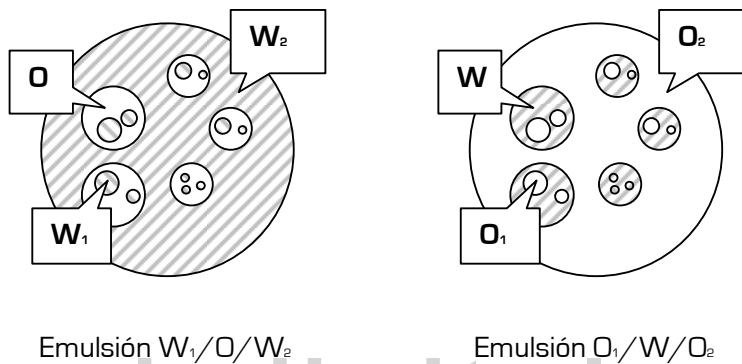
Las emulsiones múltiples son un poco más complejas que las emulsiones sencillas; estas contienen en sí mismas los dos tipos de emulsiones, W/O y O/W, uno dentro del otro. Por lo tanto, existe en ella un líquido que se muestra continuo frente a una de las fases y disperso frente a la otra.

Una emulsión múltiple se considera entonces como una emulsión de emulsión, pues las gotas de la fase dispersa de la emulsión contienen pequeñas gotas dispersas en ellas. Esto hace que existan dos líquidos miscibles entre sí, separados por otro inmiscible en ellos actuando éste como membrana [Cárdenas, 1993].



## II.4 Tipos de Emulsiones Múltiples

De forma general, las emulsiones múltiples pueden ser gotas de agua en aceite, dispersadas en una fase externa agua, denominadas **emulsiones  $W_1/O/W_2$**  o viceversa, gotas de aceite en agua dispersadas en una fase externa aceite, **emulsiones  $O_1/W/O_2$** .



Emulsión  $W_1/O/W_2$

Emulsión  $O_1/W/O_2$

Figura II.5 Tipo de Emulsiones Múltiples.

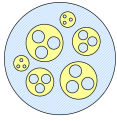
El subíndice en la nomenclatura denota que las fases acuosas  $W_1$  y  $W_2$ , pueden ser diferentes, aunque miscibles entre sí, al igual que las fases oleicas  $O_1$  y  $O_2$ .

Sin embargo, se puede conseguir infinidad de emulsiones múltiples, conformadas por dos fases miscibles o inmiscibles entre sí, y una tercera fase inmiscible con ambas, como requisito para poder mantenerlas separadas. Por ejemplo, una emulsión múltiple de etanol en aceite en agua ( $E/O/W$ ).

## II.5 Obtención de Emulsiones Múltiples

### II.5.1 Método de Inversión

Se pueden obtener emulsiones múltiples valiéndose del antagonismo entre fenómenos físicos y fisicoquímicos, que se presenta cerca de la línea de inversión de fase mostrada en los mapas de formulación versus WOR (Figura I. 5).



## CAPÍTULO II. EMULSIONES MÚLTIPLES.

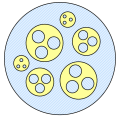
### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

Según los estudios realizados por Jarry (1984), se obtienen emulsiones múltiples al producirse una inversión de fase en la zona A+/C+. Por analogía se puede esperar que ocurra lo mismo en la zona de inversión A-/B-. Cerca de esta zona, el fenómeno fisicoquímico predice para la zona C+ una emulsión del tipo W/O, pero la relación de fases favorece la formación de una emulsión del tipo O/W, por lo tanto, para satisfacer ambas situaciones se forman emulsiones múltiples [Cárdenas, 1993].

La técnica consiste, para preparar emulsiones del tipo W/O/W, en agregar a un aceite con surfactante lipofílico, una cierta cantidad de fase acuosa hasta llegar cerca del punto de inversión (que por lo general esta cerca de una fracción de agua de 0,75), donde se obtiene la mayor proporción de emulsión múltiple. En cuanto a la formación de emulsiones O/W/O, el procedimiento es similar, pero con el surfactante del tipo hidrofílico y agregando la fase aceite a la fase acuosa. Al utilizar este método, el líquido de la fase interna es igual al de la fase externa y esto reduce en gran medida la utilidad de las emulsiones múltiples, ya que lo que se busca es que la composición de ambas fases varíe para generar una diferencia apreciable entre los potenciales químicos y permitir así la transferencia de masa. Sin embargo, estas emulsiones pueden ser útiles si se busca una alta viscosidad, como en cremas, cosméticos, alimentos, entre otros [Cárdenas, 1993].

### II.5.2 Método de dos pasos

Este método consiste en preparar una emulsión primaria (dos fases inmiscibles dispersas I y II), para luego agregarla lentamente a una tercera fase que es la fase continua externa (Figura II.6). La fase II contiene un surfactante afín a esta, para estabilizar la emulsión primaria y algunas veces un extractante. Esta fase actúa como una membrana líquida, La tercera fase puede contener igualmente un surfactante que ayude a estabilizarla como fase externa de la emulsión múltiple. Es importante mencionar que generalmente los surfactantes utilizados para preparar este tipo de emulsiones son no iónicos (principalmente la serie TWEEN y SPAN), debido a que se estudian en la mayoría de los casos aplicaciones en medicina o en productos alimenticios. La emulsión primaria se prepara bajo condiciones extremas de cizallamiento, mientras que el segundo paso se hace sin que exista un cizallamiento



## CAPÍTULO II. EMULSIONES MÚLTIPLES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

severo, pues un exceso podría causar el rompimiento de gota, resultando una emulsión simple.

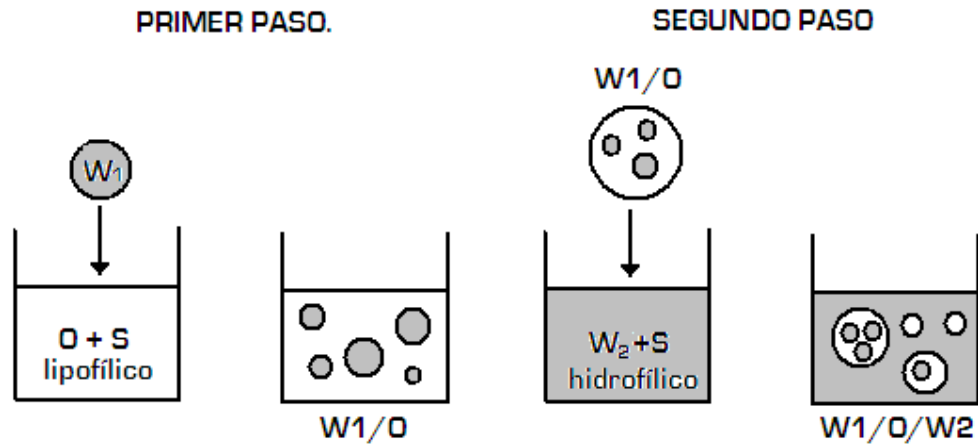
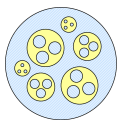


Figura II.6 Método de dos pasos para la obtención de una emulsión  $W_1/O/W_2$ .

Es de notar que al hacer una emulsión múltiple se trata de estabilizar dos tipos de curvatura opuestas en el equilibrio, lo cual no es posible. Por esto se debe escoger cual emulsión se desea hacer mas estable y producir fenómenos de meta-estabilidad que mantengan un desequilibrio por un tiempo prolongado. Sin embargo, hay procesos en los cuales una estabilidad alta de la emulsión múltiple no es requerida, ya que es importante poder separar a la fase interna de la fase externa en alguna etapa del proceso [Cárdenas, 1993].

Hay otros métodos como el de agitación dual, donde el tipo de emulsión que se forma depende de la posición inicial del agitador. Por lo tanto para formar una emulsión múltiple  $W/O/W$  se comienza agitando en la zona superior donde se encuentra la fase aceite con el surfactante lipofílico. Las gotas de agua de la zona inferior comienzan a dispersarse en la fase oleica y una vez formada la emulsión primaria  $W/O$  se ubica el agitador en la zona acuosa o inferior. En esta etapa se agrega un surfactante hidrofílico, y con la agitación se produce la dispersión de estas gotas de emulsión primaria en la fase externa acuosa [Salager y col., 2000].





## CAPÍTULO II. EMULSIONES MÚLTIPLES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

En el caso de la extracción de fenol, la fase interna de la emulsión  $W_1$  es una solución de hidróxido de sodio que reacciona con el fenol convirtiéndolo en fenolato, y evita de esta forma que el fenol se salga de la gota y se regrese hacia la fase acuosa externa  $W_2$  ya que el fenolato, al ser muy polar no se disuelve en la fase orgánica y queda atrapado dentro de la gota. El esquema conceptual del proceso para separar fenol se muestra en la figura II.8. Además de atrapar al fenol en las gotas internas, también se concentra, ya que la relación fenol/agua es mayor en la fase interna  $W_1$ , que en la externa  $W_2$ . De manera similar pero utilizando ácido en la fase interna, se puede separar el amoniaco.

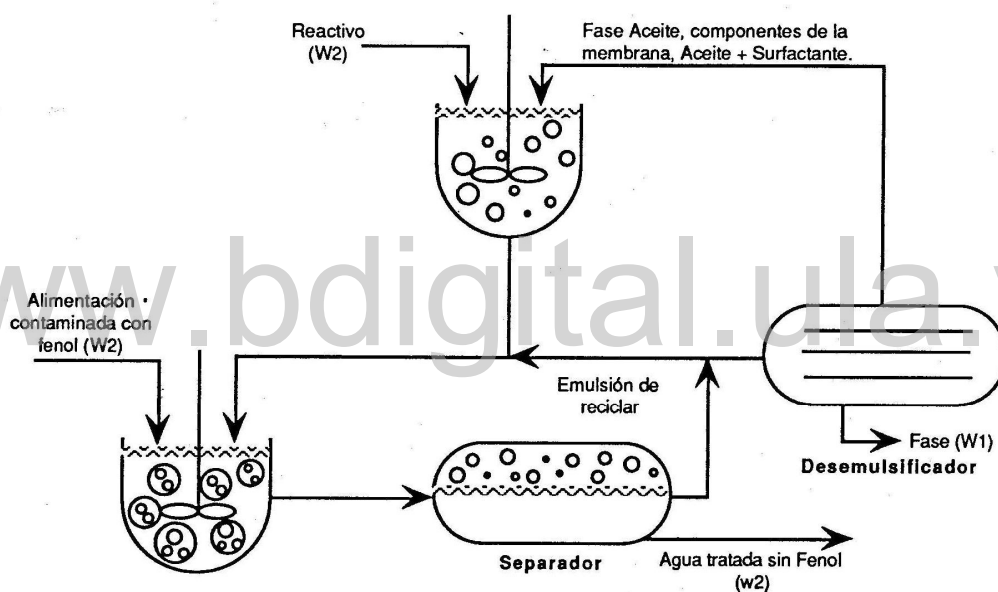
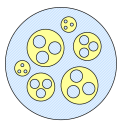


Figura II.8 Esquema conceptual del proceso para separar fenol.

En el campo de la Ingeniería Química, los primeros trabajos utilizando emulsiones múltiples se realizaron en la compañía Exxon, separando mezclas de hidrocarburos. El proceso consiste en introducir una mezcla de aceites (alcanos y tolueno o alcanos y benceno) en una solución acuosa con surfactante. Las gotas formadas pasan a una fase solvente, cubiertas por la capa de solución acuosa más surfactantes, donde se difunde uno de los componentes (el aromático) hacia la fase solvente. De esta manera se separa el hidrocarburo aromático del alifático y la gota a la cual le ha sido extraído el aromático sigue su camino hasta coalescer en el tope de la columna. La fase acuosa con surfactantes forma gotas que caen por gravedad y el aromático se separa del solvente



## CAPÍTULO II. EMULSIONES MÚLTIPLES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

por medio de una destilación tipo flash. Igualmente se ha demostrado la factibilidad técnica de recuperar uranio, cobre, aluminio, zinc, mercurio entre otros metales, así como la remoción de agentes contaminantes presentes en aguas de proceso.

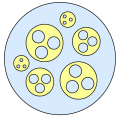
En el campo de la biotecnología, se ha demostrado que es posible separar y concentrar aminoácidos como la fenilalanina [Thien et al, 1988], remover el colesterol de la sangre [Yagodin et al, 1983] e inmovilizar enzimas dentro de los glóbulos internos de la emulsión múltiple para permitir que ocurra la reacción enzimática, cuando las condiciones del medio externo no son óptimas para ello. También se ha demostrado el uso de células vivas, que colocadas dentro de los glóbulos internos de una emulsión múltiple, generan nuevos productos, como es el caso de la reducción de nitrato a nitrito.

### II.6.2 Liberación Controlada

La liberación controlada se fundamenta en la necesidad de dosificar determinadas sustancias, habitualmente productos farmacéuticos, de una manera constante a lo largo del tiempo teniendo en cuenta que es necesario evitar una sobredosis perjudicial y una dosis insuficiente que no llegara a producir la respuesta terapéutica deseada [Osada, 1992].

La liberación controlada de medicamentos, evita los cambios bruscos de concentraciones que se obtienen con la dosificación de medicamentos de forma tradicional, como el consumo de píldoras e inyecciones cada cierto tiempo [Cárdenas, 1993].

Uno de los problemas que presenta este tipo de aplicación es el de la estabilidad de la emulsión múltiple, por lo cual se ha tratado de estabilizar la emulsión agregando compuestos que aumentan la viscosidad de la misma, o utilizando membranas polimerizadas para hacerlas mas resistentes. Se ha encontrado también que la liberación del medicamento depende de la composición de la membrana, el tipo de droga a transferir, la concentración de la droga en la fase interna y la composición de la fase interna y externa.



## CAPÍTULO II. EMULSIONES MÚLTIPLES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

En la cosmética también se utiliza mucho la liberación controlada, como en el caso de las cremas que contienen emulsiones múltiples, las cuales presentan una acción trifásica: la fase acuosa más externa garantiza la hidratación inmediata de las capas cutáneas superiores. En la segunda fase, las gotitas oleosas se funden para formar una capa protectora; en la tercera fase, el agua más interna es liberada continuamente, garantizando una hidratación cutánea persistente.

En resumen, la liberación controlada de compuestos ha encontrado aplicabilidad en los campos de la medicina, farmacia, agricultura, ingeniería química, industria de alimentos, entre otros.

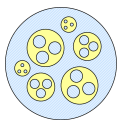
### II.6.3 Transportadores

En los procesos mencionados, el transporte de uno o varios compuestos a través de la membrana líquida puede ocurrir por solubilidad preferencial del mismo en la membrana o por la adición de compuestos en la membrana capaces de acoplarse con alguna molécula específica que aumenta la solubilidad de la especie a separar; estos compuestos son conocidos como **transportadores**.

Los transportadores son compuestos muy solubles en la membrana e insolubles en las fases externas e interna que la membrana separa. También forman complejos que se disocian al llegar al otro lado de la membrana y en algunos casos son muy selectivos a cierto componente en particular.

El transporte ocurre mediante cuatro etapas, [Cárdenas, 1995]:

1. Formación de uno o más complejos entre el compuesto o los compuestos a transferir y el transportador de un lado de la membrana.
2. Paso de los complejos a través de la membrana.
3. Disociación de los complejos, liberándose así el compuesto o los compuestos a transferir en el otro lado de la membrana.
4. Difusión del transportador hacia el otro lado de la membrana.



## CAPÍTULO II. EMULSIONES MÚLTIPLES.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

Este proceso se puede observar en la Figura II,9.

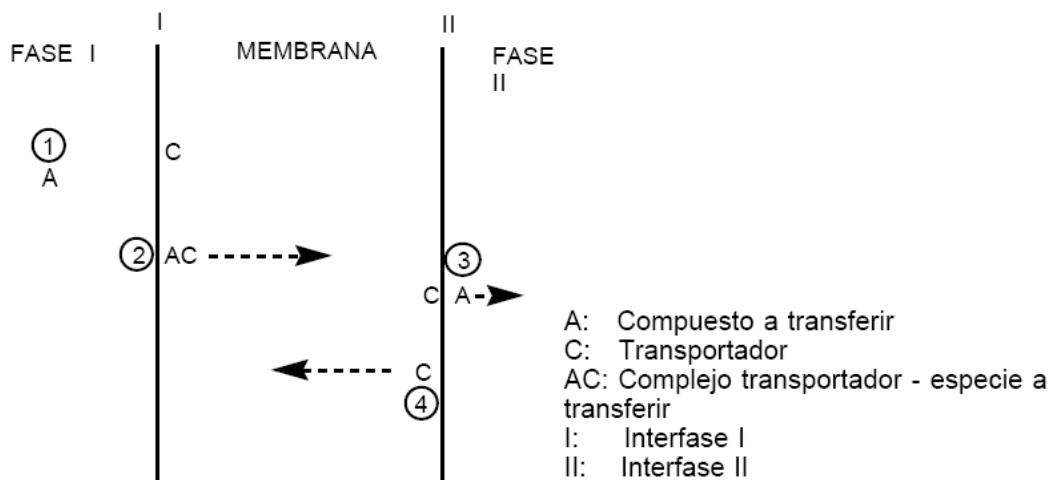
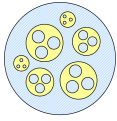


Figura II.9 Etapas de transporte de una especie a través de una membrana utilizando un transportador.

Se puede transportar una especie en un sentido y otra en sentido inverso, e incluso se puede transportar una especie en contra de su gradiente de concentración, permitiendo así la concentración de esta especie.

Entre los transportadores mas utilizados se pueden mencionar algunos derivados del ácido fosfórico (utilizados en la separación del Zn) como el di-(2-etilhexil) fosfato (DEHPA) y el Tributíl fosfato (TBP), las aminas (utilizadas en la reducción del nitrato a nitrito), y los compuestos tipo éter corona (utilizados para separar cationes y ácidos carboxílicos en grupos poliésteres),

En las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$ , la fase intermedia o fase membrana corresponde a una fase orgánica, por lo tanto para transportar sustancias a través de ella se deben utilizar extractantes orgánicos. En esta investigación se utilizaron como transportadores el DEHPA y el TBP.



#### II.6.4 Problemas en el uso de Emulsiones Múltiples

Ahora se presentan algunos problemas en el empleo de las emulsiones múltiples como membranas líquidas, que hacen que actualmente sean poco aplicables a nivel industrial.

Como la membrana líquida es un líquido emulsionado, presenta los mismos problemas de inestabilidad que presenta toda emulsión.

Si las gotas internas son muy grandes y la membrana esta mal formulada, puede **romperse** liberando el contenido que se encuentra dentro de ellas y afectar negativamente el proceso de separación. Si se desea liberar controladamente una especie también se ve afectado negativamente a este proceso, ya que se liberaría toda la especie sin dosificar.

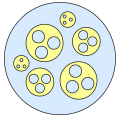
Si las gotas internas no son grandes, igualmente pueden **hincharse** debido a la transferencia de masa dirigida hacia ellas causada por la presión osmótica, haciendo que la membrana se haga más fina y se rompa [Castro, 2003].

Por otra parte, un factor limitante es la **selectividad** de la membrana; esta aumenta con el uso de transportadores lo cual conlleva a otro problema que es la pérdida de los mismos. Puede darse el caso en que los **transportadores se escapen** de la membrana aún siendo poco solubles en las fases internas o externas de la membrana.

Si se lograrán controlar estos factores de forma precisa y segura, se ampliaría en gran magnitud el campo de desempeño de las emulsiones múltiples en la industria.

#### II.7 Estabilidad de las Emulsiones Múltiples

Cuando se trata de una emulsión múltiple, el término de estabilidad involucra dos situaciones: rompimiento de la gota que contiene gotas (la membrana líquida) o coalescencia de las mismas.



#### II.7.1 Rompimiento de la membrana líquida

En este caso el rompimiento de la emulsión múltiple se refiere a cuando las gotas mas internas  $W_1$  “salen” hacia la fase externa  $W_2$ , por el rompimiento de la membrana o fase inmiscible que las mantiene separadas. Una manera de medir la cantidad de gotas que se rompen es a través de la conductividad. Cuando  $W_1$  y  $W_2$  presentan salinidades diferentes, el rompimiento de la emulsión produce un cambio en la conductividad de la fase externa. Si la fase interna presenta una conductividad mayor (salinidad mayor) a la fase externa, la conductividad de la fase externa ira aumentando a medida que se liberan mas gotas internas. El porcentaje de rompimiento se calcula como:

$$\text{Porcentaje de rompimiento [\%]} = \frac{kt}{kt_{\infty}} \cdot 100$$

Donde  $kt$  es la conductividad para el tiempo  $t$  y  $kt_{\infty}$  es la conductividad a tiempo infinito, medida como si toda la fase interna acuosa estuviese solubilizada en la fase externa.

#### II.7.2 Coalescencia

Se dice que ocurre la coalescencia cuando las gotas de la emulsión múltiple, ya sean las internas o las intermedias, se acercan entre ellas y se “juntan” unas con otras formando una sola gota de mayor tamaño. Para que se produzca la coalescencia, es necesario que la película interfacial que rodea las gotas haya adelgazado tanto que las perturbaciones interfaciales la puedan romper. En este caso la efectividad de los agentes tensoactivos no es suficiente como para impedir la coalescencia.

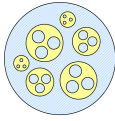
En este estudio se hará referencia al primer tipo de rompimiento.



[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**CAPÍTULO III:  
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA RECIENTE**

---



## CAPÍTULO III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA RECIENTE.

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

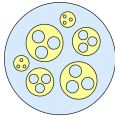
La ciencia más útil es aquella cuyo  
fruto es el más comunicable.

L.da Vinci

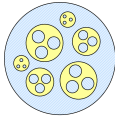
### Revisión bibliográfica reciente

A continuación se listan algunos de los avances de las membranas líquidas emulsionadas a partir del nuevo milenio.

- **Diseño y prueba de una planta piloto que emplea membranas líquidas emulsionadas.** Con la finalidad de remover cadmio de corrientes de desecho y proceso, se diseñó una columna con un contactor de disco rotatorio para membranas líquidas emulsionadas y una columna con contactor spray. El proceso de diseño se basó en métodos de extracción con solvente. Se empleó trilaurilamina (1%) en querosén como extractante. Los experimentos mostraron una reducción del cadmio por debajo del 1% de su valor inicial, cuando se empleó el contactor de disco rotatorio, la eficiencia de la columna spray fue del 50%. Los resultados experimentales concordaron satisfactoriamente con los cálculos basados en los métodos de diseño para la extracción con solvente, por lo que estos se pueden aplicar para las membranas líquidas emulsionadas (Breembroek GRM, Witkamp G., Van Rosmalen G, 2000). Este estudio muestra los avances en el diseño de las columnas de extracción que utilizan membranas líquidas.



- **Rompimiento de emulsiones múltiples bajo presión osmótica y el efecto de la relación  $W_1/O$ :** Se prepararon emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$  de fase interna acuosa concentrada en sal, para producir gradientes de presión osmótica. Las emulsiones estudiadas fueron de bajo contenido de fase dispersa. También se estudió el comportamiento de las mismas variando la relación de  $W_1/O$ . Para medir los resultados se utilizó la microscopía, medidas de conductividad y medidas reológicas. Con la microscopía se observó un aumento del volumen de la fase dispersa, hasta alcanzar un máximo, luego del cual comenzó a disminuir por rompimiento de las gotas. Las medidas reológicas presentaron un comportamiento similar con la viscosidad. También se observó que a medida que la relación  $W_1/O$  disminuye, el rompimiento de las emulsiones múltiples es más lento [Cárdenas; Castro, 2003].
- **Efectos de la acidez y salinidad de la fase acuosa en el hinchamiento isotónico de membranas líquidas emulsionadas  $W/O/W$  bajo condiciones de agitación:** Se usó un surfactante no iónico [EMSORB 2005] para estabilizar las membranas. La acidez de la fase acuosa se controló usando ácido sulfúrico y la salinidad usando sulfato de sodio. El hinchamiento de las Emulsiones Múltiples fue monitoreado de forma continua usando un electrodo de conductividad en línea. La tasa de hinchamiento de las Emulsiones Múltiples resultó fuertemente influenciada por la acidez y salinidad de la fase acuosa. Se encontró también que tanto la difusividad como la estabilidad de las gotas internas de agua está fuertemente influenciada por la acidez y salinidad de la fase acuosa [Yan; Pal, 2004].
- **Separación del zinc de soluciones acuosas utilizando membranas líquidas emulsionadas. La influencia del pH.** En este estudio se prepararon emulsiones múltiples por el método de dos pasos y se usaron para extraer iones de zinc de la fase continua externa de la emulsión. En la extracción se utilizó querosén como fase membrana, DEHPA como transportador del zinc, SPAN 20 como surfactante y una solución de ácido sulfúrico en la fase interna de la emulsión. Se estudió el efecto de los protones (pH) en la extracción del zinc. Los resultados muestran que a pH inferior a 3, la extracción no es posible y que se puede mejorar significativamente la extracción si se neutraliza continuamente la fase



## CAPÍTULO III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA RECIENTE.

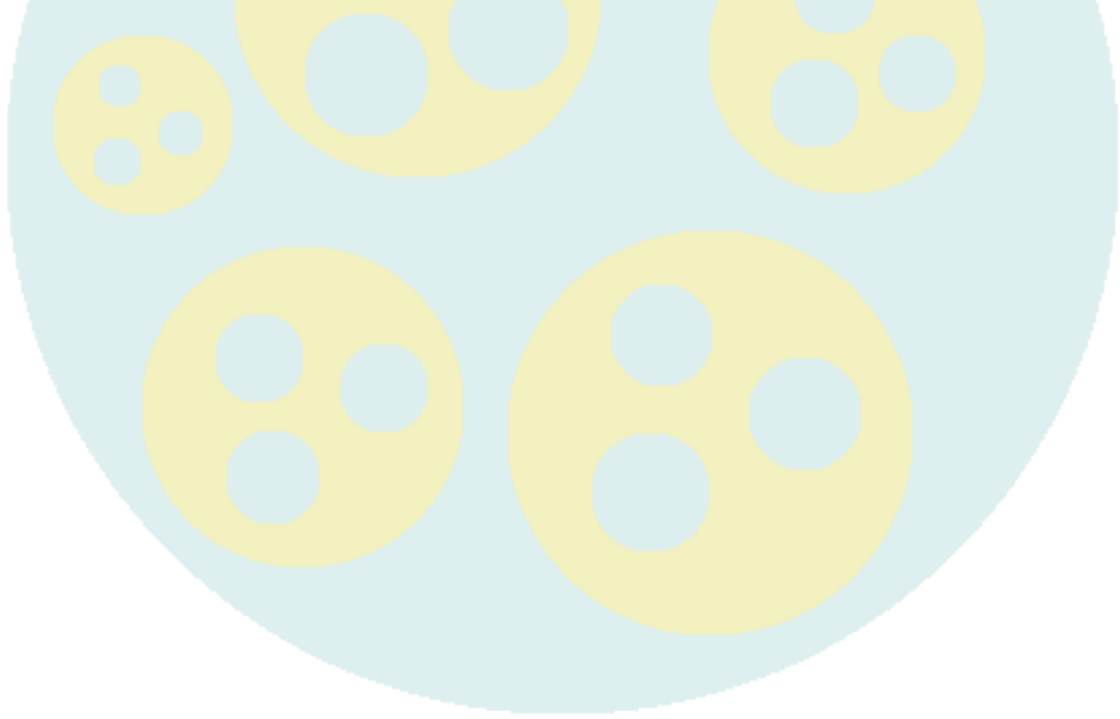
### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

externa con NaOH. También se propuso un modelo de extracción que indica que la velocidad de extracción es proporcional a la concentración de iones zinc e inversamente proporcional a la concentración de protones (Bullón; Cárdenas y col., 2005).

- o **Estudio de la estabilidad de las emulsiones múltiples.** Se estudió la influencia del ácido bis 2-etilhexil fosfórico (DEHPA), un transportador de metales pesados) sobre la estabilidad de emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$  con querosén o parafina como fase aceite y SPAN 80 y/o SPAN 20 como agentes emulsionantes. Se encontró que el DEHPA hace inestables las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$  con fase aceite parafina cuando el HLB de la mezcla de SPAN 80 y SPAN 20 utilizada como agente emulsionante está entre 4,3 y 7,53. Sin embargo, cuando se utilizó SPAN 20 sólo, la emulsión múltiple obtenida con parafina fue estable. Cuando la fase aceite usada fue el querosén, todas las emulsiones múltiples preparadas fueron estables. También se realizaron barridos de HLB con el fin de relacionar el efecto del DEHPA sobre el comportamiento de fase de los sistemas S-O-W con querosén o parafina como fase aceite con la estabilidad de las emulsiones múltiples. Se observó que el DEHPA presenta un acortamiento de la zona trifásica de los sistemas con fase aceite parafina, mientras que no tiene efecto notorio sobre los sistemas con fase aceite querosén [Skwierinski, 2007].

El estudio anterior hace énfasis en el efecto de la formulación de la emulsión múltiple sobre su estabilidad. El estudio realizado por esta tesis sigue en la línea trazada por el trabajo hecho por Skwierinski y pretende ahondar más en el conocimiento de este tema particular.

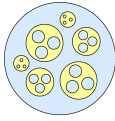
Es importante señalar, que hay muchos estudios sobre emulsiones múltiples, la mayoría de ellos en relación a la separación o liberación controlada de compuestos. También hay bastantes trabajos sobre el diseño de equipos para realizar la separación con emulsiones múltiples, pero a nuestro conocimiento, el estudio de la influencia de los componentes de la emulsión, especialmente en su fase orgánica (para una emulsión  $W_1/O/W_2$ ) es muy escaso.



[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**CAPÍTULO IV:  
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

---



## CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

En torno de la esencia está  
la morada de la ciencia.

Platón

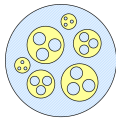
#### IV.1 Materiales y Equipos

Los **materiales** a utilizar para preparar las emulsiones múltiples y hacer los barridos de formulación son,

- ✓ Sal: Cloruro de sodio
- ✓ Aceites: Querosén, Parafina y Heptano.
- ✓ Agua destilada
- ✓ Agentes emulsionantes: Span 80, Span 20, Tween 85 y Tween 80.
- ✓ Transportadores: DEHPA y TBP.
- ✓ Alcohol: Sec-butanol

El cloruro de sodio (Riedel-de Haën, grado extra puro), la parafina (IQE), el n-heptano (J.T Baker, 99,4 % de pureza) y el querosén fueron proporcionados por *Científica Andina*. La parafina es una mezcla de hidrocarburos alcanos y el querosén es una mezcla de hidrocarburos alcanos, aromáticos, naftenos, entre otros.

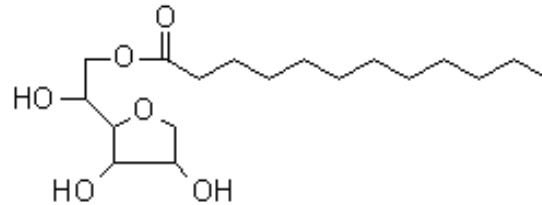
Los esteres de sorbitan o agentes emulsionantes, fueron suministrados por la casa Sigma. La serie Span son surfactantes no iónicos lipofílicos, predominando el carácter lipofílico en el Sorbitan monooleato o Span 80 (HLB=4,3), mas que en el



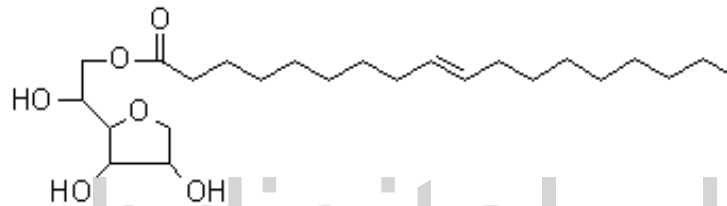
## CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

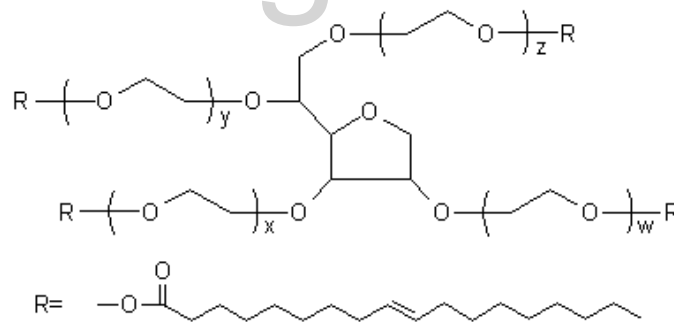
Sorbitan monolaurato o Span 20 (HLB=8,6). La serie Tween son surfactantes no iónicos hidrofílicos, predominando el carácter hidrofílico en el Polisorbato 80 o Tween 80 (HLB=15), mas que en el Tween 85 (HLB=11). Estos surfactantes pueden utilizarse en industrias alimenticias, farmacéuticas o cosméticas debido a su baja toxicidad. Las estructuras moleculares se presentan a continuación,



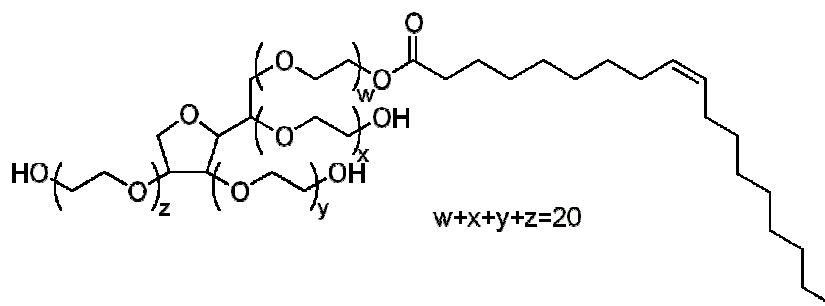
SPAN 20



SPAN 80

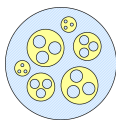


TWEEN 85



TWEEN 80

Figura IV.1 Estructura molecular de los agentes emulsionantes.



## CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

El DEHPA (Sigma) y TBP (Eastman) fueron proporcionados por Científica Andina. El DEHPA está constituido por una pequeña cabeza polar y por dos largas cadenas alifáticas hidrocarbonadas, lo que favorece la solubilidad en la fase orgánica, al igual que el TBP, conformado por una cabeza polar y tres largas cadenas alifáticas hidrocarbonadas. La figura IV.2 muestra la estructura de ambos compuestos.

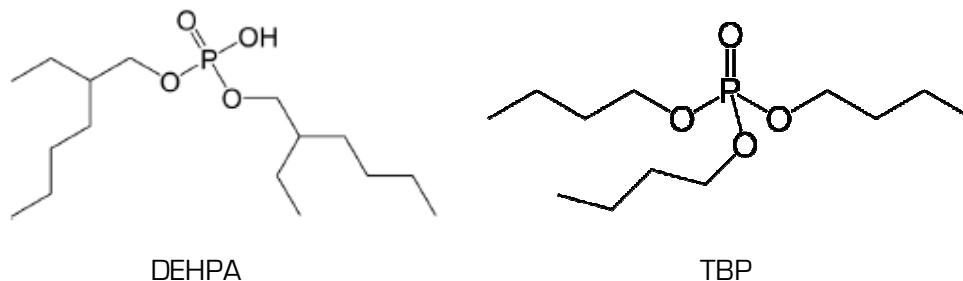
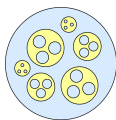


Figura IV.2 Estructura molecular del DEHPA y del TBP.

Los **equipos** utilizados son,

- ✓ Para preparar las soluciones utilizadas en las emulsiones:
  - Cilindros graduados de 100, 250 y 500 ml.
  - Balón aforado de 1000 ml.
  - Vasos de precipitado (vidrio) de 100 y 250 ml.
  - Balanza analítica DENVER. Modelo APX - 200.
- ✓ Para preparar la emulsión primaria:
  - Vaso de precipitado (plástico) de 1000ml
  - Agitador OSTER.
  - Cronómetro
- ✓ Para preparar la emulsión múltiple:
  - Vaso de precipitado (vidrio) de 1000ml
  - Deflectores
  - Agitador IKA Eurostar Power Basic.
  - Conductímetro Orion. Modelo 150.
  - Conductímetro Meter Lab. Modelo CDM 210.
  - Termómetro
  - Plancha Corning. Modelo PC - 420.
  - Cronómetro



## CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

- ✓ Para hacer los barridos de formulación:
  - Tubos de ensayo graduados de 10 ml
  - Balones aforados de 50, 100 y 500 ml
  - Buretas de 25 y 50 ml
  - Pipetas graduadas de 1 y 2 ml
  - Vasos de precipitado de 50 ml
  - Una gradilla

Algunos de los equipos se observan en la figura IV.3



Agitador OSTER

Balanza DENVER

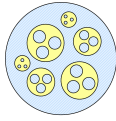
Conductímetro METER LAB

Figura IV. 3 Algunos de los equipos utilizados para la metodología experimental

## IV.2 Procedimiento

### IV.2.1 Preparación de soluciones utilizadas en las emulsiones:

**Solución de cloruro de sodio al 0,5% p/v**, se prepara pesando 5 g. de cloruro de sodio en la balanza analítica y diluyéndolos en el balón de 1000 ml hasta su aforo.



## CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

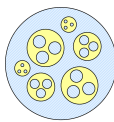
**Solución de 1% p/p de Span 20 o Span 80 en querosén**, se prepara pesando 1,80 g. de span en la balanza analítica y se agrega querosén hasta que la solución total pese 180 g.

**Solución de 1% p/p de Span 20 o Span 80 en parafina**, se prepara pesando 1,50 g. de span en la balanza analítica y se agrega parafina hasta que la solución total pese 150 g.

**Solución de 1% p/p de Span 80 y 0,1 % de TBP o DEHPA en parafina**, se prepara pesando 1,50 g. de span y 0,15 g. de TBP o DEHPA en la balanza analítica y se agrega parafina hasta que la solución total pese 150 g. Para las soluciones similares donde aumenta el porcentaje de transportador, se sigue el mismo procedimiento, con las cantidades respectivas.

**Solución de 0,057% p/v de cloruro de sodio**, que se utiliza para medir la conductividad a tiempo infinito para las emulsiones de WOR=30/70 y fracción volumétrica de emulsión primaria igual a 0,3. Corresponde a una solución donde el soluto es la cantidad de cloruro de sodio que se encuentra en la fase interna  $W_1$  (0,36g. de cloruro de sodio) y el solvente la cantidad de agua en la fase interna mas la cantidad de agua en la fase externa (632ml de agua destilada). Se prepara por dilución de la solución de cloruro de sodio al 0,5% p/v, midiendo 85,5 ml de la misma y completando con agua destilada hasta 750 ml.

**Solución de 0,083% p/v de cloruro de sodio**, que se utiliza para medir la conductividad a tiempo infinito para las emulsiones de WOR=30/70 y fracción volumétrica de emulsión primaria igual a 0,4. Corresponde a una solución donde el soluto es la cantidad de cloruro de sodio que se encuentra en la fase interna  $W_1$  (0,48g. de cloruro de sodio) y el solvente la cantidad de agua en la fase interna mas la cantidad de agua en la fase externa (576ml de agua destilada). Se prepara por dilución de la solución de cloruro de sodio al 0,5% p/v, midiendo 124,5 ml de la misma y completando con agua destilada hasta 750 ml.



## CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

**Solución de 0,125% p/v de cloruro de sodio**, que se utiliza para medir la conductividad a tiempo infinito para las emulsiones de WOR=50/50 y fracción volumétrica de emulsión primaria igual a 0,4. Corresponde a una solución donde el soluto es la cantidad de cloruro de sodio que se encuentra en la fase interna  $W_1$  (0,8g. de cloruro de sodio) y el solvente la cantidad de agua en la fase interna mas la cantidad de agua en la fase externa (640ml de agua destilada). Se prepara por dilución de la solución de cloruro de sodio al 0,5% p/v, midiendo 187,5 ml de la misma y completando con agua destilada hasta 750 ml.

#### IV.2.2 Preparación de la emulsión primaria ( $W_1/O$ ):

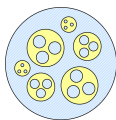
**Emulsiones con WOR=30/70 y fracción volumétrica de emulsión primaria de 0,3**, se preparan 240 ml de emulsión, agregando poco a poco 72ml (correspondiente al 30% volumétrico) de solución de cloruro de sodio a 168 ml (correspondiente al 70% volumétrico) de solución de querosén o parafina, a medida que se agita con el agitador OSTER, La agitación se mantiene durante 60 s.

**Emulsiones con WOR=30/70 y fracción volumétrica de emulsión primaria de 0,4**, se preparan 320 ml de emulsión, agregando poco a poco 96ml (correspondiente al 30% volumétrico) de solución de cloruro de sodio a 224 ml (correspondiente al 70% volumétrico) de solución de querosén o parafina, a medida que se agita con el agitador OSTER, La agitación se mantiene durante 60 s.

**Emulsiones con WOR=50/50 y fracción volumétrica de emulsión primaria de 0,4**, se preparan 320 ml de emulsión, agregando poco a poco 160ml (correspondiente al 50% volumétrico) de solución de cloruro de sodio a 160 ml (correspondiente al 50% volumétrico) de solución de querosén o parafina, a medida que se agita con el agitador OSTER, La agitación se mantiene durante 60 s.

#### IV.2.3 Preparación de la emulsión múltiple ( $W_1/O/W_2$ ):

**Emulsiones múltiples con fracción volumétrica de emulsión primaria =0,3**, se preparan 800ml de emulsión múltiple, agregando 240ml de emulsión primaria (correspondiente al 30% volumétrico) a 560ml (correspondiente al 70% volumétrico)



## CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

de agua destilada. El agua destilada se encuentra previamente en un vaso de precipitado de vidrio que contiene los deflectores, instalado en el montaje experimental que se observa en la figura IV.2. Al agregar la emulsión primaria se comienza la agitación con el agitador IKA Eurostar Power Basic a 900 rpm durante 60 min.

**Emulsiones múltiples con fracción volumétrica de emulsión primaria =0,4**, se preparan 800ml de emulsión múltiple, agregando 320ml de emulsión primaria [correspondiente al 40% volumétrico] a 480ml [correspondiente al 60% volumétrico] de agua destilada. Se utiliza el montaje experimental mencionado en anteriormente, el cual se muestra en la figura IV.4. Para estos sistemas la agitación se realiza a 800rpm durante 60 min.

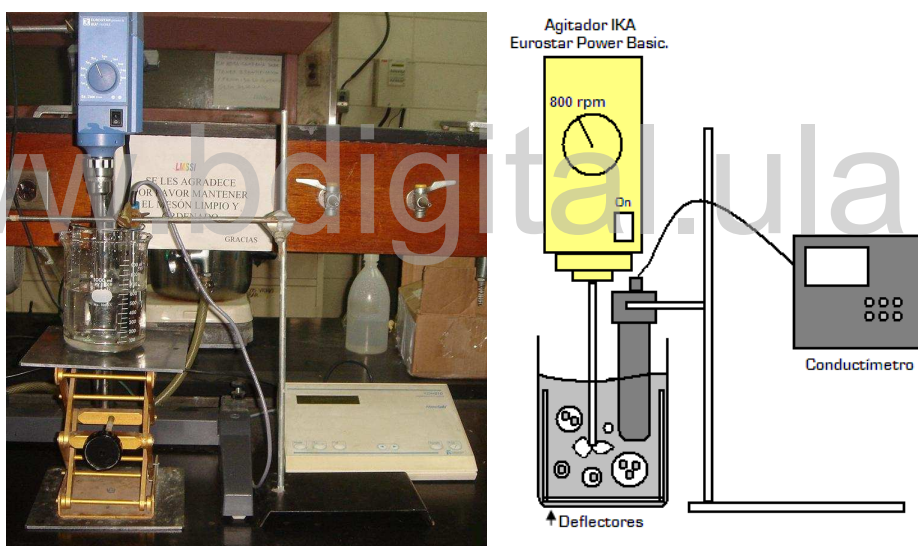
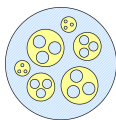


Figura IV.4 Montaje experimental para medir la conductividad de las emulsiones múltiples durante agitación.

Se toman medidas de conductividad cada minuto, y se calcula el porcentaje de rompimiento de la emulsión múltiple para cada tiempo, de la siguiente forma,

$$\%Rompimiento = \frac{Conductividad_{SISTEMA} - Conductividad_{FASE EXTERNA}}{Conductividad_{t\infty}} * 100$$



## CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

La conductividad de la fase externa es la conductividad del agua destilada, la cual se mide antes de agregar la emulsión primaria (a la temperatura de trabajo en el laboratorio). Y la conductividad a tiempo infinito ( $t_{\infty}$ ) es la conductividad del sistema si toda la fase interna pasara hacia la fase externa, es decir, un rompimiento total de las emulsiones múltiples. Se mide la conductividad de esta solución.

Las emulsiones múltiples preparadas y sus características se muestran en la tabla IV.1. Todas contienen solución de Cloruro de Sodio al 0,5 % p/v como fase acuosa interna ( $W_1$ ) y agua destilada como fase acuosa externa ( $W_2$ ).

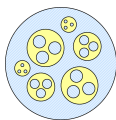
Tabla IV.1. Características de las emulsiones múltiples preparadas para el estudio de su estabilidad en función del tiempo.

Tipo de Aceite	Porcentaje transportador	Tipo de transportador	WOR	Fracción vol de la EP. *	Agente emulsionante		
<b>Querosén</b>	–	–	30/70	0,4	1 % Span 20		
	–	–					
<b>Parafina</b>	–	TBP	50/50	0,3	1 % Span 80		
	0,1						
	0,1						
	0,5						
	1	DEHPA					
	0,1						
	0,5						
<b>Parafina con 25 % Heptano</b>	0,1	TBP	30/70	0,3	1 % Span 80		
	0,5	DEHPA					
	0,1						
	0,5						
<b>Parafina con 50 % Heptano</b>	0,1	TBP	30/70			0,3	1 % Span 80
	0,5	DEHPA					
	0,1						
	0,5						
<b>Parafina con 75 % Heptano</b>	0,1	TBP	30/70	0,3	1 % Span 80		
	0,5	DEHPA					
	0,1						
	0,5						

\*EP : Emulsión Primaria.

#### IV.2.4 Preparación de soluciones utilizadas en los barridos de formulación:

**Salmuera al 10% p/v**, se prepara pesando 10 g. de cloruro de sodio en la balanza analítica y diluyéndolos en el balón de 100 ml hasta su aforo.



## CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

**Solución madre al 4% p/v del agente emulsionante (Span 80, Span 20, Tween 85 y Tween 80) en parafina**, se prepara pesando 4 g. del agente emulsionante en la balanza analítica y se diluye en el balón de 100 ml hasta su aforo.

**Solución madre al 4% p/v del transportador (DEHPA y TBP) en parafina**, se prepara pesando 4 g. del transportador en la balanza analítica y se diluye en el balón de 100 ml hasta su aforo.

#### IV.2.5 Preparación del barrido de formulación:

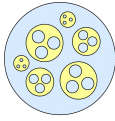
Para modificar de manera controlada la formulación de los sistemas surfactante-agua-aceite que se utilizan para las emulsiones múltiples, se realizan barridos unidimensionales de formulación, en donde la variable de barrido es el HLB.

Se preparan cinco sistemas o barridos, modificando la composición de la fase aceite. Luego se le agrega a varios de ellos los transportadores en estudio. La descripción de cada sistema y la variación de HLB respectiva se muestra en la Tabla IV.2.

Tabla IV.2. Características de los barridos de formulación realizados.

Tipo de Aceite	Densidad	Transportador	HLB
Parafina	0,84	-	8   8,6   9   10   10,5   11
25 % Heptano en Parafina	0,80	-	8   8,6   9   10   10,5   11
		TBP	8   8,6   9   10   10,5   11
		DEHPA	8   8,6   9   10   10,5   11
50 % Heptano en Parafina	0,76	-	8   8,6   9   9,5   10   10,3   10,5   11   12   13
		TBP	8   9   9,5   10   10,5   10,8   11
		DEHPA	8   8,6   9   10   10,5   11
75 % Heptano en Parafina	0,74	-	8   8,6   9   10   10,5   11   12   13
		TBP	8   9   9,5   10   10,5   10,8   11
		DEHPA	8   9   9,5   10   10,5   10,8   11
Heptano	0,7	-	8   8,6   9   10   10,3   10,5   11   11,5   12   13

Generalmente la composición se escoge para que el punto representativo del sistema este situado en medio de la zona polifásica del diagrama de Winsor, es decir, con un bajo porcentaje de surfactante y volúmenes iguales de agua y aceite.



## CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

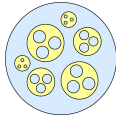
Para estudiar el comportamiento de fases con una relación de agua y aceite semejante a la utilizada para preparar las emulsiones primarias se fija una relación de 40/60. El porcentaje de surfactante es 1% p/p en la fase aceite, esto equivale a un porcentaje en p/v del sistema global diferente para cada fase orgánica utilizada, debido a la variación de sus densidades. Para el porcentaje de transportador que es 0,5% p/p en la fase aceite ocurre lo mismo. Por ejemplo, para los barridos con fase orgánica parafina el porcentaje de surfactante representa un 0,50% p/v del sistema total y el transportador un 0,25% p/v del mismo.

El volumen total que se utiliza es 10 ml. Adicionalmente se agrega 1% p/v de sec-butanol, alcohol que posee afinidad casi igual por el aceite y por el agua, por tanto no modifica notablemente el HLD pero flexibiliza la película interfacial y acelera la obtención del estado de equilibrio.

Las características de cada sistema y la distribución de volúmenes en cada uno de ellos se presentan en los anexos de la Tabla A.24 a la Tabla A.32. El orden en que se agregan los componentes del sistema es el de la tabla de izquierda a derecha (los surfactantes de mayor a menor carácter lipofílico),

Luego de preparar la serie de tubos correspondientes a un barrido de HLB, se dejan equilibrar a temperatura constante (25°C) durante algunos días. El proceso de equilibrio puede acelerarse al aumentar el contacto entre fases, por ejemplo inclinando cuidadosamente cada tubo, pero evitando toda agitación capaz de producir una emulsión.

Al momento de levantar los barridos de formulación, se localiza la zona trifásica ya que en su vecindad se presenta cierta turbidez debido a la difusión de la luz por las estructuras formadas por el surfactante (micelas hinchadas). Para determinar que fase contiene la mayor parte del surfactante ( $\bar{2}$  o  $\underline{2}$ ) se puede utilizar un láser de bolsillo ya que el haz de luz coherente es visible por el efecto Tyndall. Las micelas que forma el surfactante (en la fase en la que se encuentran más cómodo), gozan de la propiedad de reflejar y refractar la luz. De este modo, el trayecto que sigue el rayo luminoso en una solución micelar es visualizado gracias a las micelas, convertidas en centros emisores de luz.



## CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

#### IV.2.1 Efecto de la temperatura sobre el rompimiento de la emulsión múltiple.

Se sigue el mismo procedimiento para la preparación de la emulsión múltiple y se agrega al montaje experimental un baño de María para calentar gradualmente la emulsión múltiple y un termómetro para monitorear la temperatura. En la figura IV. 5 se observa el montaje experimental.



Figura IV.5 Montaje experimental para medir la conductividad de las emulsiones múltiples en función de la temperatura.

Se calienta aproximadamente a una velocidad de un 1°C por minuto y medio y se toman medidas de conductividad para cada grado C con el conductímetro Meter Lab [Modelo CDM 210] hasta llegar a 70 °C. Finalmente se calcula el porcentaje de rompimiento de la emulsión múltiple para cada temperatura de la siguiente forma:

$$\%Rompimiento_i = \frac{C_{sistema_i} - C_{fase\ externa_i}}{C_{t_{\infty}i}} * 100$$

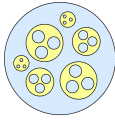
Donde  $i$  representa cada temperatura. Por lo tanto es necesario medir la conductividad del agua destilada y la conductividad al infinito en función de la temperatura hasta llegar a 70°C,.



[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**CAPÍTULO V:  
RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

Ciencia es aquella sobre la cual  
cabe siempre una discusión.

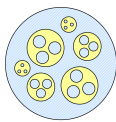
Ortega y Gasset

www.bdigital.ula.ve

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se estudia el comportamiento de la estabilidad de las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$  al modificar ciertas variables: la composición de la fase membrana (fase aceite), el tipo de surfactante utilizado, Span 80 y/o Span 20 y la relación de agua a aceite, desde un WOR = 30/70 a un WOR = 1. Luego con el sistema que presenta la menor estabilidad se estudia el efecto del transportador TBP sobre la emulsión.

También se realiza una serie de sistemas idénticos entre ellos variando sólo la cantidad y tipo de transportador en la fase aceite (un barrido de concentración de transportador en la fase aceite) entre 0,1%, 0,5% y 1% p/p y el tipo entre DEHPA y TBP para analizar de forma controlada el efecto que causa cada uno de ellos y su concentración en la estabilidad de la emulsión. Una vez conocida la influencia del transportador en ese tipo de sistema escogido, se repite el procedimiento variando la composición de la fase membrana al agregarle progresivamente heptano. Con esto se



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

busca analizar el comportamiento de los transportadores no sólo al variar su concentración en el sistema sino también la composición en el solvente donde se movilizan.

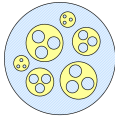
Se analiza el efecto de la temperatura al comparar un sistema estudiado a temperatura constante con el mismo sistema pero esta vez aumentándole la temperatura gradualmente.

Por último, para corroborar el comportamiento obtenido de cada sistema se realizan barridos de formulación con y sin transportador usando como variable de barrido el HLB.

El mecanismo de rompimiento progresivo de las emulsiones múltiples obtenidas  $W_1/O/W_2$  comienza cuando se transfiere agua de la fase acuosa externa ( $W_2$ ) a las gotas internas que se encuentran cercanas a la superficie, hasta que la membrana oleosa se hace tan delgada que no se puede estirar más y se rompe; en este momento se libera fase acuosa interna ( $W_1$ ) que contiene electrolitos. A medida que aumenta el rompimiento de la emulsión múltiple, la fase externa presenta un aumento de la salinidad lo cual se evidencia con el aumento de la conductividad. También contribuye en menor medida en el rompimiento el contacto de las gotas con el agitador. Este mecanismo de rompimiento ha sido estudiado antes (Castro et al., 2003)

#### **Efecto del tipo de surfactante en la estabilidad de la emulsión múltiple.**

Para los sistemas preparados con querosén/Span 20 y querosén/Span 80 se observa el porcentaje de rompimiento de la emulsión múltiple en función del tiempo en la figura V.1. Los ésteres de sorbitan utilizados como surfactantes se encuentran disueltos en la fase aceite en ambos sistemas, por ser surfactantes de carácter lipofílico. Ellos estabilizan a las gotas de emulsión primaria para mantenerlas como emulsiones  $W_1/O$ .



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

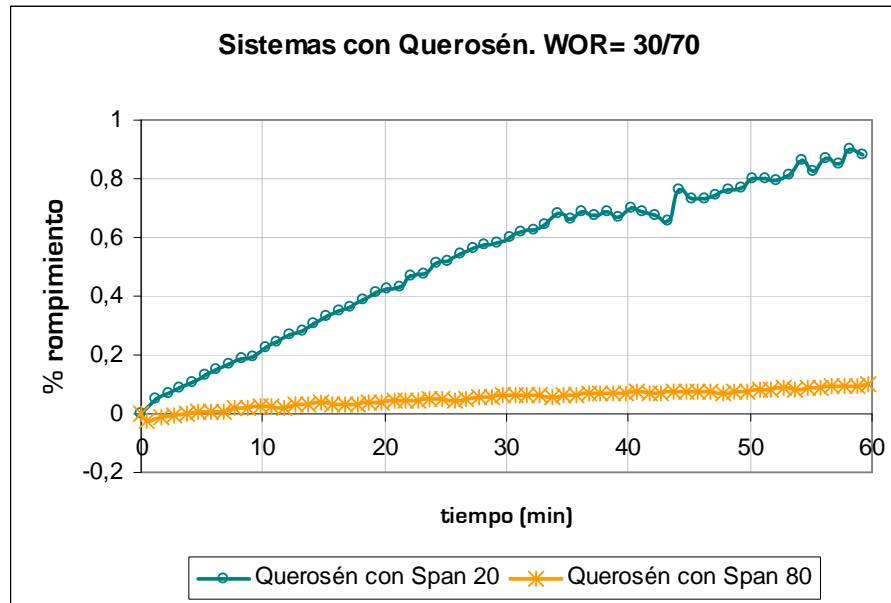
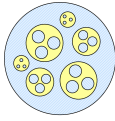


Figura V.1 Estabilidad de los sistemas con Querosén/Span 20 y Querosén/Span 80 en función del tiempo

El porcentaje de rompimiento para el sistema con Span20, es mayor al porcentaje de rompimiento conseguido para el sistema con Span 80; esto se debe a un cambio en la formulación, específicamente a un cambio en el HLB del agente emulsionante. Lo que hace que una emulsión se rompa mas fácilmente que la otra, es el desbalance de interacciones de la molécula anfifila con cada una de las fases.

El Span 80 presenta un HLB=4,3, valor menor al HLB=8,6 del Span 20, lo cual indica que el primero tiene mayor carácter lipofílico que el segundo, es decir, que presenta mayores interacciones con la fase aceite. Esta noción de interacción puede asociarse a la solvatación, la cual mide el número de moléculas de aceite que están ligadas con la molécula de surfactante. La cola lipofílica del Span 80, por ser mas larga que la del Span 20 [ver Figura IV.1], está ligada con un mayor número de moléculas de aceite y por tanto aumenta el alcance del efecto estérico que retarda el rompimiento de la película interfacial, aumentando su estabilidad.

La emulsión preparada con span 80 posiblemente presenta un valor de HLD mas lejano a la formulación óptima que las emulsiones preparadas con span 20, si todas las demás condiciones permanecen constantes; el término que varia en la ecuación del HLD al modificar el tipo de surfactante es el  $\alpha$  y el EON. Para el Span 20



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

el  $(\alpha - EON)/K = 15$  mientras que para el Span 80 el  $(\alpha - EON)/K = 33$  (Salager, 2001). Con esto se confirma que el Span 80, al contribuir en la ecuación de HLD con un valor mayor, aleja más al sistema de la formulación óptima. Se sabe la tensión interfacial en un sistema disminuye a medida que se acerca a la formulación óptima, por lo tanto se puede inferir que el sistema con span 80 presenta una tensión interfacial mayor.

Una alta tensión interfacial dificulta la deformación de las gotas de la emulsión, así como su rompimiento y pronta liberación de la fase interna ( $W_1$ ) a la fase más externa de la emulsión múltiple ( $W_2$ ), traduciéndose entonces un aumento de tensión interfacial en un aumento de estabilidad. Este efecto se puede observar en la Figura V.2 donde la curva de estabilidad vs formulación presenta un mínimo en el SAD=0 o formulación óptima cuando la tensión interfacial es ultra baja.

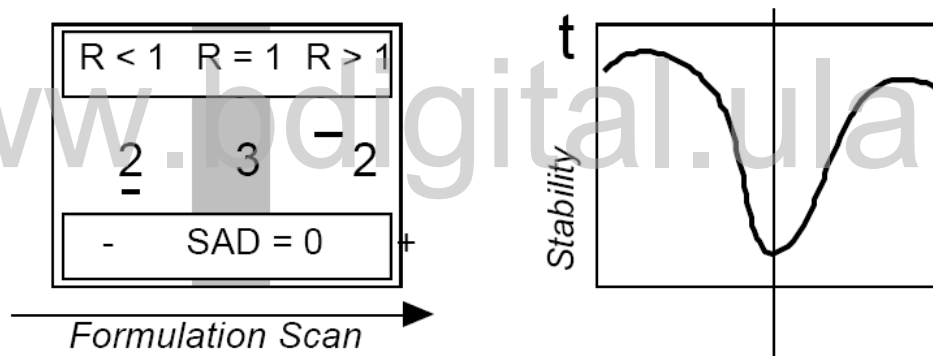


Figura V.2 Variación de la estabilidad de las emulsiones con la formulación (Salager, 1999).

#### Efecto de la relación fase acuosa/fase aceite (WOR) en la estabilidad de la emulsión múltiple.

Al modificar la cantidad de fase aceite en las emulsiones primarias se obtuvo el comportamiento observado en la Figura V.3.

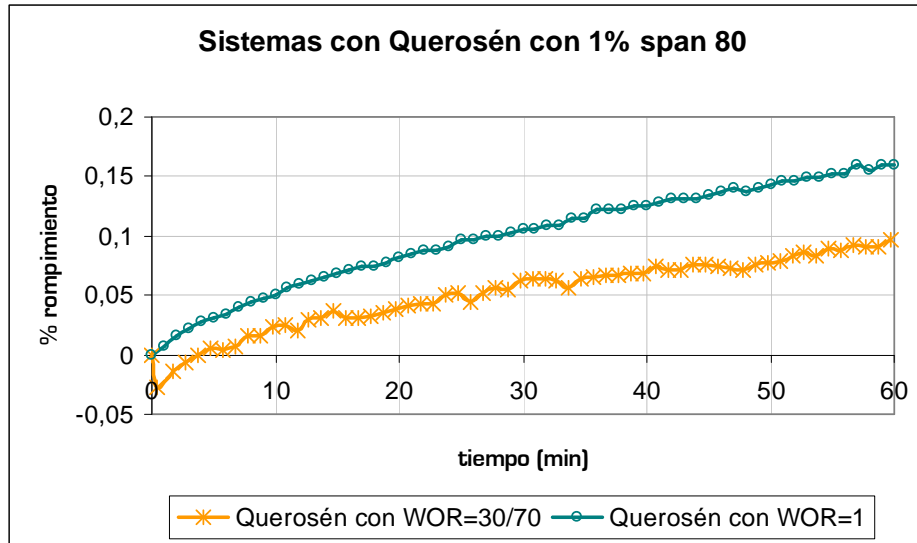
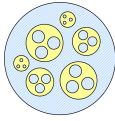
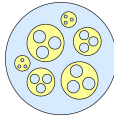


Figura V.3 Estabilidad de los sistemas con WOR= 30/70 y WOR=1 en función del tiempo

El sistema con una relación agua aceite (WOR) mayor presenta un porcentaje de rompimiento mayor, esto se debe a que la emulsión primaria del primero contiene menos cantidad de fase aceite, esto es, la fase membrana es más delgada y cuando ocurre la transferencia de masa entre la fase externa  $W_2$  e interna  $W_1$  de la emulsión múltiple, las gotas internas se hinchan y la película de aceite se estira hasta romperse. Mientras más delgada sea esta película mas rápido se rompe la emulsión.

#### Efecto de la composición de la fase aceite en la estabilidad de la emulsión múltiple.

Para comparar el efecto del EACN de la fase aceite, se prepara un sistema con parafina en lugar de querosén. El porcentaje de rompimiento en función del tiempo para ambos sistemas se presenta en la fig V.4.



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

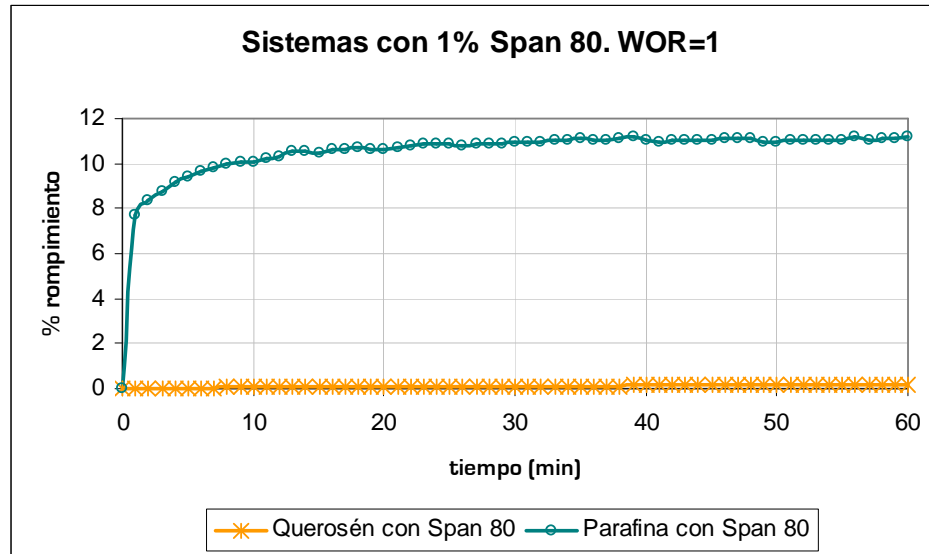
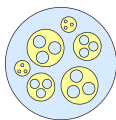


Figura V.4 Estabilidad de los sistemas con querosén y de los sistemas con parafina en función del tiempo

Se observa que el porcentaje de rompimiento para el sistema con parafina, llega a valores mayores que el sistema con fase aceite querosén. La diferencia de estabilidad para ambos sistemas puede explicarse debido a un cambio en el HLD del sistema. Como se explica en el capítulo I, el HLD donde el surfactante es no iónico etoxilado se calcula como:

$$\text{HLD} = \alpha - \text{EON} + \text{bS} - \text{kACN} + \text{t}\Delta\text{T} + \text{aA}$$

El ACN representa el número de átomos de carbono en el alcano (o EACN, para moléculas no lineales). La parafina (EACN aproximado de 13) presenta un valor de EACN mayor al querosén (EACN de 9,45). Un aumento del EACN en este caso produce una disminución del HLD. Cuando el HLD de un sistema es igual a cero, no existe variación con respecto a la formulación óptima. El HLD de un sistema con fase aceite parafina se acerca mas a cero (incluso, podría pasar a valores negativos, lo que desestabilizaría completamente la emulsión W/O. Este no parece ser el caso estudiado) que un sistema con querosén, obteniendo tensiones interfaciales menores, lo cual implica una mayor facilidad de rompimiento.



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

#### Efecto del tipo y concentración de transportador sobre la estabilidad de la emulsión múltiple.

Para estudiar el efecto de un transportador, como el TBP, en la estabilidad de las emulsiones múltiples, se prepara un sistema idéntico al sistema parafina/span 80 mencionado anteriormente, pero agregándole a la fase aceite antes de emulsionarla 0,1% p/p de TBP. En la figura V.5 se observa el comportamiento del sistema.

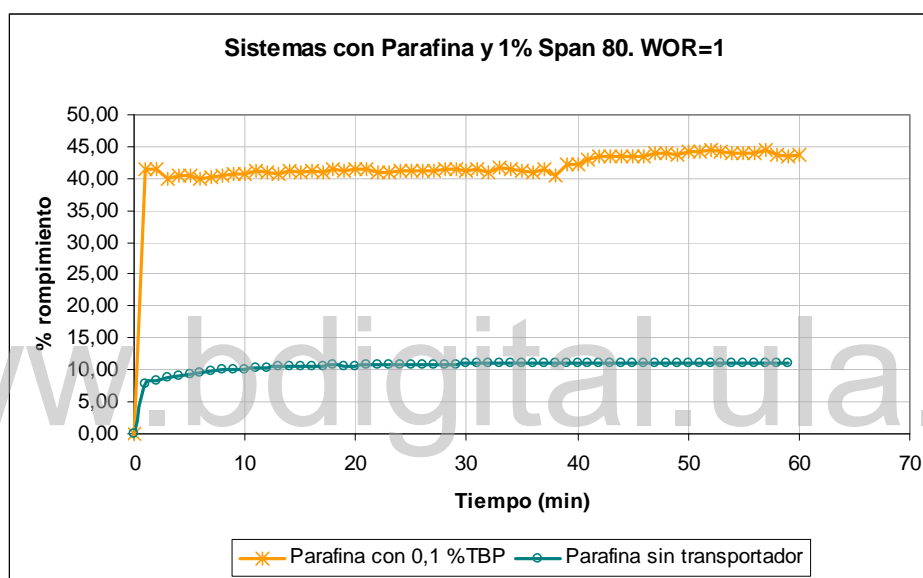
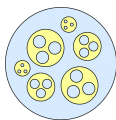


Figura V.5 Estabilidad de los sistemas con Parafina y Span 80 con y sin transportador.

Generalmente los transportadores deben presentar una doble afinidad polar-apolar, para poder interactuar con una sustancia polar y movilizarla a través de un medio apolar, (en el cual debe ser soluble) o viceversa. El TBP se compone de un grupo fosfato que tiende a asociarse con las moléculas polares y tres cadenas hidrocarbonadas las cuales tienen afinidad por los grupos apolares. Su estructura se muestra en la figura IV.2. Es por esto que las moléculas de TBP podrían actuar como co-surfactantes presentando una actividad interfacial; ellas migran a la interfase apartando las moléculas de surfactante adsorbidas y por tanto tienden a reducir la densidad interfacial y los efectos repulsivos asociados. Los transportadores son anfífilos menos eficaces en modificar la actividad interfacial que los surfactantes y por ello cuando un transportador desplaza una molécula de surfactante flexibiliza la película



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

interfacial facilitando su rompimiento. La presencia del TBP disminuye notablemente la estabilidad de la emulsión primaria y por consiguiente la estabilidad de la emulsión múltiple que la contiene.

Para observar el comportamiento del sistema en función de la concentración de transportador, se preparan tres sistemas similares (parafina, span 80 y WOR = 30/70) y se modifica la cantidad de TBP. En la figura V.6 se observan las concentraciones utilizadas y la tendencia de cada sistema.

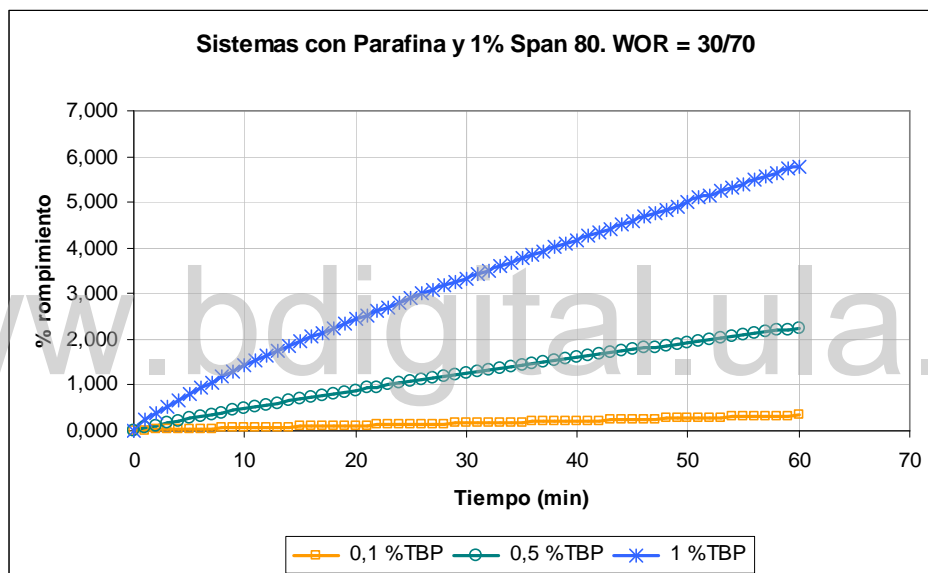
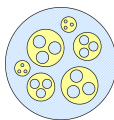


Figura V.6 Estabilidad de los sistemas con diferentes concentraciones de TBP.

Como es de esperarse, al aumentar la cantidad de TBP, un mayor número de moléculas de surfactante son desplazadas de la interfase facilitando el rompimiento de la misma. Por lo tanto un aumento de la concentración del transportador disminuye la estabilidad de las emulsiones. Esta tendencia se corrobora con el estudio de un segundo tipo de transportador, el DEHPA.

Al comparar las figuras V.5 y V.6 también se observa el efecto del WOR sobre la estabilidad, con un WOR 50/50 la estabilidad (figura V.5) es mucho menor que con un WOR 30/70 (figura V.6).



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

Se realizan los mismos tres sistemas, pero se sustituye el TBP por el DEHPA y se consigue un comportamiento similar, como se observa en la figura V.7.

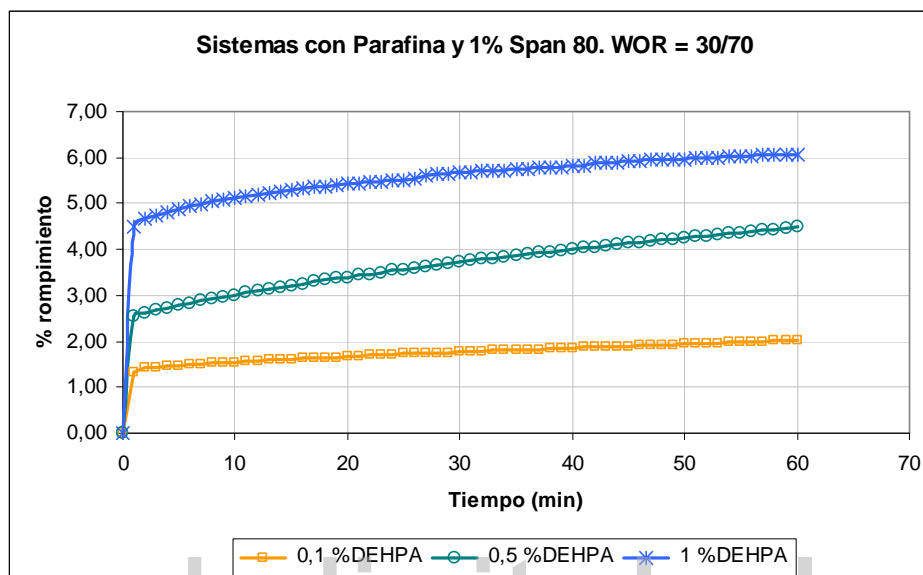
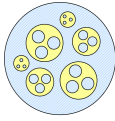


Figura V.7 Estabilidad de los sistemas con diferentes concentraciones de DEHPA

El DEHPA presenta en su estructura molecular [mostrada en la figura IV.2] un grupo polar y dos cadenas hidrocarbonadas ramificadas afines a los grupos no polares, por lo tanto al igual que el TBP tiene una actividad interfacial, lo cual compite con el surfactante y facilita el rompimiento. La diferencia con el TBP, es que el DEHPA produce un rompimiento violento de la emulsión en los primeros segundos y luego tiende a romperlas lentamente, mientras que el TBP genera desde el principio una tasa de rompimiento casi constante. Esto se debe probablemente al carácter hidrofílico del DEHPA, el cual es mayor gracias a la presencia del grupo hidroxilo [OH]. Al poseer una mayor afinidad por el agua, el transportador que se encuentra en la fase orgánica se desplaza con mayor rapidez a la interfase para satisfacer su “gusto”.

Al comparar dos sistemas idénticos, donde varía únicamente el tipo de transportador se obtiene que el DEHPA genera un rompimiento de la emulsión múltiple [en el tiempo estudiado] mayor que el TBP, lo cual se adjudica igualmente al carácter hidrofílico, que es más fuerte en el DEHPA y permite lograr una mayor migración de moléculas a la interfase. Esta comparación se observa en la figura V.8.



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

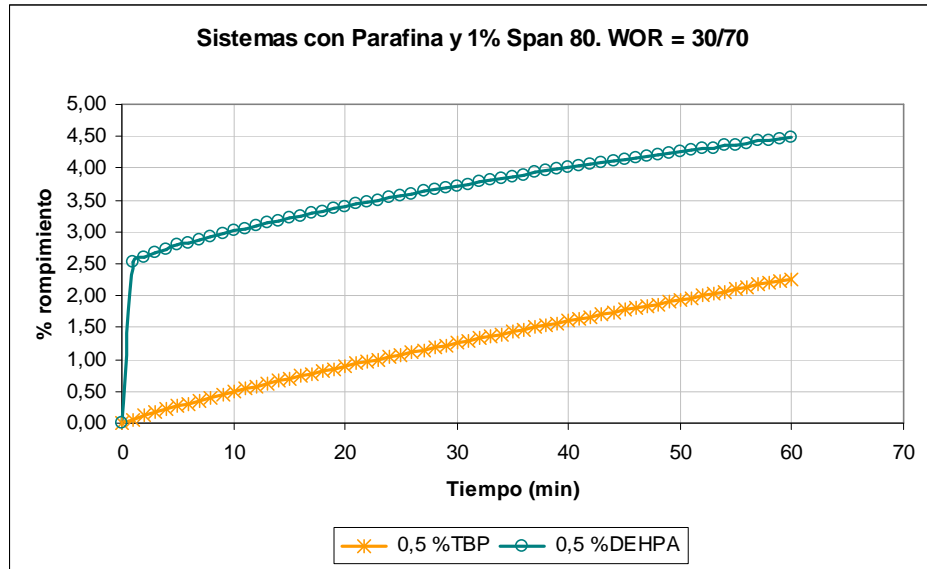


Figura V.8 Estabilidad de los sistemas con TBP y DEHPA

#### Efecto del cambio de la composición de la fase membrana.

Para continuar el estudio del efecto de la fase orgánica o membrana sobre la estabilidad de la emulsión se preparan emulsiones de fase aceite parafina y se agrega un 25% v/v de Heptano. Se utilizan algunas de las concentraciones de transportadores mencionadas anteriormente. Estos sistemas se comparan con los sistemas que contienen parafina únicamente y los resultados se muestran en la figura V.9.

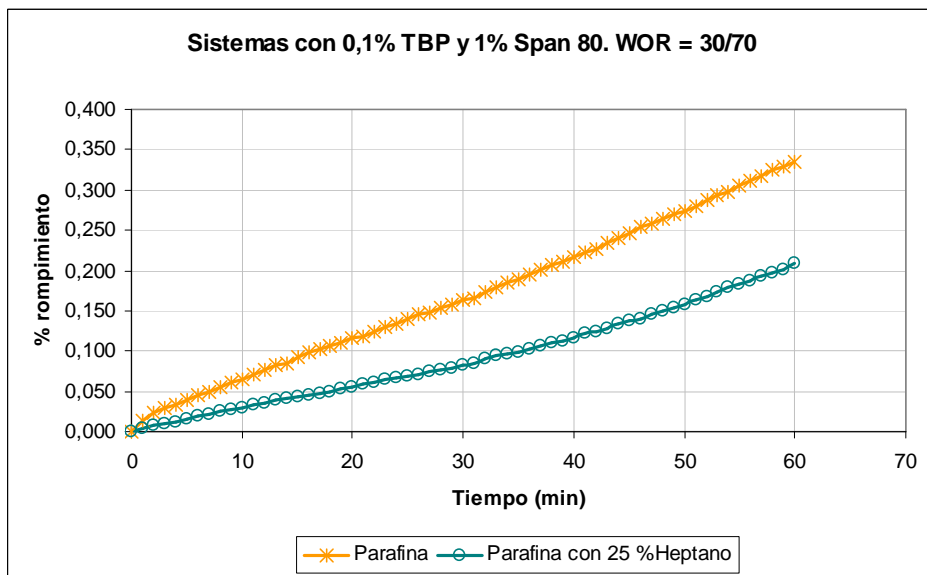
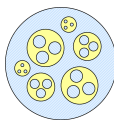


Figura V.9 (a) Estabilidad de los sistemas con 0,1 % TBP



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

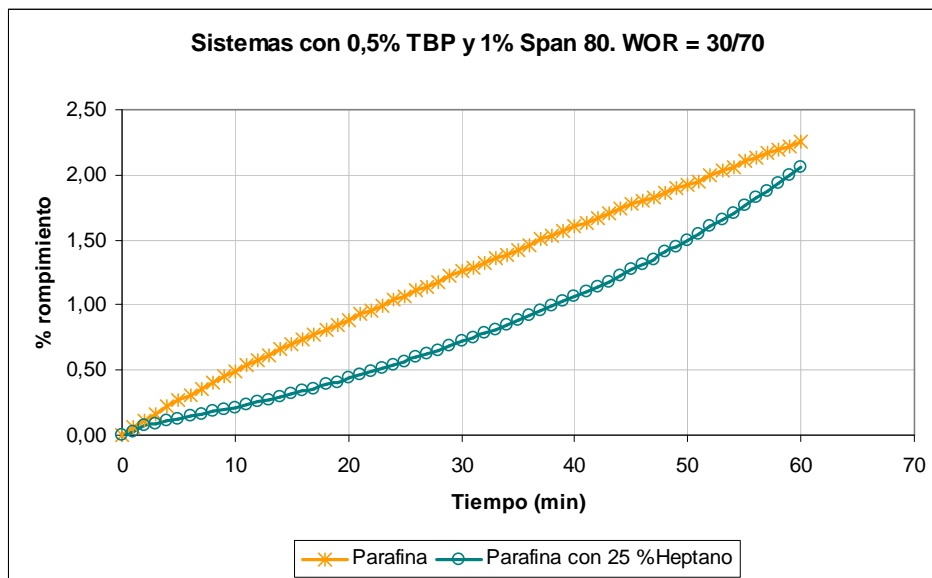
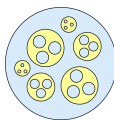


Figura V.9 (b) Estabilidad de los sistemas con 0,5 % TBP

Se obtiene que al agregar un 25% de heptano a la fase orgánica, las emulsiones se estabilizan. Este comportamiento se observa en ambas concentraciones de TBP utilizado. Probablemente se debe a una modificación en el HLD, generado por un cambio en el número de átomos de carbono del alcano [ACN].

El heptano presenta un ACN=7, por lo cual al sustituir algunas moléculas de parafina por moléculas de heptano el número total de átomos de carbono del alcano que conforma la fase orgánica disminuye en promedio [recordando que el EACN de la parafina es igual a 13]. Si se observa la ecuación antes mencionada con la que se calcula el HLD, el ACN es un término negativo, por lo tanto si se disminuye su valor, el sistema se desplaza a valores mayores de HLD, es decir, se aleja de la formulación óptima. Esto se puede traducir como un aumento de estabilidad.

Se repiten los sistemas con un 25% de heptano en parafina, utilizándose DEHPA en lugar de TBP y se obtiene un comportamiento similar con respecto al aumento de estabilidad que genera este cambio de fase orgánica. Estos sistemas se observan en la figura V.10



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

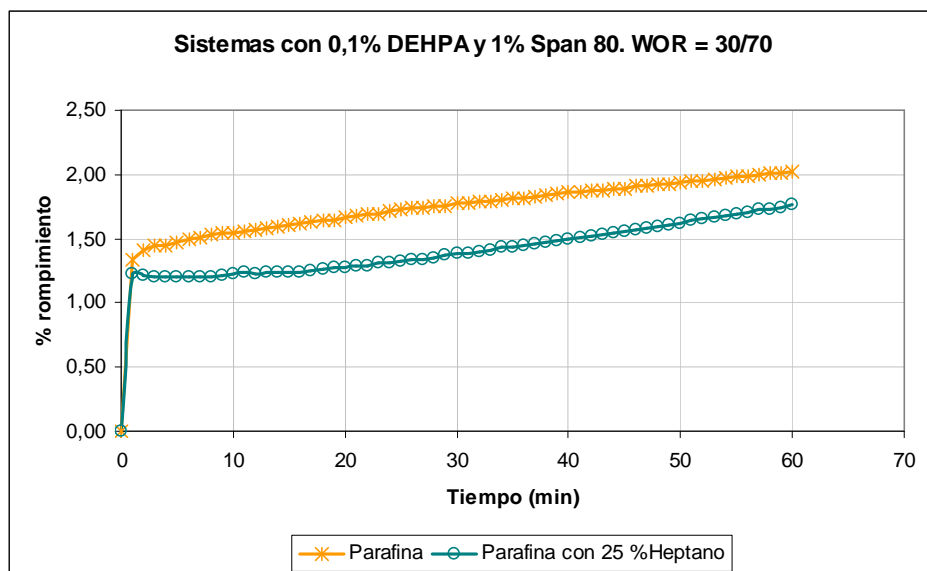


Figura V.10 (a) Estabilidad de los sistemas con 0,1 % DEHPA

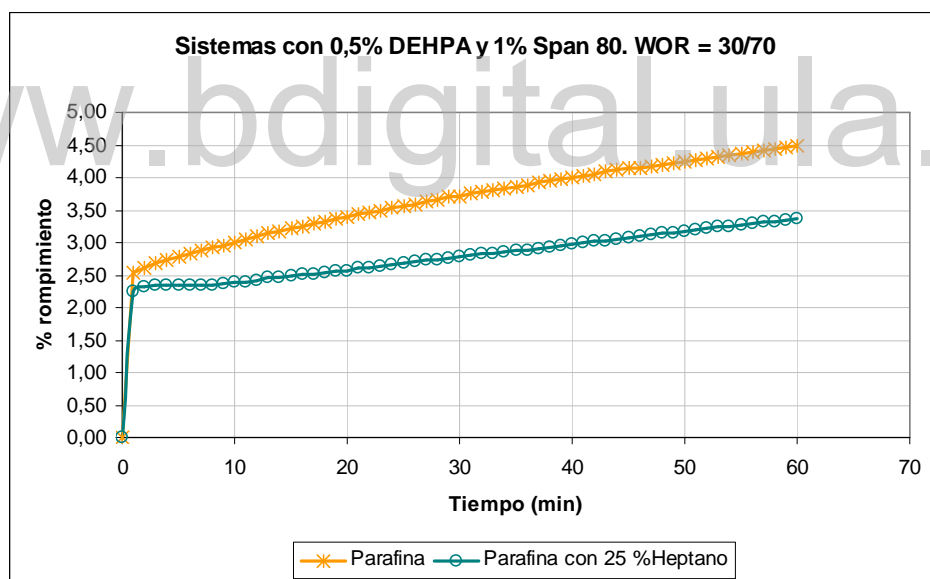
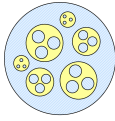


Figura V.10 (b) Estabilidad de los sistemas con 0,5 % DEHPA

Al aumentar la concentración de heptano en la fase orgánica, manteniendo el resto de los parámetros idénticos y utilizando TBP como transportador se obtiene la figura V.11



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

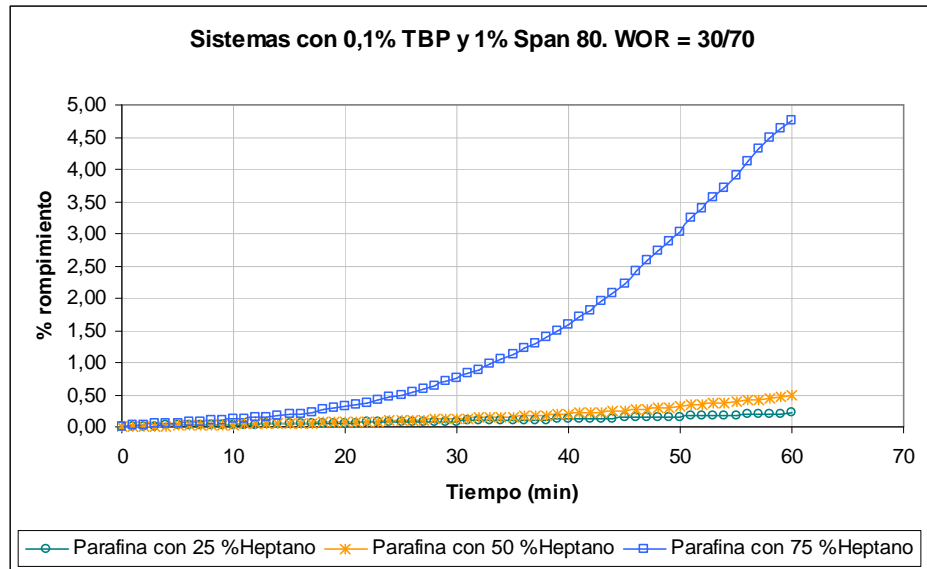


Figura V.11 (a) Estabilidad de los sistemas con 0,1 % TBP

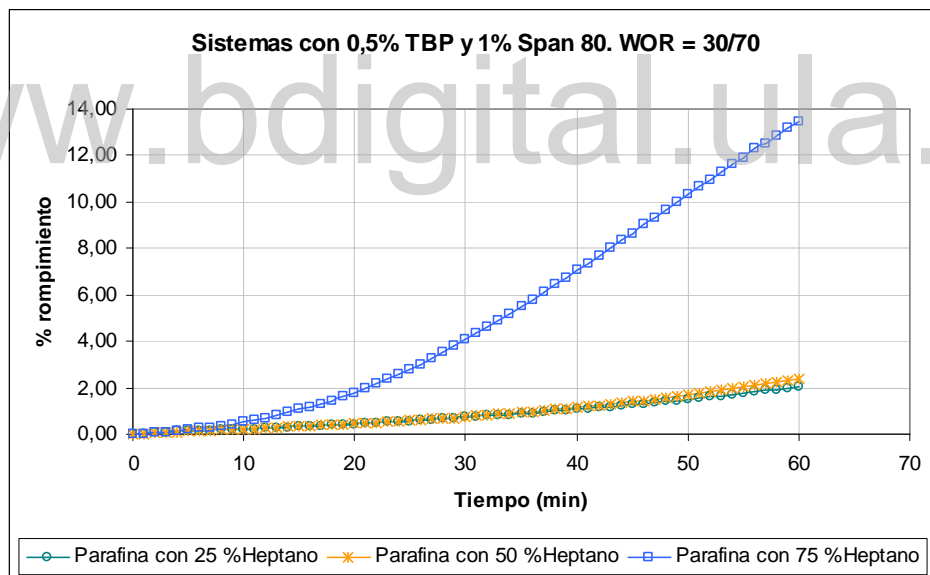
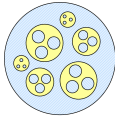


Figura V.11 (b) Estabilidad de los sistemas con 0,5 % TBP

Se observa que en ambas graficas la adición de heptano genera inestabilidad en el sistema, rompiéndose con mayor rapidez las emulsiones. Se evidencia más el cambio a medida que aumenta la cantidad de heptano y TBP agregado. Para 75% de heptano y 0,5% TBP las emulsiones se rompen un 12% más que en las emulsiones con 25 % de heptano. Probablemente se debe a un cambio en la viscosidad de la mezcla de aceites. La parafina es mas viscosa que el heptano, es decir que a mayor concentración de



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

heptano la mezcla se hace menos viscosa. La relación entre la formulación y la viscosidad se puede explicar mediante la figura V.12 en donde la formulación esta indicada como el valor correspondiente de SAD, pero corresponde a una variación de cualquiera de las variables susceptibles de alterar el balance de interacciones en la interfase. Pareciera ser que en este caso, la influencia de la viscosidad es más importante que el cambio de valor del HLD del sistema.

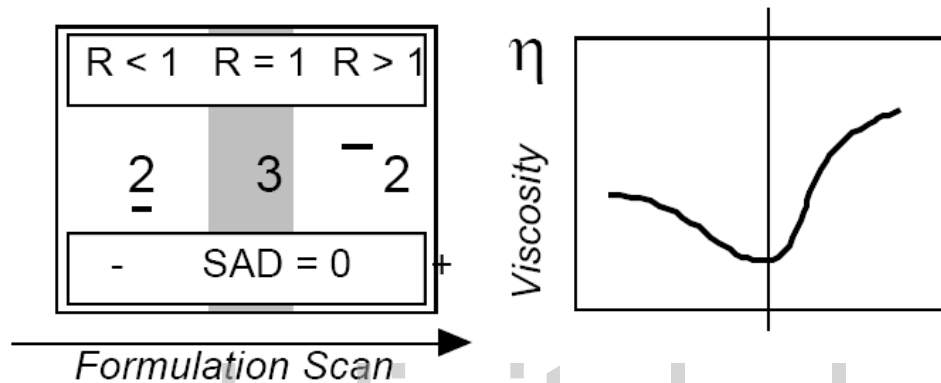
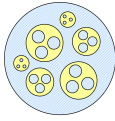


Figura V.12 Variación de la viscosidad de las emulsiones con la formulación [Salager, 1999].

La figura indica que se produce un mínimo de viscosidad en la formulación óptima, lo cual probablemente se debe a que cerca de esa zona la tensión interfacial es muy baja y por tanto permite el alargamiento de las gotas en la dirección principal de flujo. Las gotas alargadas interactúan menos entre si que las gotas redondas y eso resulta en una disminución de viscosidad. Anteriormente se mostró la variación de la estabilidad con la formulación (Figura V.2) y si se solapa el comportamiento de la estabilidad con la viscosidad se obtiene que el punto de menor viscosidad es el punto más inestable. De esta forma se explica por que al agregar heptano y por tanto disminuir la viscosidad de la fase aceite las emulsiones se hacen más inestables.

Otra de las razones por la cual al agregar un poco de heptano aumenta la estabilidad pero al agregar mayor cantidad la estabilidad comienza a disminuir, se puede explicar si se observa la figura que representa la estabilidad de una emulsión en función de su formulación. En la figura V.13 se encuentra el punto representativo del sistema del lado derecho de la formulación óptima ya que las emulsiones preparadas son de HLD positivo [emulsiones primarias  $W_1/O$ ].



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

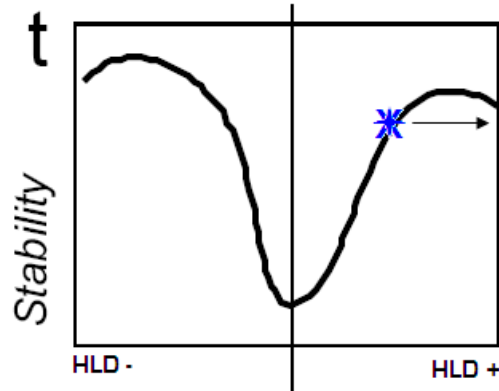


Figura V.13 Estabilidad de una emulsión en función de su formulación.

Al agregar heptano a la parafina se disminuye el EACN de la mezcla total de aceite como se mencionó anteriormente y esto genera un desplazamiento del sistema en el sentido de la flecha, alejándolo del HLD=0. Es probable que al agregar inicialmente un 25% de heptano el sistema consiga una mayor estabilidad acercándose a su máximo, pero al agregar un 50% y 75% de heptano ese valor de estabilidad máximo se alcanza y se sobrepasa consiguiéndose una disminución de la misma aunque el sistema continúe desplazándose hacia HLD mayores.

Un comportamiento muy similar se presenta en los sistemas preparados con DEHPA, los cuales se observan en la figura V.14.

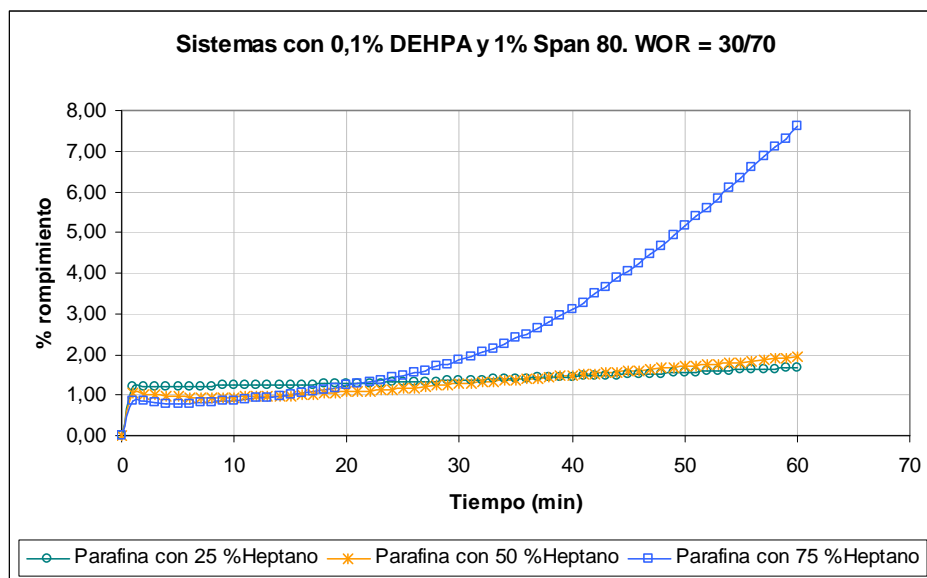
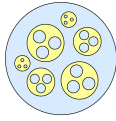


Figura V.14 (a) Estabilidad de los sistemas con 0,1 % DEHPA



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

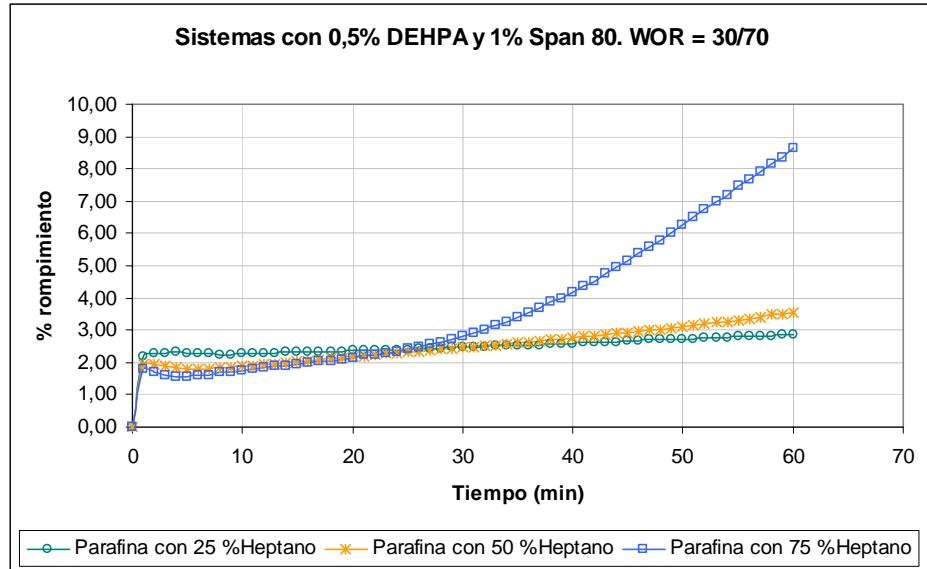


Figura V.14 (b) Estabilidad de los sistemas con 0,5 % DEHPA

#### Efecto de la temperatura sobre el rompimiento de la emulsión múltiple.

Para estudiar el efecto de la temperatura en la estabilidad de las emulsiones múltiples se preparó de nuevo el sistema con parafina, 1% span 80 y 0,5% DEHPA y se sometió a un aumento gradual de temperatura de 20°C a 70°C. En la figura V.15 se observa la variación del porcentaje de rompimiento en función de la temperatura.

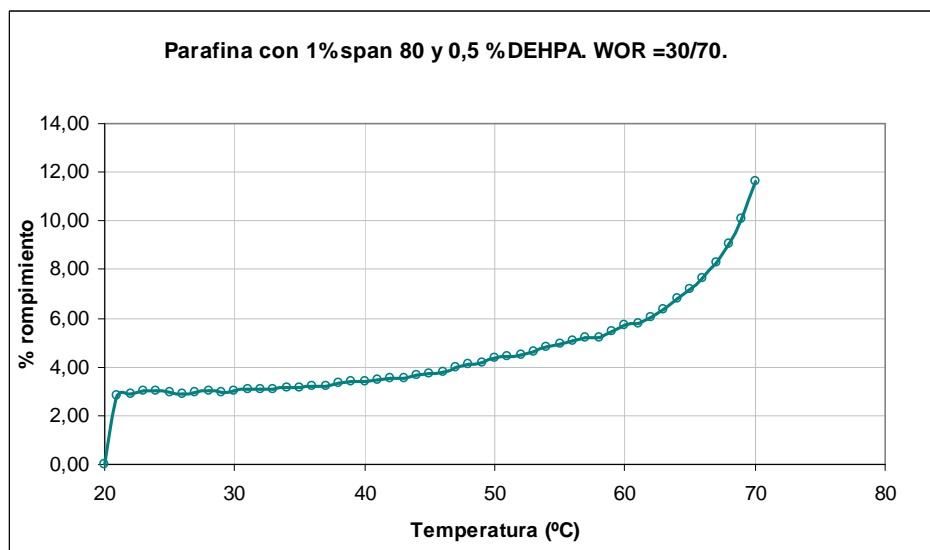
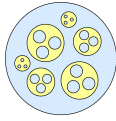


Figura V.15 Estabilidad de las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$  en función de la temperatura.



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

Se observa que el rompimiento de la emulsión aumenta con la temperatura, pero es probable que la mayor parte del rompimiento se deba al tiempo (factor que desestabiliza) que transcurre mientras se calienta gradualmente el sistema. Por lo tanto, para estudiar el efecto neto que ejerce la temperatura sobre la emulsión se comparan ambos sistemas en función del tiempo (el que se realizó anteriormente a temperatura ambiente y el que se somete a calentamiento). En la figura V.16 se muestran ambos comportamientos.

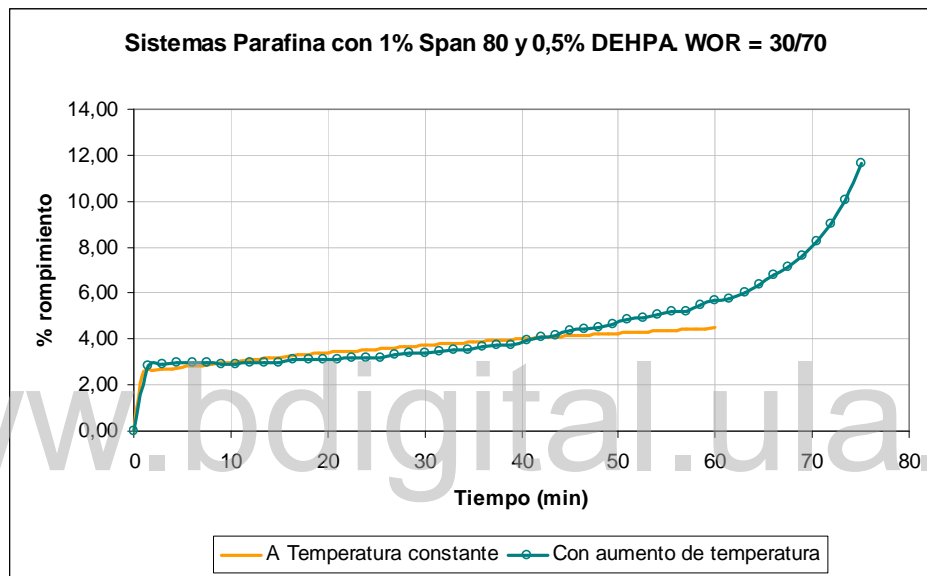
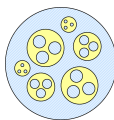


Figura V.16 Estabilidad de las emulsiones múltiples con y sin aumento de temperatura.

Un aumento de temperatura provoca efectos inversos sobre la hidrofiliidad de los surfactantes según su naturaleza. Para un surfactante iónico, favorece la disociación de pares de iones e incrementa un poco la hidrofiliidad, mientras que para un surfactante no iónico, tiende a romper los enlaces puente hidrogeno existentes entre las moléculas de agua de solvatación y la parte polar del surfactante y disminuye sensiblemente la hidrofiliidad del surfactante.

En el sistema se utiliza un surfactante no iónico (span80), por lo tanto al comenzar el calentamiento, las emulsiones primarias  $W_1/O$  (que conforman las gotas de la emulsión múltiple) se estabilizan un poco, ya que la afinidad entre la fase orgánica externa de la emulsión y el surfactante aumenta. Esto se observa en la grafica durante



## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

los primeros 30 minutos, donde la estabilidad de la emulsión aumenta un poco con un aumento de la temperatura.

Como el surfactante continúa perdiendo su hidrofiliidad mientras la temperatura aumenta, llega un punto en el que la molécula pierde su carácter dual, haciéndose afín a una de las fases solamente (fase orgánica), lo cual disminuye la adsorción del mismo en la interfase, es decir, la densidad de moléculas presentes por unidad de área. Esto resulta en una disminución de la estabilidad, por esa razón a temperaturas elevadas el rompimiento de la emulsión aumenta notablemente.

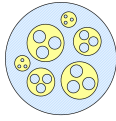
#### Barridos de formulación

Se realizaron los barridos de formulación que se muestran en la tabla IV.2, para analizar como varia la formulación al agregarle a la fase aceite parafina las mismas concentraciones de heptano, TBP y DEHPA utilizadas anteriormente. Los resultados que se obtienen luego de tres semanas, cuando ya los sistemas se encuentran al equilibrio se muestran en la siguiente tabla.

Tabla V.1 Comportamiento de fase observado en los barridos de formulación.

	Sistema / HLB	8	8,6	9	9,5	10	10,3	10,5	10,8	11	11,5	12	13
Sin transportador	Parafina	$\bar{2}$	$\bar{2}$	3	3 *	3	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *
	25 % heptano	$\bar{2}$	$\bar{2}$	3	3 *	3	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *
	50 % heptano	$\bar{2}$	$\bar{2}$	$\bar{2}$	3	3	3	3	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	$\bar{2}$
	75 % heptano	$\bar{2}$	$\bar{2}$	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	3	3 *	3	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	$\bar{2}$
	Heptano	$\bar{2}$	$\bar{2}$	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	3	3	3 *	3	$\bar{2}$	$\bar{2}$	$\bar{2}$
Con TBP	25 % heptano	$\bar{2}$	$\bar{2}$	3	3 *	3	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *
	50 % heptano	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	3	3	3 *	3	$\bar{2}$	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *
	75 % heptano	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	3	3	3 *	3	$\bar{2}$	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *
Con DEHPA	25 % heptano	$\bar{2}$	$\bar{2}$	3	3 *	3	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *
	50 % heptano	$\bar{2}$	$\bar{2}$	3	3 *	3	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *
	75 % heptano	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$	3	3	3 *	3	$\bar{2}$	$\bar{2}$	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *	$\bar{2}$ *

\* Los sistemas que no fueron preparados ya que se pueden deducir por el comportamiento general del barrido.



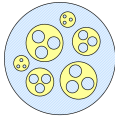
## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

A medida que el porcentaje de heptano en la mezcla de aceite aumenta, la zona trifásica presenta un desplazamiento hacia valores de HLB mayores, es decir, que el sistema en general se hace más lipofílico, ya que al surfactante le “gusta” solubilizarse más en la fase aceite y para que migre a la fase acuosa se necesitan valores mayores de HLB, es decir una mayor fuerza o carácter hidrofílico en ellos que los atraiga. Esto ocurre debido al cambio de ACN que genera el heptano. El efecto de la longitud de la cadena hidrocarbonada del aceite genera dos fenómenos: la ruptura de enlaces alcano-alcano y la creación de los enlaces alcano-cadena hidrófoba del surfactante. La energía de interacción de tipo London es proporcional al número de grupos metileno presentes dentro de las moléculas en interacción. El poder de solubilización de un aceite aumenta a medida que la energía ganada al crear los enlaces alcano-cadena hidrófoba del surfactante sea mayor a la energía perdida cuando se rompen los enlaces alcano-alcano. En otros términos, mientras el ACN del alcano es más bajo, más elevado es su poder solubilizante en razón del descenso de su energía de autoasociación. Esto hace coincidir el aumento del poder de solubilización de la mezcla de aceite con el aumento de la concentración de heptano (disminución del ACN).

La presencia de transportadores, tanto TBP como DEHPA no genera cambios significativos en el comportamiento de fases. Es de recordar que el estudio de la estabilidad de las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$  con transportadores se realizó únicamente con span 80 (HLB=4,3), por lo tanto el efecto de inestabilidad que ellos generan en la emulsión se encuentra en una zona muy lejana a los sistemas trifásicos.



## CONCLUSIONES

Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

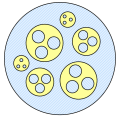
Quien no trabaja,  
no descansa.

Carlyle Thomas.

### CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos llevan a las siguientes conclusiones,

1. El agente emulsionante span 80 hace a las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$ , de fase aceite querosén mas estables que el span 20, Al disminuir la hidrofiliidad del surfactante, aumenta la estabilidad de la emulsión múltiple.
2. Un aumento en el WOR de la emulsión primaria de WOR:30/70 a WOR:50/50, con fase aceite querosén, disminuye la estabilidad de las emulsiones múltiples.
3. Las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$  con fase aceite querosén presentan una estabilidad mayor a las que tienen fase aceite parafina.
4. El efecto de los transportadores fue el de disminuir la estabilidad de las emulsiones múltiples estudiadas en este trabajo. En general el DEHPA desestabiliza en mayor medida que el TBP.



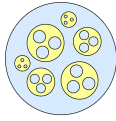
## CONCLUSIONES

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

5. El transportador DEHPA desestabiliza con mayor rapidez que el transportador TBP las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$  con fase aceite parafina, span 80 y WOR:30/70 .
6. Las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$  de fase aceite parafina presentan un aumento en la estabilidad al agregar un 25% de heptano y una disminución en la estabilidad al agregar un 50% y 75% de heptano.
7. La presencia del heptano en la fase aceite genera un desplazamiento de la zona trifásica hacia valores mas hidrofílicos de HLB en los sistemas Surfactante-agua-aceite con WOR = 40/60 y 1%p/p de surfactante.
8. El rompimiento de las emulsiones múltiples  $W_1/O/W_2$  de fase aceite parafina, 1%p/p span 80 y 0,5%p/p de transportador DEHPA aumenta hasta un 7% con un aumento de la temperatura desde 20°C hasta 70°C.

www.bdigital.ula.ve



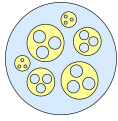
## REFERENCIAS

Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

### REFERENCIAS

- Álvarez, G., **“Emulsiones Múltiples. Estudio de la influencia del electrolito y la formulación de la membrana en el hinchamiento de las gotas”**. Informe técnico FIRP 0109. Mérida, 2001.
- Araki, t; Tsukube, h. **“Liquid membranes: Chemical applications”**. CRC Press Inc; Florida, 1990.
- Araneda, C., Valenzuela, F., **“Membranas líquidas emulsificadas: variación tecnológica de la extracción con solventes en hidrometalurgia”**. Proyecto de Grado, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2006.
- Becher, P. **“Emulsions: Theory and Practice”**. Reinhold, Reprint 2º Ed., R. Krieger Pub. Madrid, 1957.
- Bullón, J., Cárdenas, A., Chacón, T., Medina, H., Ontiveros, F. **“Separación del zinc de soluciones acuosas utilizando membranas líquidas emulsionadas. La influencia del pH”**. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. 20 (3): 57, 2005.
- Breembroek GRM, Witkamp G., Van Rosmalen G.. **“Design and Testing of an Emulsion Liquid Membrane Pilot Plant”**, Separation Science and Technology, 35(10): 1539-1571,2000.
- Cárdenas, A., **“Estudio de la transferencia de un hidrotropo a través de una capa de aceite. Un modelo experimental de emulsiones múltiples”**. Informe técnico FIRP 9301. Mérida, 1993.
- Cárdenas, A. **“Emulsiones Múltiples”**. Cuaderno FIRP 227. Universidad de Los Andes. Mérida. 1995.
- Cárdenas, A. **“Membranas, generalidades”**. Cuaderno FIRP 450. Universidad de Los Andes. Mérida. 1995.

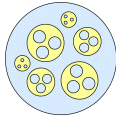


## REFERENCIAS

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

- o Cárdenas, A. **“El mundo de las Membranas”**. Cuaderno FIRP 453. Universidad de Los Andes. Mérida. 2007.
- o Cárdenas, A., Castro, E., **“Breaking of multiple emulsions under osmótica pressure and the effect of W1/O relation”**, Interciencia, 28, N° 9, 2003.
- o Castro, E., **“Liberación controlada utilizando emulsiones múltiples”**. Cuaderno FIRP 9903. Mérida, 1999.
- o Clayton, W. **“The Theory of Emulsions and Emulsification”**. J. & A. Churchill. London, 1923
- o Jarry, P., **“Propiedades de las Emulsiones cerca del lugar geométrico de inversión”**. Informe Técnico FIRP 8402, ULA. Mérida, 1984.
- o Lázaro, p. **“Membranas líquidas en emulsión”**. Ingeniería Química. 1994. 149-154.
- o Lissant, K.J., **“Emulsions and Emulsion Technology”**, Part I, Surfactant Science Series. Volumen 6, Marcel Dekker. New York, 1974.
- o Macanás, J., **“Desarrollo de nuevas membranas compuestas para la separación de iones metálicos y aplicaciones electroquímicas”**. Universitat Autònoma de Barcelona. Informe Técnico, 2006.
- o Mishra, B., Pandit, J. K., **“Prolonged Release of Pentazocine form multiple O/W/O emulsions”**, Drug. Development. Ind. Pharmacy 15 (8) 1217-1230. 1989.
- o Murzi, H., **“Emulsiones Múltiples. Estudio de su comportamiento, bajo gradiente osmótico, e influencia de la viscosidad del aceite usado como membrana”**. Informe técnico FIRP 0002. Mérida, 2000.

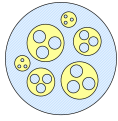


## REFERENCIAS

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

- Osada, Y., Nakagawa, T., **Membrane Science and Technology**, Marcel Dekker Inc., New York, 1992.
- Peña, A., **“Inversión de emulsiones: modelización y mapeo experimental”**. Proyecto de Grado, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, ULA. Mérida, 1996.
- Salager, J. L. **“Surfactantes”**. Cuaderno FIRP 300. Universidad de Los Andes. Mérida. 1990.
- Salager, J. L. **“Comportamiento de fase de los sistemas surfactante-agua-aceite”**. Cuaderno FIRP 220. Universidad de los Andes. Mérida. 1991.
- Salager, J. L. **“Emulsiones: Propiedades y Formulación”**. Cuaderno FIRP 231. Universidad de los Andes. Mérida. 1993.
- Salager, J. L. **“Emulsiónación”**. Cuaderno FIRP 232. Universidad de los Andes. Mérida. 1993.
- Salager, J. L. **“Formulación, Composición y Fabricación de Emulsiones para obtener las Propiedades deseadas. Estado del Arte”**. Cuadernos FIRP S 747 A, B, C y D. Universidad de los Andes. Mérida. 1999.
- Salager, J. L., **“Formulation Concepts for the Emulsion Maker”**. Chapter 2. Pharmaceutical Emulsions and Suspensions. Marcel Dekker, inc. New York, 2000.
- Salager, J. L., Antón, R., Aubry, J. M., **“Formulación de Microemulsiones por el método de HLD”**, traducido de: Techniques de l'ingenieur, Vol. Génie des Procédés, artículo J2 157, 2001.
- Salager, J. L., Forgiarini A., López, J. C., Marfisi, S., Álvarez G., **“Dynamics of near-zero energy emulsification”**. FIRP. 6<sup>th</sup> world surfactant congress CESIO, Berlin Germany, June 21-23,2004.



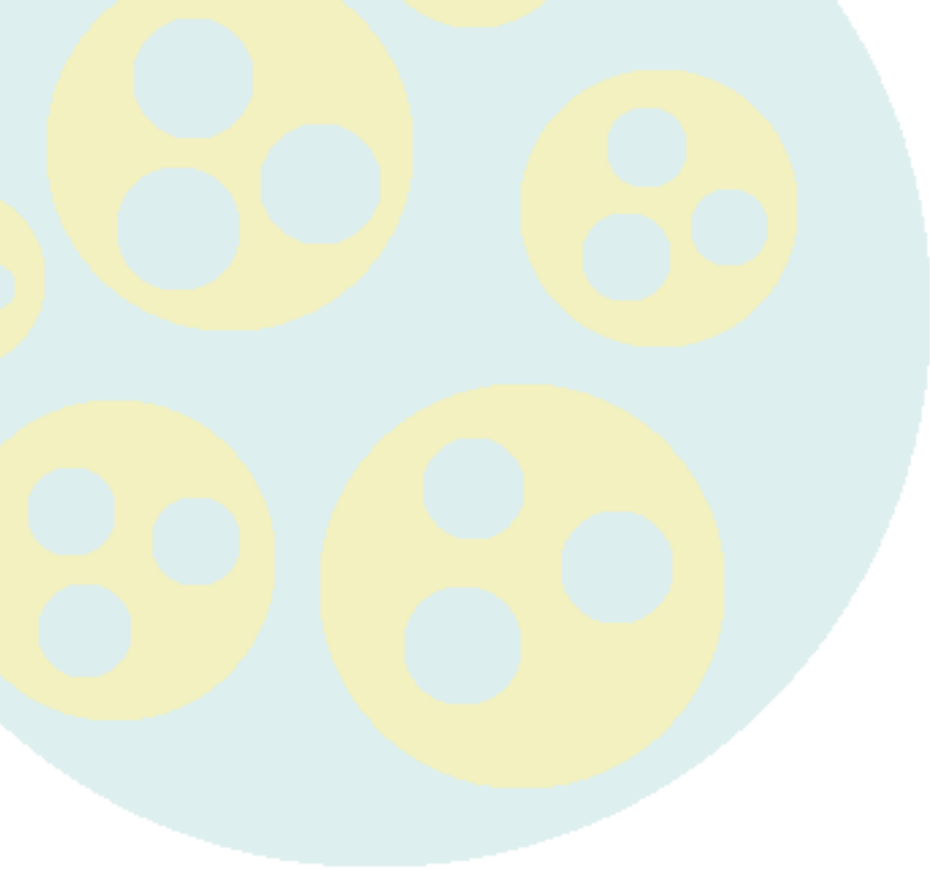
## REFERENCIAS

### Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples.

---

- o Skwierinski, A., **"Estudio de la Estabilidad de las Emulsiones Múltiples"**. Proyecto de Grado, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, ULA. Mérida, 2007.
- o Thien, M. P. Hatton, T.A. **"Liquid Emulsion Membranes and Their Applications in Biochemical Processing"**, Separation Science and Technology, 23 (8 y 9) 819-853, 1988.
- o Winsor, P.A. **"Solvent Properties of Amphiphilic Compounds"**. Butterworths, Londres. 1954.
- o Yagodin, G., Lopukhin, Y., Gusera, T., Sergienko, V., **Proceedings of the International Solvent Extraction Conference**, Denver, Colorado, 1983, p. 385.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)



[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

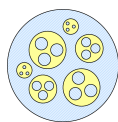
**ANEXOS**

---

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**ANEXO I:  
EMULSIONES MÚLTIPLES**

---



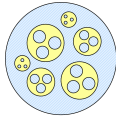
## Sistema I

**W<sub>1</sub>:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** Querosén + 1 % Span 20  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.1 Conductividad en función del tiempo para el Sistema I.

Tiempo (min)	Conductividad (μs/cm)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Conductividad (μs/cm)	Temperatura (°C)
0	1,07	20	30,23	10,25	20,9
1,23	1,81	20,9	31,23	10,52	20,9
2,23	2,15	20,9	32,23	10,62	20,9
3,23	2,37	20,9	33,23	10,9	20,9
4,23	2,67	20,9	34,23	11,5	20,9
5,23	3,03	20,9	35,23	11,2	20,9
6,23	3,33	20,9	36,23	11,53	20,9
7,23	3,62	20,9	37,23	11,37	20,9
8,23	3,91	20,9	38,23	11,54	20,9
9,23	4,07	20,9	39,23	11,29	20,9
10,23	4,48	20,9	40,23	11,74	20,9
11,23	4,79	20,9	41,23	11,56	20,9
12,23	5,21	20,9	42,23	11,34	20,9
13,23	5,41	20,9	43,23	11,08	20,9
14,23	5,74	20,9	44,23	12,74	20,9
15,23	6,11	20,9	45,23	12,23	20,9
16,23	6,42	20,9	46,23	12,24	20,9
17,23	6,63	20,9	47,23	12,4	20,9
18,23	6,99	20,9	48,23	12,72	20,9
19,23	7,33	20,9	49,23	12,85	20,9
20,23	7,58	20,9	50,23	13,27	20,9
21,23	7,65	20,9	51,23	13,29	20,9
22,23	8,19	20,9	52,23	13,23	20,9
23,23	8,36	20,9	53,23	13,47	20,9
24,23	8,86	20,9	54,23	14,2	20,9
25,23	8,95	20,9	55,23	13,64	20,9
26,23	9,38	20,9	56,23	14,34	20,9
27,23	9,67	20,9	57,23	14,06	20,9
28,23	9,83	20,9	58,23	14,81	20,9
29,23	9,98	20,9	59,23	14,54	20,9

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,4  
Conductividad agua destilada: 1,07 μS/cm [20°C]  
Conductividad  $t_{\infty}$ : 1,527 mS/cm = 1527 μS/cm [21°C]  
Velocidad de Agitación: 800 rpm.



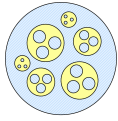
## Sistema II

**W<sub>1</sub>:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** Querosén + 1 % Span 80  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.2 Conductividad en función del tiempo para el Sistema II.

Tiempo (min)	Conductividad (μS/cm)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Conductividad (μS/cm)	Temperatura (°C)
0	1,07	20	30,73	2,05	21
0,45	0,65	21	31,73	2,05	21
1,73	0,85	21	32,73	2,03	21
2,73	0,98	21	33,73	1,92	21
3,73	1,05	21	34,73	2,05	21
4,73	1,15	21	35,73	2,07	21
5,73	1,13	21	36,73	2,08	21
6,73	1,17	21	37,73	2,09	21
7,73	1,32	21	38,73	2,11	21
8,73	1,32	21	39,73	2,12	21
9,73	1,42	21	40,73	2,21	21
10,73	1,44	21	41,73	2,16	21
11,73	1,38	21	42,73	2,15	21
12,73	1,51	21	43,73	2,22	21
13,73	1,55	21	44,73	2,23	21
14,73	1,64	21	45,73	2,21	21
15,73	1,53	21	46,73	2,19	21
16,73	1,54	21	47,73	2,16	21
17,73	1,56	21	48,73	2,23	21
18,73	1,62	21	49,73	2,25	21
19,73	1,66	21	50,73	2,27	21
20,73	1,71	21	51,73	2,35	21
21,73	1,72	21	52,73	2,38	21
22,73	1,72	21	53,73	2,35	21
23,73	1,84	21	54,73	2,44	21
24,73	1,85	21	55,73	2,41	21
25,73	1,74	21	56,73	2,48	21
26,73	1,85	21	57,73	2,46	21
27,73	1,93	21	58,73	2,46	21
28,73	1,9	21	59,73	2,55	21
29,73	2,03	21			

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,4  
Conductividad agua destilada: 1,07 μS/cm (20°C)  
Conductividad  $t_{\infty}$ : 1,527 mS/cm = 1527 μS/cm (21°C)  
Velocidad de Agitación: 800 rpm



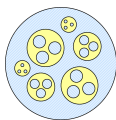
### Sistema III

**W<sub>1</sub>:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** Querosén + 1 % Span 80  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 50/50

Tabla A.3 Conductividad en función del tiempo para el Sistema III.

Tiempo (min)	Conductividad (μS/cm)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Conductividad (μS/cm)	Temperatura (°C)
0	0,8	20	31	4,2	21,6
1	1	21,7	32	4,3	21,6
2	1,3	21,7	33	4,3	21,6
3	1,5	21,7	34	4,5	21,6
4	1,7	21,7	35	4,5	21,6
5	1,8	21,7	36	4,7	21,6
6	1,9	21,7	37	4,7	21,6
7	2,1	21,7	38	4,7	21,6
8	2,2	21,7	39	4,8	21,6
9	2,3	21,7	40	4,8	21,6
10	2,4	21,7	41	4,9	21,6
11	2,6	21,7	42	5	21,6
12	2,7	21,7	43	5	21,6
13	2,8	21,7	44	5	21,6
14	2,9	21,7	45	5,1	21,6
15	3	21,7	46	5,2	21,6
16	3,1	21,7	47	5,3	21,6
17	3,2	21,7	48	5,2	21,6
18	3,2	21,7	49	5,3	21,6
19	3,3	21,7	50	5,4	21,5
20	3,4	21,7	51	5,5	21,5
21	3,5	21,7	52	5,5	21,5
22	3,6	21,7	53	5,6	21,5
23	3,6	21,7	54	5,6	21,5
24	3,7	21,6	55	5,7	21,5
25	3,9	21,6	56	5,7	21,5
26	3,9	21,6	57	5,9	21,5
27	4	21,6	58	5,8	21,5
28	4	21,6	59	5,9	21,5
29	4,1	21,6	60	5,9	21,5
30	4,2	21,6			

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,4  
Conductividad agua destilada: 0,8 μS/cm (20°C)  
Conductividad  $t_{\infty}$ : 3,21 mS/cm = 3210 μS/cm (21°C)  
Velocidad de Agitación: 800 rpm



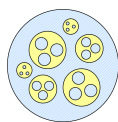
## Sistema IV

**W<sub>1</sub>:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** Parafina + 1 % Span 80  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 50/50

Tabla A.4 Conductividad en función del tiempo para el Sistema IV.

Tiempo (min)	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tiempo (min)	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
0	1	20	31	353	20,8
1	247	20,9	32	353	20,8
2	270	20,9	33	355	20,8
3	282	20,9	34	355	20,8
4	294	20,9	35	358	20,8
5	302	20,9	36	356	20,8
6	310	20,9	37	354	20,8
7	317	20,9	38	357	20,8
8	320	20,9	39	359	20,8
9	323	20,9	40	354	20,8
10	325	20,9	41	353	20,8
11	329	20,9	42	354	20,8
12	332	20,9	43	355	20,8
13	339	20,9	44	354	20,8
14	340	20,9	45	354	20,8
15	337	20,9	46	357	20,8
16	342	20,9	47	358	20,8
17	342	20,9	48	357	20,8
18	345	20,9	49	353	20,8
19	343	20,9	50	353	20,8
20	343	20,9	51	356	20,8
21	345	20,9	52	356	20,8
22	347	20,9	53	356	20,8
23	349	20,9	54	354	20,8
24	349	20,9	55	354	20,8
25	349	20,8	56	359	20,8
26	348	20,8	57	356	20,8
27	349	20,8	58	358	20,8
28	349	20,8	59	358	20,8
29	351	20,8	60	359	20,8
30	353	20,8			

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,4  
Conductividad agua destilada: 1,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (20 $^{\circ}\text{C}$ )  
Conductividad  $t_{\infty}$ : 3,21 mS/cm = 3210  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (21 $^{\circ}\text{C}$ )  
Velocidad de Agitación: 800 rpm



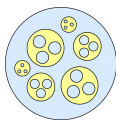
## Sistema V

**W<sub>1</sub>:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** Parafina + 1 % Span 80 + 0,1 % TBP  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 50/50

Tabla A.5. Conductividad en función del tiempo para el Sistema V.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	1,2	21	31	1507	21,1	0	1,2	21	31	1153	21,6	
1	1610	21,1	32	1499	21,1	1	1057	21,9	32	1140	21,6	
2	1606	21,1	33	1505	21,1	2	1057	21,9	33	1175	21,6	
3	1503	21,1	34	1507	21,1	3	1065	21,9	34	1149	21,6	
4	1515	21,1	35	1499	21,1	4	1090	21,9	35	1153	21,6	
5	1526	21,1	36	1470	21,1	5	1075	21,9	36	1156	21,6	
6	1479	21,1	37	1492	21,1	6	1086	21,9	37	1165	21,6	
7	1485	21,1	38	1460	21,1	7	1099	21,9	38	1145	21,6	
8	1508	21,1	39	1559	21,1	8	1084	21,9	39	1152	21,6	
9	1516	21,1	40	1562	21,1	9	1103	21,8	40	1150	21,6	
10	1522	21,1	41	1594	21,1	10	1092	21,8	41	1159	21,6	
11	1536	21,1	42	1637	21,1	11	1113	21,8	42	1159	21,6	
12	1532	21,1	43	1635	21,1	12	1098	21,8	43	1160	21,6	
13	1508	21,1	44	1635	21,1	13	1114	21,8	44	1160	21,6	
14	1522	21,1	45	1639	21,1	14	1120	21,7	45	1158	21,6	
15	1510	21,1	46	1635	21,1	15	1123	21,7	46	1160	21,6	
16	1519	21,1	47	1649	21,1	16	1126	21,7	47	1175	21,6	
17	1510	21,1	48	1648	21,1	17	1126	21,7	48	1173	21,6	
18	1537	21,1	49	1645	21,1	18	1128	21,7	49	1165	21,6	
19	1530	21,1	50	1657	21,1	19	1125	21,7	50	1191	21,6	
20	1541	21,1	51	1667	21,1	20	1126	21,7	51	1175	21,6	
21	1531	21,1	52	1670	21,1	21	1125	21,7	52	1189	21,6	
22	1505	21,1	53	1679	21,1	22	1129	21,7	53	1163	21,6	
23	1501	21,1	54	1650	21,1	23	1138	21,7	54	1178	21,6	
24	1499	21,1	55	1658	21,1	24	1152	21,7	55	1165	21,6	
25	1504	21,1	56	1658	21,1	25	1148	21,7	56	1171	21,6	
26	1513	21,1	57	1674	21,1	26	1135	21,7	57	1180	21,6	
27	1503	21,1	58	1654	21,1	27	1140	21,7	58	1161	21,5	
28	1522	21,1	59	1643	21,1	28	1142	21,6	59	1156	21,5	
29	1520	21,1	60	1641	21,1	29	1149	21,6	60	1172	21,5	
30	1519	21,1				30	1130	21,6				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,4  
 Conductividad agua destilada: 1,2 µS/cm (21°C)  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 3,21 mS/cm = 3210 µS/cm (21°C)  
 Velocidad de Agitación: 800 rpm



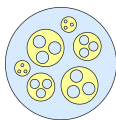
## Sistema VI

**W<sub>1</sub>:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** Parafina + 1 % Span 80 + 0,1 % TBP  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.6. Conductividad en función del tiempo para el Sistema VI.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	1,3	21	31	4,3	21,5	0	1,3	21	31	4,6	21,5	
1	1,5	21,4	32	4,4	21,5	1	1,6	21,8	32	4,8	21,5	
2	1,7	21,4	33	4,5	21,5	2	1,8	21,8	33	4,9	21,5	
3	1,8	21,4	34	4,6	21,5	3	1,9	21,8	34	5	21,5	
4	1,9	21,4	35	4,7	21,5	4	2	21,7	35	5,1	21,5	
5	2	21,4	36	4,8	21,5	5	2,1	21,7	36	5,2	21,5	
6	2,1	21,4	37	4,9	21,5	6	2,2	21,7	37	5,3	21,5	
7	2,2	21,4	38	5	21,5	7	2,3	21,7	38	5,4	21,5	
8	2,3	21,4	39	5,1	21,5	8	2,4	21,7	39	5,5	21,5	
9	2,4	21,4	40	5,2	21,5	9	2,5	21,7	40	5,6	21,5	
10	2,5	21,4	41	5,3	21,5	10	2,6	21,7	41	5,7	21,5	
11	2,6	21,4	42	5,4	21,5	11	2,7	21,6	42	5,8	21,5	
12	2,7	21,4	43	5,5	21,5	12	2,8	21,6	43	6	21,5	
13	2,8	21,4	44	5,6	21,5	13	2,9	21,6	44	6,1	21,5	
14	2,8	21,4	45	5,7	21,5	14	3	21,6	45	6,2	21,5	
15	3	21,5	46	5,8	21,5	15	3,1	21,6	46	6,4	21,5	
16	3,1	21,5	47	5,9	21,5	16	3,2	21,6	47	6,5	21,5	
17	3,2	21,5	48	6	21,5	17	3,3	21,6	48	6,6	21,5	
18	3,2	21,5	49	6,1	21,5	18	3,4	21,6	49	6,7	21,5	
19	3,3	21,5	50	6,2	21,5	19	3,5	21,6	50	6,8	21,5	
20	3,4	21,5	51	6,3	21,5	20	3,6	21,6	51	6,9	21,5	
21	3,5	21,5	52	6,5	21,5	21	3,6	21,6	52	7	21,4	
22	3,6	21,5	53	6,6	21,5	22	3,7	21,6	53	7,1	21,4	
23	3,7	21,5	54	6,7	21,5	23	3,8	21,6	54	7,2	21,4	
24	3,7	21,5	55	6,8	21,5	24	4	21,6	55	7,4	21,4	
25	3,8	21,5	56	6,9	21,5	25	4,1	21,6	56	7,5	21,4	
26	3,9	21,5	57	7	21,5	26	4,2	21,6	57	7,6	21,4	
27	4	21,5	58	7,1	21,5	27	4,2	21,5	58	7,8	21,4	
28	4,1	21,5	59	7,2	21,5	28	4,3	21,5	59	7,9	21,4	
29	4,2	21,5	60	7,3	21,5	29	4,4	21,5	60	8	21,4	
30	4,3	21,5				30	4,5	21,5				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 1,3 µS/cm [21°C]  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 1,894 mS/cm = 1894 µS/cm [21°C]  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



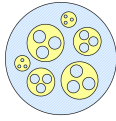
## Sistema VII

**W<sub>1</sub>:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** Parafina + 1 % Span 80 + 0,5 % TBP  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.7. Conductividad en función del tiempo para el Sistema VII.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	1,9	21	31	24,2	21,8	0	1,9	21	31	28,3	21,8	
1	2,8	21,8	32	24,8	21,8	1	3,2	21,8	32	29,3	21,8	
2	3,8	21,8	33	25,3	21,8	2	4,3	21,8	33	29,9	21,9	
3	4,7	21,8	34	25,9	21,8	3	5,3	21,8	34	30,5	21,9	
4	5,7	21,8	35	26,6	21,8	4	6,3	21,8	35	31,2	21,9	
5	6,5	21,8	36	27,1	21,8	5	7,3	21,8	36	32,1	21,9	
6	7,4	21,8	37	27,7	21,8	6	8,1	21,8	37	33	21,9	
7	8,3	21,8	38	28,2	21,8	7	9	21,8	38	33,6	21,9	
8	9	21,8	39	28,7	21,8	8	10	21,8	39	34,3	21,9	
9	9,9	21,8	40	29,4	21,8	9	11	21,8	40	35	21,9	
10	10,6	21,8	41	29,9	21,8	10	11,7	21,8	41	35,6	21,9	
11	11,4	21,8	42	30,4	21,8	11	12,8	21,8	42	36,5	21,9	
12	12,1	21,8	43	31	21,8	12	13,4	21,8	43	37,2	21,9	
13	12,8	21,8	44	31,5	21,8	13	14,2	21,8	44	38	21,9	
14	13,6	21,8	45	32,1	21,8	14	15,1	21,8	45	38,9	21,9	
15	14,2	21,8	46	32,6	21,8	15	15,9	21,8	46	39,6	21,9	
16	14,9	21,8	47	33,1	21,8	16	16,7	21,8	47	40,1	21,9	
17	15,6	21,8	48	33,6	21,8	17	17,5	21,8	48	40,8	21,9	
18	16,3	21,8	49	34,2	21,8	18	18,3	21,8	49	41,5	21,9	
19	16,9	21,8	50	34,8	21,8	19	19,1	21,8	50	42,1	21,9	
20	17,5	21,8	51	35,2	21,8	20	19,9	21,8	51	42,6	21,9	
21	18,3	21,8	52	35,8	21,8	21	20,7	21,8	52	43,7	21,9	
22	18,8	21,8	53	36,2	21,8	22	21,4	21,8	53	44,6	21,9	
23	19,4	21,8	54	36,8	21,8	23	22,2	21,8	54	45,2	21,9	
24	20	21,8	55	37,3	21,8	24	23,1	21,8	55	46,5	21,9	
25	20,6	21,8	56	37,9	21,8	25	23,8	21,8	56	46,9	21,9	
26	21,4	21,8	57	38,4	21,8	26	24,6	21,8	57	47,5	21,9	
27	21,9	21,8	58	38,8	21,8	27	25,3	21,8	58	48,3	21,9	
28	22,5	21,8	59	39,2	21,8	28	26	21,8	59	48,7	21,9	
29	23,1	21,8	60	39,8	21,9	29	26,9	21,8	60	49,4	21,9	
30	23,8	21,8				30	27,6	21,8				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 1,9 µS/cm [21°C]  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 1,894 mS/cm = 1894 µS/cm [21°C]  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



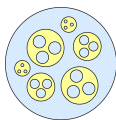
## Sistema VIII

**W<sub>1</sub>:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** Parafina + 1 % Span 80 + 1 % TBP  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.8. Conductividad en función del tiempo para el Sistema VIII.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µS/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µS/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µS/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µS/cm)	Tem (°C)
0	1,6	20	31	65,1	21,4	0	1,6	20	31	67,5	20,5	
1	5,8	21,5	32	66,9	21,4	1	6,4	20,4	32	69,1	20,5	
2	8,3	21,5	33	68,6	21,4	2	9,5	20,4	33	70,9	20,5	
3	11	21,5	34	70,2	21,4	3	12,4	20,4	34	72,4	20,5	
4	13,2	21,5	35	71,8	21,4	4	15,1	20,4	35	74	20,5	
5	15,6	21,5	36	73,5	21,4	5	17,9	20,4	36	75,7	20,5	
6	18	21,5	37	75,1	21,4	6	20,5	20,4	37	76,8	20,5	
7	20,3	21,5	38	76,9	21,4	7	23,1	20,4	38	78,6	20,5	
8	22,5	21,5	39	78,2	21,4	8	25,5	20,4	39	80	20,5	
9	24,7	21,5	40	80	21,4	9	27,7	20,4	40	81,5	20,5	
10	27	21,5	41	81,3	21,4	10	30	20,4	41	83,1	20,5	
11	28,9	21,5	42	83,2	21,4	11	32,2	20,4	42	84,1	20,5	
12	31	21,5	43	84,7	21,4	12	34,2	20,4	43	85,9	20,5	
13	33,1	21,5	44	86,6	21,3	13	36,4	20,4	44	87,6	20,5	
14	35	21,4	45	88,4	21,3	14	38,6	20,4	45	88,8	20,5	
15	36,9	21,4	46	89,8	21,3	15	40,3	20,4	46	90,6	20,5	
16	38,9	21,4	47	91,3	21,3	16	42,2	20,4	47	92,1	20,5	
17	40,7	21,4	48	92,9	21,3	17	44	20,4	48	93,2	20,5	
18	42,5	21,4	49	94,3	21,3	18	45,9	20,4	49	95	20,5	
19	44,6	21,4	50	96,1	21,3	19	47,8	20,4	50	96,7	20,5	
20	46,1	21,4	51	97,9	21,3	20	49,4	20,4	51	98,6	20,5	
21	48	21,4	52	99,1	21,3	21	51,1	20,4	52	99,4	20,5	
22	49,8	21,4	53	101,1	21,3	22	53	20,4	53	101,3	20,5	
23	51,4	21,4	54	102,2	21,3	23	54,5	20,4	54	102,4	20,5	
24	53,4	21,4	55	103,8	21,3	24	56,4	20,4	55	103,9	20,5	
25	55,2	21,4	56	105,7	21,3	25	58	20,4	56	105,4	20,5	
26	56,9	21,4	57	106,8	21,3	26	59,9	20,5	57	107,2	20,5	
27	58,5	21,4	58	108,6	21,3	27	61,6	20,5	58	108,1	20,5	
28	60,2	21,4	59	110,2	21,3	28	63	20,5	59	109,8	20,5	
29	61,9	21,4	60	111	21,3	29	64,8	20,5	60	110,7	20,5	
30	63,5	21,4				30	65,9	20,5				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 1,6 µS/cm (20°C)  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 1,894 mS/cm = 1894 µS/cm (21°C)  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



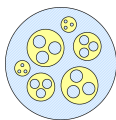
## Sistema IX

**W<sub>1</sub>:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** Parafina + 1 % Span 80 + 0,1 % DEHPA  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.9. Conductividad en función del tiempo para el Sistema IX.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	1,6	21	31	32,1	21,4	0	1,6	21	31	38,5	21,7	
1	28,9	21,6	32	32,2	21,4	1	24,9	21,8	32	38,7	21,7	
2	30	21,6	33	32,3	21,4	2	26,7	21,8	33	38,9	21,7	
3	30,2	21,6	34	32,3	21,4	3	27,6	21,8	34	39,1	21,7	
4	30,4	21,6	35	32,4	21,4	4	27,8	21,8	35	39,5	21,7	
5	30,5	21,6	36	32,6	21,4	5	28,6	21,8	36	39,5	21,7	
6	30,5	21,6	37	32,6	21,4	6	29,2	21,8	37	39,8	21,7	
7	30,6	21,6	38	32,8	21,4	7	29,6	21,8	38	40	21,7	
8	30,5	21,6	39	32,9	21,4	8	30,5	21,8	39	40,3	21,7	
9	30,6	21,5	40	33	21,4	9	31	21,8	40	40,7	21,7	
10	30,6	21,5	41	33	21,4	10	31,1	21,8	41	40,8	21,7	
11	30,6	21,5	42	33,1	21,4	11	31,5	21,7	42	41	21,7	
12	30,8	21,5	43	33,2	21,4	12	32	21,7	43	41,2	21,7	
13	30,8	21,5	44	33,3	21,4	13	32,5	21,7	44	41,4	21,7	
14	30,8	21,5	45	33,3	21,4	14	32,9	21,7	45	41,6	21,7	
15	30,9	21,5	46	33,5	21,4	15	33,2	21,7	46	41,9	21,7	
16	31	21,5	47	33,6	21,4	16	33,6	21,7	47	42,1	21,7	
17	30,9	21,5	48	33,7	21,4	17	33,9	21,7	48	42,2	21,7	
18	31	21,5	49	33,8	21,4	18	34,2	21,7	49	42,5	21,7	
19	31,1	21,5	50	33,9	21,4	19	34,5	21,7	50	42,6	21,7	
20	31,2	21,5	51	34	21,4	20	35,2	21,7	51	42,8	21,7	
21	31,3	21,5	52	34,1	21,4	21	35,6	21,7	52	43	21,7	
22	31,3	21,5	53	34,3	21,4	22	35,9	21,7	53	43,2	21,7	
23	31,4	21,5	54	34,4	21,4	23	36	21,7	54	43,4	21,7	
24	31,5	21,5	55	34,5	21,4	24	36,5	21,7	55	43,7	21,7	
25	31,6	21,5	56	34,6	21,4	25	37	21,7	56	43,9	21,7	
26	31,7	21,5	57	34,7	21,4	26	37,3	21,7	57	44,1	21,7	
27	31,8	21,5	58	34,8	21,4	27	37,5	21,7	58	44,3	21,7	
28	31,9	21,5	59	34,9	21,4	28	37,7	21,7	59	44,6	21,7	
29	32	21,5	60	35,1	21,4	29	37,8	21,7	60	44,8	21,7	
30	32,1	21,5				30	38,2	21,7				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 1,6 µS/cm [21°C]  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 1,894 mS/cm = 1894 µS/cm [21°C]  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



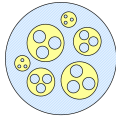
## Sistema X

**W<sub>1</sub>:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** Parafina + 1 % Span 80 + 0,5 % DEHPA  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.10. Conductividad en función del tiempo para el Sistema X.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µS/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µS/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µS/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µS/cm)	Tem (°C)
0	1,5	20,8	31	73,5	21,8	0	1,5	20,8	31	71,4	20,5	
1	47,6	21,9	32	74,4	21,8	1	51,3	20,4	32	71,9	20,6	
2	49,5	21,9	33	74,9	21,8	2	52	20,4	33	72,3	20,6	
3	50,8	21,9	34	75,6	21,8	3	53,5	20,4	34	72,7	20,6	
4	52,1	21,9	35	75,9	21,8	4	54,2	20,4	35	73,4	20,6	
5	53,5	21,9	36	76,5	21,8	5	55	20,4	36	73,6	20,6	
6	54,1	21,9	37	77,6	21,8	6	56,1	20,4	37	74,3	20,6	
7	55,3	21,9	38	78	21,8	7	56,6	20,4	38	74,6	20,6	
8	56,3	21,9	39	78,5	21,8	8	57,3	20,4	39	75,2	20,6	
9	57,2	21,9	40	79,3	21,8	9	58	20,4	40	75,4	20,6	
10	58	21,9	41	79,6	21,7	10	59	20,4	41	76	20,6	
11	59,1	21,9	42	80,3	21,7	11	59,6	20,4	42	76,3	20,6	
12	59,9	21,8	43	80,7	21,7	12	60,3	20,4	43	77,1	20,6	
13	60,9	21,8	44	81,4	21,7	13	61,1	20,4	44	77,3	20,6	
14	61,6	21,8	45	81,9	21,7	14	61,7	20,4	45	77,9	20,6	
15	62,5	21,8	46	82,2	21,7	15	62,2	20,4	46	78,1	20,6	
16	63,2	21,8	47	82,8	21,7	16	63	20,4	47	78,5	20,6	
17	64,2	21,8	48	83,4	21,7	17	63,7	20,4	48	78,9	20,6	
18	64,8	21,8	49	84	21,7	18	64,3	20,4	49	79,2	20,6	
19	65,7	21,8	50	84,3	21,7	19	64,7	20,5	50	79,6	20,6	
20	66	21,8	51	84,9	21,7	20	65,5	20,5	51	80,2	20,6	
21	67,2	21,8	52	85,4	21,7	21	65,9	20,5	52	80,4	20,7	
22	67,7	21,8	53	85,8	21,7	22	66,4	20,5	53	80,7	20,7	
23	68,4	21,8	54	86,6	21,7	23	67	20,5	54	81,1	20,7	
24	69	21,8	55	86,9	21,7	24	67,9	20,5	55	81,4	20,7	
25	69,7	21,8	56	87,4	21,7	25	68,5	20,5	56	81,9	20,7	
26	70,4	21,8	57	88,2	21,7	26	68,7	20,5	57	82,2	20,7	
27	71,1	21,8	58	88,2	21,7	27	69,4	20,5	58	82,6	20,7	
28	72	21,8	59	88,7	21,7	28	69,8	20,5	59	83,3	20,7	
29	72,6	21,8	60	89,2	21,7	29	70,5	20,5	60	83,5	20,7	
30	73	21,8				30	70,8	20,5				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 1,5 µS/cm [21°C]  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 1,894 mS/cm = 1894 µS/cm [21°C]  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



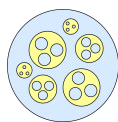
## Sistema XI

**W<sub>1</sub>:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** Parafina + 1 % Span 80 + 1 % DEHPA  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.11. Conductividad en función del tiempo para el Sistema XI.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µS/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µS/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µS/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µS/cm)	Tem (°C)
0	1,6	20,8	31	108,5	21,2	0	1,6	20,8	31	110,3	21,6	
1	1,6	21,4	32	108,8	21,2	1	1,6	21,8	32	110,1	21,6	
2	85,9	21,4	33	109	21,2	2	88	21,8	33	110,3	21,6	
3	89,1	21,4	34	109,6	21,2	3	90,7	21,8	34	110,6	21,6	
4	89,9	21,4	35	110	21,2	4	92,9	21,8	35	110,6	21,6	
5	91,5	21,4	36	110	21,2	5	94	21,8	36	110,9	21,6	
6	92,3	21,4	37	110,7	21,2	6	95,6	21,8	37	111	21,6	
7	93,7	21,4	38	111	21,2	7	96,4	21,8	38	111,1	21,6	
8	94,2	21,4	39	111,2	21,2	8	97,3	21,7	39	111,5	21,6	
9	95,4	21,4	40	111,4	21,2	9	98,5	21,7	40	111,6	21,6	
10	96,2	21,3	41	112	21,2	10	99,1	21,7	41	111,7	21,6	
11	97	21,3	42	113,2	21,2	11	100,1	21,7	42	112,8	21,6	
12	97,8	21,2	43	113,3	21,2	12	100,6	21,7	43	113,1	21,6	
13	98,5	21,2	44	113,6	21,2	13	101,5	21,7	44	113,1	21,6	
14	99	21,2	45	114	21,2	14	102	21,7	45	113,3	21,6	
15	99,5	21,2	46	114	21,2	15	103	21,7	46	113,6	21,6	
16	100,3	21,2	47	114,8	21,2	16	103,3	21,7	47	113,6	21,6	
17	100,8	21,2	48	114,8	21,2	17	104,8	21,7	48	113,8	21,6	
18	101,4	21,2	49	115,1	21,2	18	104,3	21,6	49	113,9	21,6	
19	102	21,2	50	115,3	21,2	19	104,7	21,6	50	114,1	21,6	
20	102,4	21,2	51	115,4	21,2	20	105,4	21,6	51	114,3	21,6	
21	102,8	21,2	52	115,7	21,2	21	105,6	21,6	52	114,3	21,6	
22	103,4	21,2	53	116	21,2	22	106	21,6	53	114,6	21,6	
23	103,7	21,2	54	116,2	21,2	23	106,3	21,6	54	114,7	21,6	
24	104	21,2	55	116,5	21,2	24	106,7	21,6	55	114,9	21,6	
25	104,4	21,2	56	116,7	21,2	25	107,3	21,6	56	115	21,6	
26	104,8	21,2	57	116,9	21,2	26	107,3	21,6	57	115,2	21,6	
27	105,1	21,2	58	117,3	21,2	27	107,8	21,6	58	115,2	21,6	
28	106,9	21,2	59	117,5	21,2	28	109	21,6	59	115,3	21,6	
29	107,4	21,2	60	117,7	21,2	29	109,1	21,6	60	115,4	21,6	
30	107,6	21,2				30	109,4	21,6				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 1,6 µS/cm [21°C]  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 1,894 mS/cm = 1894 µS/cm [21°C]  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



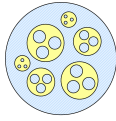
## Sistema XII

**W:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** 25% v/v de Heptano en Parafina + 1 % Span 80 + 0,1 % TBP  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.12. Conductividad en función del tiempo para el Sistema XII.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	0,8	21,5	31	2,19	21,5	0	0,8	20,7	31	2,65	21,5	
1	0,84	21,5	32	2,27	21,5	1	0,88	21,5	32	2,74	21,5	
2	0,96	21,5	33	2,35	21,5	2	0,95	21,5	33	2,82	21,5	
3	0,97	21,5	34	2,4	21,5	3	0,98	21,5	34	2,87	21,5	
4	1,03	21,5	35	2,43	21,5	4	1,04	21,5	35	2,92	21,5	
5	1,1	21,5	36	2,5	21,5	5	1,11	21,5	36	2,99	21,5	
6	1,13	21,5	37	2,56	21,5	6	1,2	21,5	37	3,05	21,5	
7	1,2	21,5	38	2,65	21,6	7	1,25	21,5	38	3,1	21,5	
8	1,19	21,5	39	2,72	21,6	8	1,35	21,5	39	3,17	21,5	
9	1,23	21,5	40	2,78	21,6	9	1,4	21,5	40	3,26	21,5	
10	1,26	21,5	41	2,87	21,6	10	1,48	21,5	41	3,34	21,5	
11	1,31	21,5	42	2,93	21,6	11	1,55	21,5	42	3,4	21,5	
12	1,35	21,5	43	3	21,6	12	1,61	21,5	43	3,48	21,5	
13	1,4	21,5	44	3,1	21,6	13	1,67	21,5	44	3,56	21,5	
14	1,42	21,5	45	3,19	21,6	14	1,74	21,5	45	3,61	21,5	
15	1,46	21,5	46	3,26	21,6	15	1,79	21,5	46	3,67	21,5	
16	1,49	21,5	47	3,31	21,6	16	1,85	21,5	47	3,79	21,5	
17	1,53	21,5	48	3,4	21,6	17	1,88	21,5	48	3,87	21,5	
18	1,57	21,5	49	3,47	21,6	18	1,93	21,5	49	3,96	21,5	
19	1,6	21,5	50	3,55	21,6	19	1,99	21,5	50	4,04	21,5	
20	1,65	21,5	51	3,63	21,6	20	2,05	21,5	51	4,13	21,5	
21	1,7	21,5	52	3,73	21,6	21	2,13	21,5	52	4,2	21,5	
22	1,75	21,5	53	3,85	21,6	22	2,18	21,5	53	4,35	21,5	
23	1,8	21,5	54	3,96	21,6	23	2,23	21,5	54	4,42	21,5	
24	1,85	21,5	55	4,05	21,6	24	2,3	21,5	55	4,47	21,5	
25	1,9	21,5	56	4,16	21,6	25	2,32	21,5	56	4,53	21,5	
26	1,95	21,5	57	4,24	21,6	26	2,37	21,5	57	4,67	21,5	
27	1,99	21,5	58	4,34	21,6	27	2,43	21,5	58	4,7	21,5	
28	2,04	21,5	59	4,47	21,6	28	2,47	21,5	59	4,77	21,5	
29	2,09	21,5	60	4,58	21,6	29	2,53	21,5	60	4,9	21,5	
30	2,16	21,5				30	2,58	21,5				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 0,8 µS/cm (21°C)  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 1,894 mS/cm = 1894 µS/cm (21°C)  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



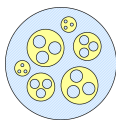
## Sistema XIII

**W:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** 25% v/v de Heptano en Parafina + 1 % Span 80 + 0,5 % TBP  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.13. Conductividad en función del tiempo para el Sistema XIII.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	0,86	20,5	31	8,46	21,4	0	0,86	20,5	31	6,96	21,8	
1	1,27	21,3	32	8,75	21,4	1	1,01	21,7	32	7,34	21,8	
2	1,68	21,3	33	9	21,4	2	1,4	21,7	33	7,65	21,8	
3	1,88	21,3	34	9,4	21,4	3	1,52	21,7	34	7,9	21,8	
4	2,07	21,3	35	9,76	21,4	4	1,68	21,7	35	8,12	21,8	
5	2,21	21,3	36	10,05	21,4	5	1,8	21,7	36	8,51	21,8	
6	2,43	21,3	37	10,44	21,4	6	1,94	21,7	37	8,75	21,8	
7	2,54	21,3	38	10,79	21,4	7	2,13	21,7	38	9,08	21,8	
8	2,78	21,3	39	11,27	21,4	8	2,29	21,7	39	9,4	21,8	
9	2,9	21,3	40	11,53	21,4	9	2,4	21,7	40	9,71	21,8	
10	3,1	21,3	41	12,03	21,4	10	2,54	21,7	41	9,95	21,8	
11	3,28	21,3	42	12,32	21,4	11	2,64	21,7	42	10,3	21,8	
12	3,5	21,3	43	12,69	21,4	12	2,86	21,7	43	10,68	21,8	
13	3,62	21,3	44	13,2	21,4	13	3,06	21,7	44	11,1	21,8	
14	3,8	21,3	45	13,6	21,4	14	3,3	21,7	45	11,54	21,8	
15	4,15	21,3	46	13,88	21,4	15	3,45	21,7	46	11,84	21,8	
16	4,34	21,3	47	14,3	21,4	16	3,58	21,7	47	12,3	21,8	
17	4,54	21,3	48	14,83	21,4	17	3,79	21,7	48	12,74	21,8	
18	4,79	21,3	49	15,2	21,4	18	4,05	21,7	49	13,15	21,8	
19	5	21,4	50	15,85	21,4	19	4,18	21,7	50	13,35	21,8	
20	5,24	21,4	51	16,25	21,4	20	4,49	21,7	51	13,78	21,8	
21	5,55	21,4	52	17,02	21,4	21	4,64	21,7	52	14,18	21,8	
22	5,85	21,4	53	17,42	21,4	22	4,84	21,7	53	14,65	21,8	
23	6,12	21,4	54	18,03	21,4	23	5,09	21,7	54	15,07	21,8	
24	6,25	21,4	55	18,6	21,6	24	5,28	21,7	55	15,53	21,8	
25	6,62	21,4	56	19,2	21,6	25	5,53	21,7	56	16,05	21,8	
26	6,94	21,4	57	19,7	21,6	26	5,78	21,7	57	16,45	21,8	
27	7,21	21,4	58	20,2	21,6	27	5,99	21,7	58	17,09	21,8	
28	7,37	21,4	59	20,9	21,6	28	6,23	21,7	59	17,43	22	
29	7,79	21,4	60	21,5	21,6	29	6,5	21,7	60	17,96	22	
30	8,12	21,4				30	6,79	21,7				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 0,86 µS/cm (21°C)  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 0,919 mS/cm = 919 µS/cm (21°C)  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



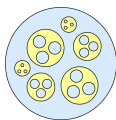
## Sistema XIV

**W:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** 25% v/v de Heptano en Parafina + 1 % Span 80 + 0,1 % DEHPA  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.14. Conductividad en función del tiempo para el Sistema XIV.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	0,82	21	31	13,39	21	0	0,82	21	31	13,8	22	
1	12,04	21	32	13,47	21	1	12,05	22	32	13,96	22	
2	12	21	33	13,51	21	2	12	22	33	14,02	22	
3	11,9	21	34	13,69	21	3	11,87	22	34	14,21	22	
4	11,87	21	35	13,75	21	4	11,87	22	35	14,33	22	
5	11,92	21	36	13,81	21	5	11,8	22	36	14,45	22	
6	11,92	21	37	13,93	21	6	11,88	22	37	14,59	22	
7	11,89	21	38	13,94	21	7	11,88	22	38	14,69	22	
8	11,92	21	39	14,03	21	8	11,87	22	39	14,8	22	
9	12,16	21	40	14,18	21	9	11,88	22	40	14,99	22	
10	12,17	21	41	14,24	21	10	12,04	22	41	15,11	22	
11	12,26	21	42	14,32	21	11	12,04	22	42	15,23	22	
12	12,25	21	43	14,44	21	12	12	22	43	15,33	22	
13	12,27	21	44	14,53	21	13	12,05	22	44	15,47	22	
14	12,27	21	45	14,66	21	14	12,05	22	45	15,64	22	
15	12,33	21	46	14,75	21	15	12,06	22	46	15,8	22	
16	12,39	21	47	14,79	21	16	12,11	22	47	15,97	22	
17	12,4	21	48	14,84	21	17	12,24	22	48	16,13	22	
18	12,48	21	49	14,98	21	18	12,35	22	49	16,23	22	
19	12,51	21	50	15,08	21	19	12,45	22	50	16,38	22	
20	12,54	21	51	15,23	21	20	12,55	22	51	16,51	22	
21	12,6	21	52	15,39	21	21	12,65	22	52	16,72	22	
22	12,64	21	53	15,42	21	22	12,73	22	53	16,81	22	
23	12,73	21	54	15,55	21	23	12,9	22	54	16,96	22	
24	12,81	21	55	15,71	21	24	13,02	22	55	17,1	22	
25	12,88	21	56	15,81	21	25	13,17	22	56	17,19	22	
26	12,93	21	57	15,96	21	26	13,24	22	57	17,37	22	
27	12,98	21	58	15,97	21	27	13,31	22	58	17,51	22	
28	13,05	21	59	16,02	21	28	13,44	22	59	17,62	22	
29	13,2	21	60	16,25	21	29	13,6	22	60	17,78	22	
30	13,26	21				30	13,74	22				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 0,82 µS/cm (21°C)  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 0,919 mS/cm = 919 µS/cm (21°C)  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



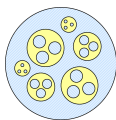
## Sistema XV

**W:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** 25% v/v de Heptano en Parafina + 1 % Span 80 + 0,5 % DEHPA  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.15. Conductividad en función del tiempo para el Sistema XV.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	0,85	21,7	31	29,5	22,2	0	0,83	20,8	31	23,68	21,1	
1	21,92	22,2	32	29,7	22,2	1	21,05	20,9	32	23,78	21,1	
2	22,54	22,2	33	30	22,3	2	21,89	20,9	33	23,84	21,1	
3	22,75	22,2	34	30,2	22,3	3	22	20,9	34	23,94	21,1	
4	22,84	22,2	35	30,4	22,3	4	22,07	20,9	35	24,01	21,1	
5	22,93	22,2	36	30,6	22,3	5	21,87	20,9	36	24,15	21,1	
6	23,13	22,2	37	30,8	22,3	6	21,67	20,9	37	24,25	21,1	
7	23,25	22,2	38	31,1	22,3	7	21,59	20,9	38	24,41	21,1	
8	23,4	22,2	39	31,5	22,3	8	21,48	20,9	39	24,54	21,1	
9	23,68	22,2	40	31,7	22,3	9	21,56	20,9	40	24,65	21,1	
10	23,86	22,2	41	32	22,3	10	21,7	20,9	41	24,75	21,1	
11	24,03	22,2	42	32,2	22,3	11	21,74	20,9	42	24,86	21,2	
12	24,41	22,2	43	32,4	22,3	12	21,85	20,9	43	24,98	21,2	
13	24,81	22,2	44	32,7	22,3	13	21,95	20,9	44	25,11	21,2	
14	25,02	22,2	45	32,9	22,3	14	22,05	20,9	45	25,18	21,2	
15	25,15	22,2	46	33,2	22,3	15	22,12	20,9	46	25,52	21,2	
16	25,6	22,2	47	33,5	22,3	16	22,19	20,9	47	25,64	21,2	
17	25,8	22,2	48	33,7	22,3	17	22,2	20,9	48	25,7	21,2	
18	25,91	22,2	49	33,9	22,3	18	22,27	20,9	49	25,8	21,2	
19	26,15	22,2	50	34,1	22,3	19	22,4	20,9	50	25,88	21,2	
20	26,5	22,2	51	34,4	22,3	20	22,47	21	51	25,96	21,2	
21	26,84	22,2	52	34,6	22,3	21	22,59	21	52	26,05	21,2	
22	27,01	22,2	53	34,9	22,3	22	22,65	21	53	26,18	21,2	
23	27,43	22,2	54	35,1	22,3	23	22,75	21	54	26,37	21,2	
24	27,6	22,2	55	35,3	22,4	24	22,84	21	55	26,51	21,2	
25	27,95	22,2	56	35,5	22,4	25	22,9	21	56	26,63	21,2	
26	28,22	22,2	57	35,8	22,4	26	23,08	21	57	26,7	21,2	
27	28,5	22,2	58	36	22,4	27	23,19	21	58	26,84	21,2	
28	28,8	22,2	59	36,3	22,4	28	23,29	21	59	26,94	21,2	
29	29	22,2	60	36,6	22,4	29	23,53	21,1	60	27,15	21,2	
30	29,2	22,2				30	23,58	21,1				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 0,84 µS/cm (21°C)  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 0,919 mS/cm = 919 µS/cm (21°C)  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



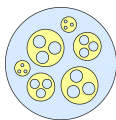
## Sistema XVI

**W:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** 50% v/v de Heptano en Parafina + 1 % Span 80 + 0,1 % TBP  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.16. Conductividad en función del tiempo para el Sistema XVI.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	0,90	20,6	31	2,46	21	0	0,95	21	31	1,75	22	
1	0,83	21	32	2,5	21	1	0,83	21	32	1,83	22	
2	0,97	21	33	2,59	21	2	0,86	21	33	1,91	22	
3	0,99	21	34	2,69	21	3	0,93	22	34	1,94	22	
4	1,09	21	35	2,73	21	4	0,96	22	35	2,02	22	
5	1,15	21	36	2,81	21	5	0,98	22	36	2,07	22	
6	1,21	21	37	2,9	21	6	0,98	22	37	2,11	22	
7	1,26	21	38	3	21	7	1	22	38	2,13	22	
8	1,29	21	39	3,05	21	8	1,05	22	39	2,23	22	
9	1,32	21	40	3,18	21	9	1,06	22	40	2,3	22	
10	1,38	21	41	3,26	21	10	1,1	22	41	2,41	22	
11	1,44	21	42	3,36	21	11	1,1	22	42	2,51	22	
12	1,47	21	43	3,5	21	12	1,12	22	43	2,53	22	
13	1,5	21	44	3,65	21	13	1,18	22	44	2,64	22	
14	1,54	21	45	3,74	21	14	1,18	22	45	2,75	22	
15	1,58	21	46	3,84	21	15	1,2	22	46	2,83	22	
16	1,68	21	47	3,98	21	16	1,22	22	47	2,91	22	
17	1,71	21	48	4,16	21	17	1,24	22	48	3	22	
18	1,72	21	49	4,23	21	18	1,31	22	49	3,12	22	
19	1,78	21	50	4,4	21	19	1,32	22	50	3,21	22	
20	1,8	21	51	4,57	21	20	1,37	22	51	3,37	22	
21	1,85	21	52	4,74	21	21	1,4	22	52	3,47	22	
22	1,9	21	53	4,85	21	22	1,42	22	53	3,6	22	
23	1,95	21	54	5,05	21	23	1,45	22	54	3,71	22	
24	1,99	21	55	5,22	21	24	1,48	22	55	3,86	22	
25	2,05	21	56	5,39	21	25	1,55	22	56	4	22	
26	2,12	21	57	5,52	21	26	1,56	22	57	4,1	22	
27	2,18	21	58	5,75	21	27	1,59	22	58	4,29	22	
28	2,26	21	59	5,93	21	28	1,64	22	59	4,44	22	
29	2,31	21	60	6,15	21	29	1,67	22	60	4,62	22	
30	2,36	21				30	1,7	22				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 0,95 µS/cm (21°C)  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 0,919 mS/cm = 919 µS/cm (21°C)  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



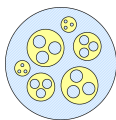
## Sistema XVII

**W:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** 50% v/v de Heptano en Parafina + 1 % Span 80 + 0,5 % TBP  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.17. Conductividad en función del tiempo para el Sistema XVII.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	0,8	20,9	31	9,64	21,2	0	0,8	20,9	31	6,36	21,7	
1	1,07	21	32	9,94	21,2	1	0,85	21,6	32	6,65	21,7	
2	1,35	21	33	10,3	21,2	2	1,01	21,6	33	6,95	21,7	
3	1,68	21	34	10,65	21,2	3	1,17	21,6	34	7,48	21,7	
4	1,95	21	35	11,08	21,2	4	1,27	21,6	35	7,73	21,7	
5	2,21	21	36	11,47	21,2	5	1,41	21,6	36	8,13	21,7	
6	2,42	21	37	11,8	21,2	6	1,5	21,6	37	8,59	21,7	
7	2,63	21	38	12,3	21,2	7	1,62	21,6	38	8,86	21,7	
8	3	21	39	12,65	21,2	8	1,78	21,6	39	9,21	21,7	
9	3,28	21	40	13,08	21,2	9	1,85	21,6	40	9,73	21,7	
10	3,59	21	41	13,48	21,3	10	1,95	21,6	41	10,2	21,7	
11	3,88	21	42	13,95	21,3	11	2,05	21,6	42	10,58	21,7	
12	4,1	21	43	14,4	21,3	12	2,21	21,6	43	11,08	21,7	
13	4,45	21	44	14,94	21,3	13	2,35	21,6	44	11,58	21,7	
14	4,8	21	45	15,32	21,3	14	2,47	21,6	45	12,05	21,7	
15	5,06	21	46	15,87	21,3	15	2,69	21,6	46	12,58	21,7	
16	5,28	21	47	16,36	21,3	16	2,85	21,6	47	13,1	21,7	
17	5,53	21	48	16,82	21,3	17	3,02	21,6	48	13,66	21,7	
18	5,78	21	49	17,35	21,3	18	3,18	21,6	49	14,12	21,7	
19	6,08	21	50	17,96	21,3	19	3,38	21,6	50	14,81	21,7	
20	6,3	21	51	18,55	21,3	20	3,66	21,6	51	15,44	21,7	
21	6,63	21	52	19,11	21,3	21	3,78	21,6	52	15,95	21,8	
22	6,83	21	53	19,67	21,3	22	3,98	21,6	53	16,65	21,8	
23	7,2	21	54	20,15	21,3	23	4,26	21,6	54	17,34	21,8	
24	7,45	21,1	55	20,89	21,3	24	4,48	21,6	55	17,87	21,8	
25	7,71	21,1	56	21,45	21,4	25	4,71	21,6	56	18,68	21,8	
26	8,03	21,1	57	22,12	21,4	26	4,92	21,6	57	19,22	21,8	
27	8,4	21,1	58	22,74	21,4	27	5,22	21,6	58	20,23	21,8	
28	8,69	21,1	59	23,52	21,4	28	5,5	21,6	59	20,9	21,8	
29	8,91	21,2	60	24,11	21,4	29	5,75	21,6	60	21,5	21,8	
30	9,25	21,2				30	6,00	21,7				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 0,80 µS/cm (21°C)  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 0,919 mS/cm = 919 µS/cm (21°C)  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



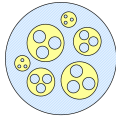
## Sistema XVIII

**W:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** 50% v/v de Heptano en Parafina + 1 % Span 80 + 0,1 % DEHPA  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.18. Conductividad en función del tiempo para el Sistema XVIII.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	0,87	22	31	12,65	22	0	0,8	21,4	31	10,48	22	
1	10,5	22	32	12,87	22	1	10,48	22	32	10,63	22	
2	10,3	22	33	13,1	22	2	10,3	22	33	10,82	22	
3	10,15	22	34	13,27	22	3	9,85	22	34	10,94	22	
4	9,78	22	35	13,48	22	4	9,65	22	35	11,16	22	
5	9,73	22	36	13,7	22	5	9,45	22	36	11,25	22	
6	9,56	22	37	13,89	22	6	9,26	22	37	11,39	22	
7	9,51	22	38	14,03	22	7	9,14	22	38	11,46	22	
8	9,51	22	39	14,3	22	8	9,05	22	39	11,67	22	
9	9,51	22	40	14,5	21,9	9	8,9	22	40	11,77	22	
10	9,51	22	41	14,65	21,9	10	8,82	22	41	11,93	22	
11	9,62	22	42	14,85	21,9	11	8,82	22	42	12,11	22	
12	9,7	22	43	15,02	21,9	12	8,84	22	43	12,17	22	
13	9,75	22	44	15,25	21,9	13	8,84	22	44	12,35	22	
14	9,83	22	45	15,4	21,9	14	8,92	22	45	12,49	22	
15	9,93	22	46	15,64	21,9	15	9,02	22	46	12,69	22	
16	10,13	22	47	15,9	21,9	16	9,09	22	47	12,77	22	
17	10,27	22	48	16,1	21,9	17	9,17	22	48	13	22	
18	10,39	22	49	16,27	21,9	18	9,25	22	49	13,2	22	
19	10,58	22	50	16,53	21,9	19	9,31	22	50	13,36	22	
20	10,7	22	51	16,68	21,9	20	9,39	22	51	13,46	22	
21	10,9	22	52	16,85	21,9	21	9,51	22	52	13,65	22	
22	11,04	22	53	17,1	21,9	22	9,58	22	53	13,87	22	
23	11,23	22	54	17,31	21,9	23	9,69	22	54	14,05	22	
24	11,35	22	55	17,46	21,9	24	9,78	22	55	14,25	22	
25	11,58	22	56	17,66	21,9	25	9,86	22	56	14,4	22	
26	11,72	22	57	17,9	21,9	26	9,95	22	57	14,61	22	
27	11,88	22	58	18,19	21,9	27	10,07	22	58	14,81	22	
28	12,17	22	59	18,38	21,9	28	10,19	22	59	15,08	22	
29	12,28	22	60	18,55	21,9	29	10,26	22	60	15,3	22	
30	12,48	22				30	10,38	22				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 0,80 µS/cm (21°C)  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 0,919 mS/cm = 919 µS/cm (21°C)  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



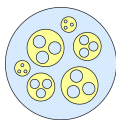
## Sistema XIX

**W:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** 50% v/v de Heptano en Parafina + 1 % Span 80 + 0,5 % DEHPA  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.19. Conductividad en función del tiempo para el Sistema XIX.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	0,82	20,5	31	23,6	21,8	0	0,82	21	31	23,4	21,7	
1	18,74	21,6	32	23,94	21,8	1	19,73	21,7	32	23,65	21,7	
2	18,62	21,6	33	24,16	21,8	2	19,64	21,7	33	23,84	21,7	
3	18,22	21,6	34	24,4	21,8	3	19,45	21,7	34	24,1	21,7	
4	17,75	21,6	35	24,88	21,8	4	18,9	21,7	35	24,3	21,7	
5	17,47	21,6	36	24,92	21,8	5	18,45	21,7	36	24,5	21,7	
6	17,35	21,6	37	25,34	21,8	6	18,25	21,7	37	24,75	21,8	
7	17,35	21,6	38	25,6	21,8	7	17,95	21,7	38	25,05	21,8	
8	17,57	21,6	39	25,89	21,8	8	17,95	21,7	39	25,23	21,8	
9	17,76	21,6	40	26,11	21,8	9	18,22	21,7	40	25,48	21,8	
10	18,01	21,6	41	26,49	21,8	10	18,4	21,7	41	25,7	21,8	
11	18,25	21,6	42	26,7	21,8	11	18,52	21,7	42	26,11	21,8	
12	18,57	21,6	43	27,11	21,8	12	18,76	21,7	43	26,26	21,8	
13	18,8	21,6	44	27,37	21,8	13	18,98	21,7	44	26,56	21,8	
14	19,14	21,6	45	27,72	21,9	14	19,16	21,7	45	26,79	21,8	
15	19,35	21,6	46	28	21,9	15	19,36	21,7	46	27,09	21,8	
16	19,7	21,6	47	28,4	21,9	16	19,68	21,7	47	27,38	21,8	
17	19,95	21,6	48	28,7	21,9	17	19,83	21,7	48	27,7	21,8	
18	20,27	21,7	49	29,1	21,9	18	20,18	21,7	49	27,9	21,8	
19	20,56	21,7	50	29,5	21,9	19	20,47	21,7	50	28,3	21,9	
20	20,79	21,7	51	29,7	21,9	20	20,56	21,7	51	28,5	21,9	
21	21,1	21,7	52	30,1	21,9	21	20,84	21,7	52	28,9	21,9	
22	21,33	21,7	53	30,6	21,9	22	21,11	21,7	53	29,3	21,9	
23	21,58	21,7	54	30,9	21,9	23	21,33	21,7	54	29,5	21,9	
24	21,82	21,7	55	31,3	21,9	24	21,69	21,7	55	29,7	21,9	
25	22,09	21,7	56	31,7	21,9	25	21,95	21,7	56	30	21,9	
26	22,39	21,7	57	32,2	21,9	26	22,15	21,7	57	30,6	21,9	
27	22,62	21,7	58	32,8	21,9	27	22,37	21,7	58	30,9	21,9	
28	22,94	21,8	59	33,1	21,9	28	22,64	21,7	59	31,3	21,9	
29	23,09	21,8	60	33,6	21,9	29	22,83	21,7	60	31,7	21,9	
30	23,51	21,8				30	23,12	21,7				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 0,82 µS/cm (21°C)  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 0,919 mS/cm = 919 µS/cm (21°C)  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



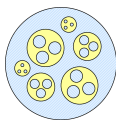
## Sistema XX

**W:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** 75% v/v de Heptano en Parafina + 1 % Span 80 + 0,1 % TBP  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.20. Conductividad en función del tiempo para el Sistema XX.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	0,85	21,2	31	8,11	21,9	0	0,84	20,9	31	8,65	21,1	
1	0,89	22	32	8,93	21,9	1	1,08	21,1	32	9,05	21,1	
2	0,99	22	33	9,83	21,9	2	1,28	21,1	33	9,62	21,1	
3	1,03	22	34	10,7	21,9	3	1,4	21,1	34	10,05	21,1	
4	1,05	22	35	11,8	21,9	4	1,52	21,1	35	10,71	21,1	
5	1,15	22	36	12,58	21,9	5	1,65	21,1	36	11,32	21,1	
6	1,23	22	37	13,57	21,9	6	1,75	21,1	37	12	21,1	
7	1,28	22	38	14,6	21,9	7	1,85	21,1	38	12,55	21,1	
8	1,32	22	39	15,91	21,9	8	1,95	21,1	39	13,27	21,1	
9	1,42	22	40	16,98	21,9	9	2,15	21,1	40	13,9	21,2	
10	1,5	22	41	18,19	21,9	10	2,3	21,1	41	14,74	21,2	
11	1,54	22	42	19,63	21,9	11	2,45	21,1	42	15,42	21,2	
12	1,57	22	43	20,87	22	12	2,6	21,1	43	16,9	21,2	
13	1,69	22	44	21,98	22	13	2,75	21,1	44	18	21,2	
14	1,81	22	45	23,41	22	14	2,96	21,1	45	18,9	21,2	
15	1,98	22	46	25,45	22	15	3,15	21,1	46	20,57	21,2	
16	2,11	22	47	27,01	22	16	3,39	21,1	47	22,35	21,2	
17	2,3	22	48	27,69	22	17	3,62	21,1	48	24,2	21,2	
18	2,45	21,9	49	29,5	22	18	4	21,1	49	25,15	21,2	
19	2,66	21,9	50	31	22	19	4,24	21,1	50	26,5	21,2	
20	2,98	21,9	51	33	22	20	4,45	21,1	51	28,15	21,2	
21	3,2	21,9	52	34,4	22	21	4,77	21,1	52	29,5	21,2	
22	3,52	21,9	53	35,9	22	22	5,09	21,1	53	31,3	21,2	
23	3,88	21,9	54	37,4	22	23	5,35	21,1	54	32,5	21,2	
24	4,27	21,9	55	39,3	22	24	5,75	21,1	55	34,3	21,2	
25	4,75	21,9	56	40,8	22	25	6,08	21,1	56	36,6	21,2	
26	5,11	21,9	57	42,8	22	26	6,56	21,1	57	38,1	21,2	
27	5,7	21,9	58	44,4	22	27	6,9	21,1	58	39,7	21,2	
28	6,14	21,9	59	46,2	22	28	7,28	21,1	59	40,6	21,2	
29	6,8	21,9	60	47,8	22	29	7,75	21,1	60	41,5	21,2	
30	7,5	21,9				30	8,1	21,1				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 0,84 µS/cm (21°C)  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 0,919 mS/cm = 919 µS/cm (21°C)  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



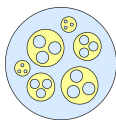
## Sistema XXI

**W:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** 75% v/v de Heptano en Parafina + 1 % Span 80 + 0,5 % TBP  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.21. Conductividad en función del tiempo para el Sistema XXI.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	0,84	21,4	31	48,9	22	0	0,84	21	31	32,7	21,1	
1	1,16	22	32	51,8	22	1	1,01	21	32	34,7	21,1	
2	1,54	22	33	54,7	22	2	1,19	21	33	37	21,1	
3	1,96	22	34	57,9	22	3	1,37	21	34	39,2	21,1	
4	2,7	22	35	60,8	22	4	1,6	21	35	41,6	21,1	
5	3,2	22	36	64	22	5	1,9	21	36	43,9	21,2	
6	3,96	22	37	67,7	22	6	2,14	21	37	46,6	21,2	
7	4,56	22	38	70,5	22	7	2,47	21	38	49,4	21,2	
8	5,45	22	39	73,5	22	8	2,92	21	39	52,3	21,2	
9	6,26	22	40	76,9	22	9	3,4	21	40	54,7	21,2	
10	7,5	22	41	79,8	22	10	3,9	21	41	57,3	21,2	
11	8,24	22	42	83,1	22	11	4,46	21	42	60,2	21,2	
12	9,37	22	43	86,1	22	12	5,03	21	43	62,5	21,2	
13	10,51	22	44	89,6	22	13	5,8	21	44	66	21,3	
14	12,12	22	45	92,6	22	14	6,59	21	45	68,1	21,3	
15	14	22	46	96,3	22	15	7,45	21	46	72,1	21,3	
16	14,66	22	47	99,4	22	16	8,35	21	47	74	21,3	
17	16,17	22	48	102,2	22	17	9,35	21	48	77,2	21,3	
18	17,88	22	49	105,5	22	18	10,35	21	49	80	21,3	
19	19,77	22	50	109,3	22	19	11,58	21	50	82,7	21,3	
20	21,68	22	51	111,8	22	20	12,88	21	51	85,5	21,3	
21	23,93	22	52	114,4	22	21	14,16	21	52	88,5	21,3	
22	25,6	21,9	53	117,8	22	22	15,8	21	53	90,9	21,3	
23	27,78	21,9	54	120,3	22	23	17,06	21,1	54	94,5	21,3	
24	30,3	21,9	55	124	22	24	18,6	21,1	55	96,9	21,3	
25	32,9	21,9	56	127,5	22	25	20,21	21,1	56	99,8	21,3	
26	35,1	21,9	57	129,6	22	26	22,15	21,1	57	102,4	21,3	
27	37,7	21,9	58	133,1	22	27	23,91	21,1	58	105,1	21,3	
28	40,8	21,9	59	136,3	22	28	25,84	21,1	59	108	21,3	
29	43,7	21,9	60	138,6	22	29	27,9	21,1	60	111	21,3	
30	46,5	21,9				30	30,2	21,1				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 0,84 µS/cm (21°C)  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 0,919 mS/cm = 919 µS/cm (21°C)  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



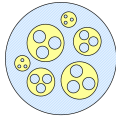
## Sistema XXII

**W:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** 75% v/v de Heptano en Parafina + 1 % Span 80 + 0,1 % DEHPA  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.22. Conductividad en función del tiempo para el Sistema XXII.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	0,85	21,1	31	19,5	21,8	0	0,84	20,8	31	17,74	21,1	
1	8,67	21,7	32	20,59	21,8	1	8,92	21	32	18,68	21,1	
2	8,4	21,7	33	21,6	21,8	2	8,69	21	33	19,55	21,1	
3	8,15	21,7	34	23,03	21,8	3	8,5	21	34	20,26	21,1	
4	7,86	21,7	35	24,36	21,8	4	8,41	21	35	21,5	21,1	
5	7,75	21,7	36	25,43	21,8	5	8,47	21	36	22,1	21,1	
6	7,75	21,7	37	27,07	21,8	6	8,51	21	37	23,13	21,1	
7	7,82	21,7	38	28,8	21,8	7	8,61	21	38	24,3	21,1	
8	7,98	21,7	39	30,3	21,8	8	8,75	21	39	25,62	21,1	
9	8,15	21,7	40	31,8	21,8	9	8,94	21	40	26,89	21,1	
10	8,35	21,7	41	33,7	21,8	10	9,16	21	41	28,1	21,2	
11	8,64	21,7	42	35,6	21,8	11	9,44	21	42	30	21,2	
12	8,9	21,8	43	37,9	21,8	12	9,64	21	43	31,1	21,2	
13	9,16	21,8	44	39,9	21,8	13	9,89	21	44	33,2	21,2	
14	9,54	21,8	45	41,2	21,8	14	10,15	21	45	34,5	21,2	
15	9,9	21,8	46	43,8	21,8	15	10,52	21	46	36	21,2	
16	10,2	21,8	47	45,7	21,8	16	10,81	21,1	47	38,1	21,2	
17	10,67	21,8	48	47,6	21,8	17	11,18	21,1	48	40	21,2	
18	11,07	21,8	49	49,7	21,8	18	11,52	21,1	49	42,6	21,2	
19	11,4	21,8	50	51,8	21,8	19	11,79	21,1	50	44,5	21,2	
20	11,95	21,8	51	54	21,8	20	12,27	21,1	51	46,8	21,2	
21	12,4	21,8	52	56,1	21,8	21	12,7	21,1	52	48,5	21,2	
22	12,93	21,8	53	58,9	21,8	22	13,02	21,1	53	50,1	21,2	
23	13,35	21,8	54	60,9	21,9	23	13,48	21,1	54	52,6	21,2	
24	13,92	21,8	55	63	21,9	24	13,93	21,1	55	55	21,2	
25	14,67	21,8	56	65,1	21,9	25	14,37	21,1	56	58,1	21,2	
26	15,44	21,8	57	67,5	21,9	26	14,86	21,1	57	60,2	21,2	
27	15,97	21,8	58	69,6	21,9	27	15,3	21,1	58	62,5	21,2	
28	16,9	21,8	59	71,9	21,9	28	15,91	21,1	59	64,3	21,2	
29	17,7	21,8	60	73,9	21,9	29	16,46	21,1	60	67,5	21,2	
30	18,54	21,8				30	17,1	21,1				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 0,84 µS/cm (21°C)  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 0,919 mS/cm = 919 µS/cm (21°C)  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



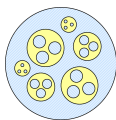
## Sistema XXIII

**W:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** 75% v/v de Heptano en Parafina + 1 % Span 80 + 0,5 % DEHPA  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.23. Conductividad en función del tiempo para el Sistema XXIII.

Nº	UNO						DOS					
	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)	T (min)	Conduc. (µs/cm)	Tem (°C)
0	0,82	21	31	28,1	21,7	0	0,82	21,1	31	26,9	21,7	
1	17,81	21,6	32	29,1	21,7	1	16,93	21,7	32	28	21,8	
2	16,98	21,6	33	30,3	21,7	2	16,04	21,7	33	29	21,8	
3	15,96	21,6	34	31,3	21,7	3	15,05	21,7	34	30,1	21,8	
4	15,3	21,6	35	32,5	21,7	4	14,67	21,7	35	31,4	21,9	
5	15,3	21,6	36	33,8	21,7	5	14,61	21,7	36	32,9	21,9	
6	15,67	21,6	37	35,4	21,7	6	15	21,7	37	33,9	21,9	
7	16,1	21,6	38	37	21,7	7	15,41	21,7	38	35,6	21,9	
8	16,58	21,6	39	38,3	21,7	8	15,87	21,7	39	36,7	21,9	
9	16,98	21,6	40	39,9	21,7	9	16,29	21,7	40	38,4	21,9	
10	17,31	21,6	41	42	21,7	10	16,8	21,7	41	40,2	21,9	
11	17,75	21,6	42	43,2	21,7	11	16,95	21,7	42	41,8	21,9	
12	18,1	21,6	43	45,8	21,7	12	17,33	21,7	43	43,6	21,9	
13	18,51	21,6	44	46,9	21,7	13	17,71	21,7	44	45,6	21,9	
14	18,82	21,6	45	48,8	21,7	14	17,96	21,7	45	47,6	21,9	
15	19,18	21,6	46	50,9	21,7	15	18,26	21,7	46	49,5	21,9	
16	19,48	21,6	47	52,9	21,7	16	18,57	21,7	47	51,5	21,9	
17	19,82	21,6	48	54,2	21,7	17	19,02	21,7	48	53,5	21,9	
18	20,18	21,6	49	56,9	21,7	18	19,3	21,7	49	55,4	21,9	
19	20,57	21,6	50	59,1	21,7	19	19,68	21,7	50	57,6	21,9	
20	21	21,6	51	61,3	21,7	20	20,13	21,7	51	59,6	21,9	
21	21,64	21,6	52	63,6	21,7	21	20,6	21,7	52	61,9	21,9	
22	21,95	21,6	53	65,7	21,7	22	20,92	21,7	53	64	22	
23	22,39	21,6	54	67,6	21,8	23	21,48	21,7	54	66,3	22	
24	22,94	21,6	55	70,1	21,8	24	21,93	21,7	55	68,5	22	
25	23,52	21,6	56	71,8	21,8	25	22,45	21,7	56	70,9	22	
26	24,1	21,6	57	74	21,8	26	23,16	21,7	57	72,7	22	
27	24,79	21,6	58	76	21,8	27	23,7	21,7	58	75,3	22	
28	25,45	21,6	59	78	21,8	28	24,6	21,7	59	77,4	22	
29	26,38	21,6	60	80,6	21,8	29	25,2	21,7	60	79,6	22	
30	27,23	21,6				30	26,02	21,7				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
 Conductividad agua destilada: 0,82 µS/cm (21°C)  
 Conductividad  $t_{\infty}$ : 0,919 mS/cm = 919 µS/cm (21°C)  
 Velocidad de Agitación: 900 rpm



## Efecto de la Temperatura

## Sistema X

**W<sub>1</sub>:** Solución NaCl 0,5% p/v  
**O:** Parafina + 1 % Span 80 + 0,5 % DEHPA  
**W<sub>2</sub>:** Agua destilada  
**WOR:** 30/70

Tabla A.24. Conductividad en función de la temperatura para el Sistema X.

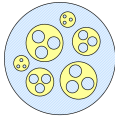
Temp (°C)	C emulsión (µs/cm)	C agua dest (°C)	Ct ∞ (µs/cm)	Temp (°C)	C emulsión (µs/cm)	C agua dest (°C)	Ct ∞ (µs/cm)
20	0,8	0,8	900	46	55	1,09	1428
21	26,47	0,86	903	47	58,7	1,1	1449
22	27,36	0,88	920	48	61,2	1,09	1471
23	28,8	0,89	930	49	63,2	1,1	1491
24	29,2	0,91	940	50	67,3	1,09	1510
25	29,4	0,92	961	51	69,2	1,1	1532
26	29,9	0,93	993	52	70,9	1,15	1558
27	30,5	0,93	1010	53	75,2	1,2	1592
28	31,5	0,94	1019	54	79,1	1,25	1616
29	32,1	0,95	1054	55	81,8	1,3	1637
30	33,3	0,96	1076	56	85,5	1,35	1665
31	34,8	0,97	1091	57	88,9	1,4	1690
32	35,4	0,98	1112	58	90,2	1,46	1713
33	36,1	0,99	1135	59	96,7	1,56	1740
34	37,2	1	1151	60	102,5	1,61	1772
35	37,9	1,01	1168	61	105,2	1,65	1800
36	39	1,02	1187	62	112,2	1,71	1826
37	39,9	1,03	1211	63	119,8	1,76	1855
38	42,3	1,04	1234	64	130,7	2	1890
39	43,5	1,05	1258	65	139,9	2,2	1922
40	45	1,07	1290	66	150,4	2,32	1945
41	46,3	1,08	1312	67	165,3	2,42	1972
42	48	1,08	1339	68	184,5	2,56	2015
43	49,1	1,09	1362	69	208,8	2,58	2050
44	52	1,09	1381	70	245,9	3	2092
45	53,9	1,09	1411				

Fracción volumétrica de la emulsión primaria: 0,3  
Velocidad de Agitación: 900 rpm

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**ANEXO II:  
BARRIDOS DE FORMULACIÓN**

---



## Barridos de Formulación

La variable de barrido para todos los sistemas es el HLB

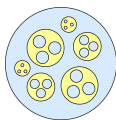
### Sistema Uno.

**Surfactante:** 0,50 % p/v  
**Aceite:** Parafina  
**Salinidad:** 0,5 % p/v NaCl.  
**WOR:** 40/60  
**Alcohol:** 1 % Sec-butanol

Tabla A.25. Distribución de volúmenes para el barrido de HLB en el Sistema Uno.

HLB	Solución SPAN 80 (ml)	Solución SPAN 20 (ml)	Solución TWEEN 85 (ml)	Solución TWEEN 80 (ml)	Agua (ml)	Salmuera (ml)	Aceite (ml)	Alcohol (ml)
8	0,18	1,09	0,00	0,00	3,80	0,20	4,74	0,10
8,6	0,00	1,26	0,00	0,00	3,80	0,20	4,74	0,10
9	0,00	1,05	0,21	0,00	3,59	0,20	4,95	0,10
10	0,00	0,53	0,74	0,00	3,06	0,20	5,47	0,10
10,5	0,00	0,26	1,00	0,00	2,80	0,20	5,74	0,10
11	0,00	0,00	1,26	0,00	2,54	0,20	6,00	0,10





## Sistema Dos.

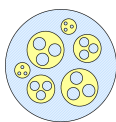
**Surfactante:** 0,48 % p/v  
**Aceite:** 25 % Heptano en Parafina  
**Salinidad:** 0,5 % p/v NaCl.  
**WOR:** 40/60  
**Alcohol:** 1 % Sec-butanol

Tabla A.26. Distribución de volúmenes para el barrido de HLB en el Sistema Dos.

HLB	Solución SPAN 80 (ml)	Solución SPAN 20 (ml)	Solución TWEEN 85 (ml)	Solución TWEEN 80 (ml)	Agua (ml)	Salmuera (ml)	Aceite (ml)	Alcohol (ml)
8	0,17	1,03	0,00	0,00	3,80	0,20	4,80	0,10
8,6	0,00	1,20	0,00	0,00	3,80	0,20	4,80	0,10
9	0,00	1,00	0,20	0,00	3,60	0,20	5,00	0,10
10	0,00	0,50	0,70	0,00	3,10	0,20	5,50	0,10
10,5	0,00	0,25	0,95	0,00	2,85	0,20	5,75	0,10
11	0,00	0,00	1,20	0,00	2,60	0,20	6,00	0,10

www.bdigital.ula.ve





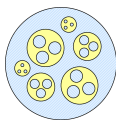
### Sistema Tres.

**Surfactante:** 0,46 % p/v  
**Aceite:** 50 % Heptano en Parafina  
**Salinidad:** 0,5 % p/v NaCl.  
**WOR:** 40/60  
**Alcohol:** 1 % Sec-butanol

Tabla A.27. Distribución de volúmenes para el barrido de HLB en el Sistema Tres.

HLB	Solución SPAN 80 (ml)	Solución SPAN 20 (ml)	Solución TWEEN 85 (ml)	Solución TWEEN 80 (ml)	Agua (ml)	Salmuera (ml)	Aceite (ml)	Alcohol (ml)
8	0,16	0,98	0,00	0,00	3,80	0,20	4,86	0,10
8,6	0,00	1,14	0,00	0,00	3,80	0,20	4,86	0,10
9	0,00	0,95	0,19	0,00	3,61	0,20	5,05	0,10
9,5	0,00	0,71	0,43	0,00	3,37	0,20	5,29	0,10
10	0,00	0,47	0,66	0,00	3,14	0,20	5,53	0,10
10,3	0,00	0,33	0,81	0,00	2,99	0,20	5,67	0,10
10,5	0,00	0,24	0,90	0,00	2,90	0,20	5,76	0,10
11	0,00	0,00	1,14	0,00	2,66	0,20	6,00	0,10
12	0,00	0,00	0,85	0,28	2,66	0,20	6,00	0,10
13	0,00	0,00	0,57	0,57	2,66	0,20	6,00	0,10



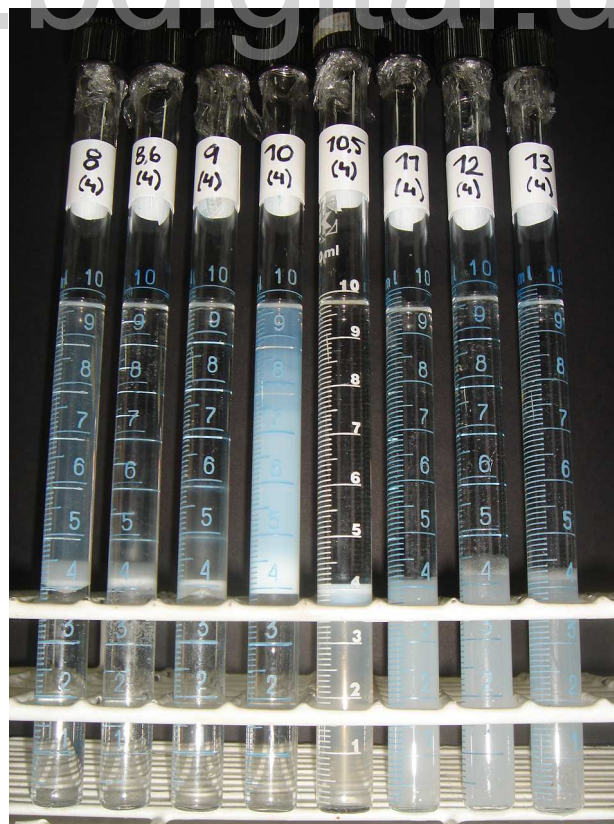


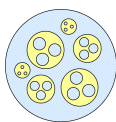
### Sistema Cuatro.

**Surfactante:** 0,44 % p/v  
**Aceite:** 75 % Heptano en Parafina  
**Salinidad:** 0,5 % p/v NaCl.  
**WOR:** 40/60  
**Alcohol:** 1 % Sec-butanol

Tabla A.28. Distribución de volúmenes para el barrido de HLB en el Sistema Cuatro.

HLB	Solución SPAN 80 (ml)	Solución SPAN 20 (ml)	Solución TWEEN 85 (ml)	Solución TWEEN 80 (ml)	Agua (ml)	Salmuera (ml)	Aceite (ml)	Alcohol (ml)
8	0,15	0,95	0,00	0,00	3,80	0,20	4,89	0,10
8,6	0,00	1,11	0,00	0,00	3,80	0,20	4,89	0,10
9	0,00	0,92	0,18	0,00	3,62	0,20	5,08	0,10
10	0,00	0,46	0,65	0,00	3,15	0,20	5,54	0,10
10,5	0,00	0,23	0,88	0,00	2,92	0,20	5,77	0,10
11	0,00	0,00	1,11	0,00	2,69	0,20	6,00	0,10
12	0,00	0,00	0,83	0,28	2,69	0,20	6,00	0,10
13	0,00	0,00	0,55	0,55	2,69	0,20	6,00	0,10





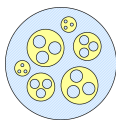
### Sistema Cinco.

**Surfactante:** 0,42 % p/v  
**Aceite:** Heptano  
**Salinidad:** 0,5 % p/v NaCl.  
**WOR:** 40/60  
**Alcohol:** 1 % Sec-butanol

Tabla A.29. Distribución de volúmenes para el barrido de HLB en el Sistema Cinco.

HLB	Solución SPAN 80 (ml)	Solución SPAN 20 (ml)	Solución TWEEN 85 (ml)	Solución TWEEN 80 (ml)	Agua (ml)	Salmuera (ml)	Aceite (ml)	Alcohol (ml)
8	0,15	0,90	0,00	0,00	3,80	0,20	4,95	0,10
8,6	0,00	1,05	0,00	0,00	3,80	0,20	4,95	0,10
9	0,00	0,87	0,18	0,00	3,62	0,20	5,13	0,10
10	0,00	0,44	0,61	0,00	3,19	0,20	5,56	0,10
10,3	0,00	0,31	0,74	0,00	3,06	0,20	5,69	0,10
10,5	0,00	0,22	0,83	0,00	2,97	0,20	5,78	0,10
11	0,00	0,00	1,05	0,00	2,75	0,20	6,00	0,10
11,5	0,00	0,00	0,92	0,13	2,75	0,20	6,00	0,10
12	0,00	0,00	0,79	0,26	2,75	0,20	6,00	0,10
13	0,00	0,00	0,53	0,53	2,95	0,00	6,00	0,00





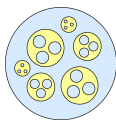
### Sistema Dos con TBP

**Surfactante:** 0,48 % p/v  
**Aceite:** 25 % Heptano en Parafina  
**Salinidad:** 0,5 % p/v NaCl.  
**WOR:** 40/60  
**Alcohol:** 1 % Sec-butanol  
**Transportador:** 0,24 % TBP

Tabla A.30. Distribución de volúmenes para el barrido de HLB en el Sistema Dos con TBP

HLB	Solución SPAN 80 (ml)	Solución SPAN 20 (ml)	TBP (ml)	Solución TWEEN 85 (ml)	Solución TWEEN 80 (ml)	Agua (ml)	Salmuera (ml)	Aceite (ml)	Alcohol (ml)
8	0,17	1,03	0,60	0,00	0,00	3,80	0,20	4,20	0,10
8,6	0,00	1,20	0,60	0,00	0,00	3,80	0,20	4,20	0,10
9	0,00	1,00	0,60	0,20	0,00	3,60	0,20	4,40	0,10
10	0,00	0,50	0,60	0,70	0,00	3,10	0,20	4,90	0,10
10,5	0,00	0,25	0,60	0,95	0,00	2,85	0,20	5,15	0,10
11	0,00	0,00	0,60	1,20	0,00	2,60	0,20	5,40	0,10





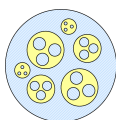
### Sistema Tres con TBP

**Surfactante:** 0,46 % p/v  
**Aceite:** 50 % Heptano en Parafina  
**Salinidad:** 0,5 % p/v NaCl.  
**WOR:** 40/60  
**Alcohol:** 1 % Sec-butanol  
**Transportador:** 0,23 % TBP

Tabla A.31. Distribución de volúmenes para el barrido de HLB en el Sistema Tres con TBP.

HLB	Solución SPAN 80 (ml)	Solución SPAN 20 (ml)	TBP (ml)	Solución TWEEN 85 (ml)	Solución TWEEN 80 (ml)	Agua (ml)	Salmuera (ml)	Aceite (ml)	Alcohol (ml)
8	0,16	0,98	0,57	0,00	0,00	3,80	0,20	4,29	0,10
9	0,00	0,95	0,57	0,19	0,00	3,61	0,20	4,48	0,10
9,5	0,00	0,71	0,57	0,43	0,00	3,37	0,20	4,72	0,10
10	0,00	0,47	0,57	0,66	0,00	3,14	0,20	4,96	0,10
10,5	0,00	0,24	0,57	0,90	0,00	2,90	0,20	5,19	0,10
10,8	0,00	0,09	0,57	1,04	0,00	2,76	0,20	5,34	0,10
11	0,00	0,00	0,57	1,14	0,00	2,66	0,20	5,43	0,10





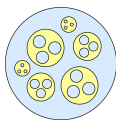
### Sistema Cuatro con TBP

<b>Surfactante:</b>	0,44 % p/v
<b>Aceite:</b>	75 % Heptano en Parafina
<b>Salinidad:</b>	0,5 % p/v NaCl.
<b>WOR:</b>	40/60
<b>Alcohol:</b>	1 % Sec-butanol
<b>Transportador:</b>	0,22 % TBP

Tabla A.32. Distribución de volúmenes para el barrido de HLB en el Sistema Cuatro con TBP

HLB	Solución SPAN 80 (ml)	Solución SPAN 20 (ml)	TBP (ml)	Solución TWEEN 85 (ml)	Solución TWEEN 80 (ml)	Agua (ml)	Salmuera (ml)	Aceite (ml)	Alcohol (ml)
8	0,15	0,95	0,55	0,00	0,00	3,80	0,20	4,34	0,10
9	0,00	0,92	0,55	0,18	0,00	3,62	0,20	4,52	0,10
9,5	0,00	0,69	0,55	0,42	0,00	3,38	0,20	4,75	0,10
10	0,00	0,46	0,55	0,65	0,00	3,15	0,20	4,98	0,10
10,5	0,00	0,23	0,55	0,88	0,00	2,92	0,20	5,21	0,10
10,8	0,00	0,09	0,55	1,02	0,00	2,78	0,20	5,35	0,10
11	0,00	0,00	0,55	1,11	0,00	2,69	0,20	5,45	0,10





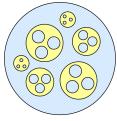
## Sistema Dos con DEHPA

<b>Surfactante:</b>	0,48 % p/v
<b>Aceite:</b>	25 % Heptano en Parafina
<b>Salinidad:</b>	0,5 % p/v NaCl.
<b>WOR:</b>	40/60
<b>Alcohol:</b>	1 % Sec-butanol
<b>Transportador:</b>	0,24 % DEHPA

Tabla A.33. Distribución de volúmenes para el barrido de HLB en el Sistema Dos con DEHPA

HLB	Solución SPAN 80 (ml)	Solución SPAN 20 (ml)	DEHPA (ml)	Solución TWEEN 85 (ml)	Solución TWEEN 80 (ml)	Agua (ml)	Salmuera (ml)	Aceite (ml)	Alcohol (ml)
8	0,17	1,03	0,60	0,00	0,00	3,80	0,20	4,20	0,10
8,6	0,00	1,20	0,60	0,00	0,00	3,80	0,20	4,20	0,10
9	0,00	1,00	0,60	0,20	0,00	3,60	0,20	4,40	0,10
10	0,00	0,50	0,60	0,70	0,00	3,10	0,20	4,90	0,10
10,5	0,00	0,25	0,60	0,95	0,00	2,85	0,20	5,15	0,10
11	0,00	0,00	0,60	1,20	0,00	2,60	0,20	5,40	0,10





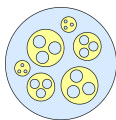
### Sistema Tres con DEHPA

**Surfactante:** 0,46 % p/v  
**Aceite:** 50 % Heptano en Parafina  
**Salinidad:** 0,5 % p/v NaCl.  
**WOR:** 40/60  
**Alcohol:** 1 % Sec-butanol  
**Transportador:** 0,23 % DEHPA

Tabla A.34. Distribución de volúmenes para el barrido de HLB en el Sistema Tres con DEHPA.

HLB	Solución SPAN 80 (ml)	Solución SPAN 20 (ml)	DEHPA (ml)	Solución TWEEN 85 (ml)	Solución TWEEN 80 (ml)	Agua (ml)	Salmuera (ml)	Aceite (ml)	Alcohol (ml)
8	0,16	0,98	0,57	0,00	0,00	3,80	0,20	4,29	0,10
8,6	0,00	1,14	0,57	0,00	0,00	3,80	0,20	4,29	0,10
9	0,00	0,95	0,57	0,19	0,00	3,61	0,20	4,48	0,10
10	0,00	0,47	0,57	0,66	0,00	3,14	0,20	4,96	0,10
10,5	0,00	0,24	0,57	0,90	0,00	2,90	0,20	5,19	0,10
11	0,00	0,00	0,57	1,14	0,00	2,66	0,20	5,43	0,10





## Sistema Cuatro con Transportador

<b>Surfactante:</b>	0,44 % p/v
<b>Aceite:</b>	75 % Heptano en Parafina
<b>Salinidad:</b>	0,5 % p/v NaCl.
<b>WOR:</b>	40/60
<b>Alcohol:</b>	1 % Sec-butanol
<b>Transportador:</b>	0,22 % DEHPA

Tabla A.35. Distribución de volúmenes para el barrido de HLB en el Sistema Cuatro con DEHPA

HLB	Solución SPAN 80 (ml)	Solución SPAN 20 (ml)	DEHPA (ml)	Solución TWEEN 85 (ml)	Solución TWEEN 80 (ml)	Agua (ml)	Salmuera (ml)	Aceite (ml)	Alcohol (ml)
8	0,15	0,95	0,55	0,00	0,00	3,80	0,20	4,34	0,10
9	0,00	0,92	0,55	0,18	0,00	3,62	0,20	4,52	0,10
9,5	0,00	0,69	0,55	0,42	0,00	3,38	0,20	4,75	0,10
10	0,00	0,46	0,55	0,65	0,00	3,15	0,20	4,98	0,10
10,5	0,00	0,23	0,55	0,88	0,00	2,92	0,20	5,21	0,10
10,8	0,00	0,09	0,55	1,02	0,00	2,78	0,20	5,35	0,10
11	0,00	0,00	0,55	1,11	0,00	2,69	0,20	5,45	0,10

