

**RELATIONSHIP BETWEEN MICROEMULSION FORMATION AND  
DETERGENCY OF DOWFAX SURFACTANTS**

Ms. Chantra Tongcumpou

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Doctor of Philosophy  
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University  
in Academic Partnership with  
The University of Michigan, The University of Oklahoma,  
and Case Western Reserve University

2003

ISBN 974-17-2265-6

12110069x

**Thesis Title** : Relationship between Microemulsion Formation and Detergency of Dowfax Surfactants  
**By** : Ms. Chantra Tongcumpou  
**Program** : Petrochemical Technology  
**Thesis Advisors** : Assoc. Prof. Sumaeth Chavadej  
Assoc. Prof. Nantaya Yanumet  
Professor John F. Scamehorn

---

Accepted by the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.

*K. Bunyakiat.*  
.....College Director  
(Assoc. Prof. Kunchana Bunyakiat)

**Thesis Committee:**

*K. Bunyakiat.*  
.....  
(Assoc. Prof. Kunchana Bunyakiat)

*John Scamehorn*  
.....  
(Professor John F. Scamehorn)

*Sumaeth Chavadej*  
.....  
(Assoc. Prof. Sumaeth Chavadej)

*Nantaya Yanumet.*  
.....  
(Assoc. Prof. Nantaya Yanumet)

*David A. Sabatini*  
.....  
(Professor David A. Sabatini)

*Fomthong Malakul*  
.....  
(Asst. Prof. Fomthong Malakul)

**ABSTRACT**

4291004063 : PETROCHEMICAL TECHNOLOGY PROGRAM  
Chantra Tongcumpou : Relationship between Microemulsion  
Formation and Detergency of Dowfax Surfactants  
Thesis Advisors: Assoc. Prof. Sumaeth Chavadej,  
Assoc. Prof. Nantaya Yanumet, and Prof. John F. Scamehorn  
111 pp. ISBN 974-17-2265-6

Key Words : Microemulsion/ alkyl diphenyl oxide disulfonate/ mixed  
surfactants/ low interfacial tension/ phase behavior/ motor oil,  
triolien/ detergency/ oily soil removal

The remarkable properties of microemulsion on low interfacial tension and high solubilization make it interesting for detergency application. This study aimed to demonstrate microemulsion approach for detergency work by using Dowfax surfactant (alkyl diphenyl oxide disulfonate, ADPODS) as one of the components in the formulation. ADPODS has excellent hardness tolerance but is a very hydrophilic, therefore to form microemulsion with the studied oils; hexadecane, motor oil and triolien, other cosurfactants were needed. The linker concept was then introduced to be an approach for making formulations of mixed surfactants. The mixed surfactants used in this study were mixtures of a moderate hydrophile-lipophile balance (HLB) surfactant and the two surfactants that were very different in HLB. These mixed surfactants were able to bridge the hydrophilic/lipophilic gap between water and oil phases, producing microemulsions with substantial solubilization and ultralow interfacial tension. For hexadecane and motor oil, two anionic surfactants ADPODS, and sodium dioctyl sulfosuccinate (AOT), and a nonionic surfactant sorbitan monooleate (Span 80) were used. For triolien, the mixed surfactant systems consisted of two anionic surfactants, ADPODS and sodium dihexyl sulfosuccinate (AMA), and a nonionic surfactant, secondary alcohol ethoxylate, Tergital 15-S. The phase behavior of these two mixed surfactant systems with the studied oils was determined including salinity effect, and temperature effect. The interfacial tension as well as solubilization was also determined.

The formulations from phase studies were selected for the detergency experiment. The substrate for the experiment was polyester/cotton blend fabric. The experiments were conducted to remove hexadecane and motor oil with the formulation of AOT, ADPODS and Span 80 at different salinities. The result showed a high removal of both oils with our formulation at supersolubilization (Winsor type I close to type III region) and at middle phase regions. In addition, the detergency performance with our studied formulation exhibited a better result as compared to a commercial liquid detergent. The mechanism of the oil removal was found to be related to low interfacial tension and phase behavior of the mixed surfactant system as well as the spreading of oil on fabric substrate.

For triolien, the comparison of the mixed surfactant system of AMA, ADPODS and Tergital 15-S at different ADPODS concentrations were studied. The studied formulations at different salinities were conducted as a detergent to remove triolien on polyester/cotton sample fabric. The results showed the two peaks of maximum detergency in the range of salinity from 0.1% to 10% NaCl. The higher hydrophilicity of the system, the higher salinity was required for the maximum detergency. The result of the dynamic interfacial tension and the detergency result from different rinsing method of rinsing indicate that the second maximum detergency found at higher salinities is related to spreading effect and low interfacial tension. The first peak of maximum detergency is believed to be related to a phase separation of the washing solution.

## บทคัดย่อ

จินตรา ทองคำเถา : ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดไมโครอิมัลชันและการทำความสะอาดของสารลดแรงตึงผิว คาวแฟกซ์ (Dowfax surfactant) อ. ที่ปรึกษา: รศ. ดร. สุเมธ ชวเดช รศ. ดร. นันทยา ยานูเมศ และศ. ดร. จอห์น เอฟ สกามีฮอร์น 111 หน้า ISBN 974-17-2265-6

ไมโครอิมัลชันเป็นระบบที่ได้รับความนิยมในการนำมาศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้ในการทำความสะอาดเนื่องจากคุณสมบัติเด่นในด้านการทำให้เกิดแรงตึงผิวดำและการเพิ่มการละลายน้ำมันให้สูง การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงการนำระบบไมโครอิมัลชันมาประยุกต์ใช้เพื่อทำความสะอาด โดยใช้สารลดแรงตึงผิวดาวแฟกซ์เป็นองค์ประกอบหนึ่งของสูตร คาวแฟกซ์เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีคุณสมบัติเด่นในด้านการทนทานต่อความกระด้างแต่ดาวแฟกซ์มีความชอบน้ำ (ไฮโดรฟิลิก) สูงมาก ดังนั้นในการทำให้เกิดระบบไมโครอิมัลชันกับน้ำมันที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งได้แก่ เฮกซะเดคเคน น้ำมันเครื่อง และไตรโกลีอีน จึงจำเป็นต้องใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดอื่นผสมด้วย การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้แนวคิดชนิดเชื่อม (ลิงค์เกอร์) เป็นกระบวนการเพื่อสร้างสูตรสารลดแรงตึงผิวผสม สูตรสารลดแรงตึงผิวร่วมในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีค่าสมดุล ความชอบน้ำและความชอบน้ำมัน (เอชแอลบี) อยู่ในระดับกลาง ผสมกับสารลดแรงตึงผิวอีกสองชนิดที่มีค่าเอชแอลบีที่แตกต่างกันมาก โดยสารลดแรงตึงผิวผสมนี้เชื่อมความแตกต่างระหว่างน้ำและน้ำมันเพื่อผลิตไมโครอิมัลชันที่มีค่าความละลายสูงและมีค่าแรงตึงผิวระหว่างวัฏภาคต่ำ สูตรสารลดแรงตึงผิวร่วมที่นำมาศึกษาพฤติกรรมของวัฏภาคกับเฮกซะเดคเคน (Hexadecane) และน้ำมันเครื่อง ประกอบด้วย สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ สองชนิดคือ อัลคิล ไดออกไซด์ไดซัลโฟเนต (Alkyl diphenyl oxide disulfonate) หรือ คาวแฟกซ์ และไดออกทิลซัลโฟซัคซิเนต (Dioctyl oxide disulfonate) หรือ เอโอที (AOT) และสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ คือ ซอร์บิแทน โมโนโอเลต (Sorbitan monooleate) หรือ สเปน 80 (Span 80) สูตรสารลดแรงตึงผิวผสมสำหรับ ไตรโกลีอีน (Triolien) ประกอบด้วย สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ สอง ชนิดคือ อัลคิล ไดออกไซด์ไดซัลโฟเนต หรือ คาวแฟกซ์ และไดเฮกทิลซัลโฟซัคซิเนต (Dihexyl sulfosuccinate) หรือ เอเอ็มเอ (AMA) และสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุคือเซกคันดารี แอลกอฮอล์ อีโทกซิลเลต (Secondary alcohol ethoxylate) หรือ เทอร์จิทล 15 เอส 5 (Tergital 15-S-5) โดยสารผสมของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองระบบนี้จะนำมาศึกษาพฤติกรรมของวัฏภาคกับ น้ำมันทั้งสาม เพื่อดูผลกระทบจากเกลือและอุณหภูมิ แรงตึงผิว และค่าการละลายของน้ำมัน ได้ถูกศึกษาด้วย

จากการศึกษาพฤติกรรมของวัฏภาคถูกนำไปใช้ในการคัดเลือกสูตรสารซักฟอกเหลว เพื่อการทดลองในการทำความสะอาด วัสดุที่ใช้เพื่อการศึกษาการทำความสะอาด ได้แก่ ผ้าผสมโพลีเอสเตอร์/ฝ้าย ในการทดลองนี้เพื่อกำจัดเขกชะเดกเคนและน้ำมันเครื่องโดยใช้สูตรที่ประกอบด้วย เอโอที เอดีพีไอดีเอส และสเปน 80 ที่ความเค็มต่าง ๆ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการกำจัดสูงสุดของน้ำมันทั้งสองประเภทดอใช้สูตรในการศึกษาครั้งนี้ ให้ผลดีทั้งในช่วง ซูเปอร์โซลูบิลิเซชัน ซึ่งเป็นช่วงที่ระบบอยู่ในวัฏภาคของวินเซอร์แบบที่ I และใกล้จะเปลี่ยนเป็นวินเซอร์แบบที่ II และในช่วงวัฏภาคกลาง นอกจากนี้ยังพบว่าสูตรสารลดแรงตึงผิวผสมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ให้ผลดีกว่า สารซักฟอกเหลวที่ขายในท้องตลาด กลไกในการกำจัดสารปนเปื้อนประเภทน้ำมันนี้พบว่ามีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับค่าแรงตึงผิวระหว่างวัฏภาคของระบบ และพฤติกรรมของวัฏภาครวมทั้ง ผลของการกระจายของน้ำมันบนพื้นผิวผ้า

สูตรสารลดแรงตึงผิวผสมสำหรับน้ำมันไตร โอลิอิน ที่นำมาทำการทดลองการทำความสะอาดเป็นการทดลองเปรียบเทียบระบบสารลดแรงตึงผิวผสม 3 ระบบ ที่มีความเข้มข้นของดาวแพกซ์แตกต่างกัน โดยทำการทดลองกับผ้าผสมโพลีเอสเตอร์/ฝ้ายเช่นกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นค่าสูงสุดของประสิทธิภาพการทำความสะอาดมีสองค่าในช่วง 0.1 ถึง 10% เกลือโซเดียมคลอไรด์ ทั้งนี้พบว่า สูตรที่มีความชอบน้ำสูงกว่าจะต้องเติมเกลือมากขึ้นเพื่อให้ได้ค่าสูงสุดของการทำความสะอาด และจากค่าไดนามิกแรงตึงผิวระหว่างวัฏภาคของน้ำซักผ้าและน้ำมัน และค่าความสะอาดจากการทดลองที่ใช้วิธีชะล้างที่ต่างกัน บ่งชี้ให้เห็นว่าค่าสูงสุดของประสิทธิภาพการทำความสะอาด ซึ่งพบที่ค่าความเค็มสูง มีความสัมพันธ์กับการแพร่และแรงตึงผิวระหว่างวัฏภาคที่มีค่าต่ำ ส่วนค่าสูงสุดแรกๆของประสิทธิภาพการทำความสะอาด เชื่อว่ามีความสัมพันธ์กับการแยกวัฏภาคของสารละลายทำความสะอาด

## ACKNOWLEDGEMENTS

First of all, I would like to express my highly gratefulness to my advisors: Prof. John F. Scamehorn, Assoc. Prof. Sumaeth Chavadej, and Asst. Prof. Nantaya Yanumet for their guidance, support, useful advices and patience. Assoc. Prof. Sumaeth Chavadej gave me an opportunity to study PhD at the Petroleum and Petrochemical College (PPC) and also allowed me to take the grant of Dow Chemical Sponsorships for working on this research. My U.S. advisor Prof. John Scamehorn, without his support for facilities at the Institute of Applied Research Surfactant, University of Oklahoma (OU) this research work would not be possible and finished by time. Also, I like to share my gratefulness to Prof. Sabatini from School of Civil Engineering & Environmental Science, OU for his kind and useful suggestions.

I would like to express my gratitude to Dow Chemical Company for the sponsorship for my study and also to give my thanks to Dr. Lisa B. Quencer and Mr. Albert F. Joseph from Dow Chemical Co. for their kindly advice and arrangement my useful visit to Dow Chemical Company, Charleston, West Virginia.

I would like to thank the Environmental Research Institute, Chulalongkorn University (ERIC) for the permission to let me taking leave for PhD study. And the person that I would like to give my deeply gratitude to is Assoc. Prof. Dr. Wasant Pongsapich for his kindly support and encourage me to join the PhD program.

All committee of my thesis Assoc. Prof. Kunchana Bunyakiat and Asst. Prof. Pomthong Malakul and all others that I already mentioned their names, I would like to express my gratitude for their comments and suggestion.

I also would like to share many thanks to Edgar Acosta, my friend at OU who always gave me a good discussion on my research works. Moreover, all friends at OU who always make me feel at home during my stay in Norman for doing my experiments.

The Petroleum and Petrochemical Technology Consortium is also acknowledged for previous partial supports for my research facilities

I would like to express my sincerely gratitude to all faculties and staff at the PPC for knowledge that I learnt from them as well as their help to facilitate all work.

All my friends at PPC and from my office ERIC, without their support and encouragement, I would not overcome all problems during my study, I would like to give many thanks to them.

Lastly, I would like to share all my successful to my family; my mother and sisters for their love, caring and support for me at all times.



## TABLE OF CONTENTS

	<b>PAGE</b>
Title Page	i
Abstract (in English)	iii
Abstract (in Thai)	v
Acknowledgements	vii
Table of Contents	ix
List of Tables	xii
List of Figures	xiv
Abbreviations	xx
 <b>CHAPTER</b>	
<b>I INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
 <b>II MICROEMULSION FORMATION AND DETERGENCY WITH OILY SOILS: I. PHASE BEHAVIOR AND INTERFACIAL TENSION</b>	
Abstract	4
Introduction	5
Materials and Experimental Procedure	10
Result and Discussion	11
Acknowledgements	18
References	20
 <b>III MICROEMULSION FORMATION AND DETERGENCY WITH OILY SOILS: II. DETERGENT FORMULATION AND PERFORMANCE</b>	
	<b>35</b>

<b>CHAPTER</b>	<b>PAGE</b>
Abstract	35
Introduction	36
Materials and Experimental Procedure	38
Result and Discussion	40
Acknowledgements	46
References	47
<b>IV MICROEMULSION FORMATION AND DETERGENCY WITH OILY SOILS: III. MECHANISM OF OILY SOIL REMOVAL</b>	60
Abstract	60
Introduction	61
Materials and Experimental Procedure	63
Result and Discussion	64
Nomenclature	69
References	70
<b>V ENHANCING TRIOLIEN REMOVAL FROM FABRIC BY MICROEMULSION FORMATION OF MIXED SURFACTANTS SYSTEM</b>	82
Abstract	82
Introduction	83
Materials and Experimental Procedure	85
Result and Discussion	86
Nomenclature	92
References	93

<b>CHAPTER</b>	<b>PAGE</b>
<b>VI CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS</b>	<b>108</b>
<b>REFERENCES</b>	<b>110</b>
<b>CURRICULUM VITAE</b>	<b>111</b>

## LIST OF TABLES

<b>TABLE</b>		<b>PAGE</b>
<b>CHAPTER II</b>		
1	Properties of Surfactants Used in the Study	23
2	Summary of Phase Transition of the Mixed Surfactants Systems with Hexadecane	24
3	Summary of Phase Transition of the Mixed Surfactants Systems with Motor oil	25
<b>CHAPTER III</b>		
1	Properties of Surfactants Used in the Study	50
2	Salinity and IFT in the Supersolubilization Region and at Optimum Conditions for the System of 3% AOT, 2% ADPODS, and 2% Span 80 (Initial aqueous solution to oil volume ratio equals 1:1 at equilibrium)	51
<b>CHAPTER VI</b>		
1	Salinity and IFT at supersolubilization and at optimum regions of both oils with the studied formulation	74
2	Oil removal in each step of the washing process at two low IFT regions compared to the commercial liquid detergent (CP)	74
<b>CHAPTER V</b>		
1	Properties of Surfactants Used in the Study	96
2	Three Formulations of Mixed Surfactants Used in Phase Study	97
3	Equilibrium Interfacial Tensions between Phases and at Optimum Salinity of the Studied formulations at a Water to Oil Ratio of Unity	97

<b>TABLE</b>	<b>PAGE</b>
4 Detergency Results Relating to Interfacial Tension (IFT) and Salinity at the Two Maximum Detergency Regions with Three Different Formulations	98
5 The Appearance of the Washing Solution Containing 0.25% Active Concentration of the Mixed Surfactant at Different Salinities at 30°C of the Three Formulations	99

## LIST OF FIGURES

<b>FIGURE</b>		<b>PAGE</b>
<b>CHAPTER II</b>		
1	Typical phase behavior showing the transition from oil in water (type I) to bicontinuous structure (Type III) and water in oil structure (type II); initial volume ratio of oil to water = 1:1.	26
2	Phase behavior showing interfacial tension (IFT) as a function of scanning variables. Where O is oil; W is water; M is middle phase; W <sub>m</sub> is O/W microemulsion; O <sub>m</sub> is W/O microemulsion; and ★ is supersolubilization region.	26
3	Phase diagram of the system of 3% AOT, 2% ADPODS and 2% Span 80 with salinity scan for (a) hexadecane and (b) motor oil; initial volume ratio oil to water = 1:1, and S* is optimum salinity	27
4	Phase behavior of the system with AOT Scan, 2 % ADPODS and 2 % Span 80 with (a) hexadecane and (b) motor oil at 25 °C	28
5	SP* as a function of salinity of mixed surfactant systems of AOT, ADPODS and Span 80 at 25 °C with (a) hexadecane and (b) motor oil.	29
6	IFT at optimum condition (IFT*) in the middle phase and at supersolubilization (SPS) with hexadecane at different salt concentration (a) AOT scan system; (b) ADPODS scan system; and (c) Span 80 scan system.	30
7	IFT at optimum condition (IFT*) in the middle phase and at supersolubilization (SPS) with motor oil at different salt concentration (a) AOT scan system; (b) ADPODS scan system; and (c) Span 80 scan system.	30
8	The interfacial tension at optimum (IFT*) of the mixed surfactants systems of AOT, ADPODS and Span 80 with (a) hexadecane and (b) the motor oil.	31

<b>FIGURE</b>	<b>PAGE</b>
9 Relation of solubilization parameter (SP) and interfacial tension (IFT) at optimum and at supersolubilization of the systems of AOT/ADPOD /Span 80/ electrolyte and oils (hexadecane and motor oil).	32
10 Phase diagram of the system of 3% AOT, 2% ADPODS, 2% Span 80 and salinity scan with hexadecane at different temperatures; initial volume ratio of oil to water = 1:1	33
11 Optimum salinity (S*) and optimum solubilization parameter (SP*) as a function of temperature of the system 3% AOT, 2% ADPODS, and 2% Span 80.	34

### **CHAPTER III**

1 Phase diagrams of the system of 3% AOT, 2% ADPODS and 2% Span 80 with salinity scan for (a) hexadecane and (b) motor oil; initial volume ratio oil to water = 1:1, and S* is optimum salinity. Dashed line corresponds to the type I/III and type III/II boundary and the type I/III boundary corresponds to supersolubilization Salinity and IFT in the Supersolubilization Region and at Optimum Conditions for the System of 3% AOT, 2% ADPODS, and 2% Span 80 (Initial aqueous solution to oil volume ratio equals 1:1 at equilibrium)	52
2 Dynamic IFT of hexadecane and washing solution containing 0.112 % active concentration of surfactants at different salinities	53
3 Dynamic IFT of motor oil and washing solution containing 0.112 % active concentration of surfactants at different salinities	54

FIGURE	PAGE
4 Detergency performance for hexadecane and motor oil removal for our formulation (3% AOT, 2% ADPODS and 2% Span 80) at 25 °C, 0.112% active surfactant concentration and various salt concentrations comparing with D.I. water and commercial liquid detergent (CP); where SPS is our formulation in the supersolubilization region and S* is the optimum salinity at equilibrium from phase studies.	55
5 Hexadecane removal with the studied formulation compared to the commercial liquid detergent (CP) and the interfacial tension between the oil and washing solution at various salt concentrations; where SPS is our formulation in the supersolubilization region and S* is the optimum salinity at equilibrium from phase studies.	56
6 Motor oil removal with our formulation compared to the commercial liquid detergent (CP) and the interfacial tension between the oil and washing solution at various salt concentrations where SPS is our formulation in the supersolubilization region and S* is the optimum salinity at equilibrium from phase studies.	57
7 Detergency performance for hexadecane removal at two different temperatures for our formulation	58
8 Comparison of detergency performance of our microemulsion-based formulation of 3% AOT, 2% ADPODS, and 2% Span 80 at supersolubilization (5% and 12% NaCl with hexadecane and motor oil, respectively) with commercial liquid detergent (CP) at different active concentrations.	59



<b>FIGURE</b>	<b>PAGE</b>
<b>CHAPTER IV</b>	
1 Phase behavior showing IFT as a function of scanning variables, where O is oil; W is water; M is middle phase; Wm is O/W microemulsion; Om is W/O microemulsion; and $\star$ is supersolubilization region	74
2 Oily soil removal from substrate by (a) roll-up mechanism and (b) snap-off or emulsification-solubilization mechanism (adapted from Broze, G., ref. 14).	75
3 Dynamic IFT of hexadecane and washing solution having 0.112 % active surfactant concentration at different salinities	76
4 Dynamic IFT of motor oil and washing solution having 0.112 % active surfactant concentration at different salinities	76
5 Hexadecane removal and the interfacial tension between oil and washing solution at various salt concentrations using our formulation compared to commercial liquid detergent product (CP); where SPS is the supersolubilization region and $S^*$ is the optimum salinity at equilibrium from phase studies (total surfactant concentration = 0.112%).	77
6 Motor oil removal and the interfacial tension between the oil and washing solution at various salt concentrations using our formulation compared to commercial liquid detergent product (CP); Where SPS is the supersolubilization region and $S^*$ is the optimum salinity at equilibrium from phase studies (total surfactant concentration = 0.112%).	78
7 IFT values of the washing solution and dyed oil before and after wash step for hexadecane at different salinities using our formulation; where SPS is the supersolubilization region and $S^*$ is the optimum salinity at equilibrium from phase studies (total surfactant concentration = 0.112% in the washing solution).	79

<b>FIGURE</b>	<b>PAGE</b>
8 IFT values of the washing solution and dyed oil before and after wash step for motor oil at different salinities using our formulation; where SPS is the supersolubilization region and S* is the optimum salinity at equilibrium from phase studies (total surfactant concentration = 0.112% in the washing solution).	79
9 Total concentration of AOT and ADPODS in the washing solution after wash step	80
10 Hexadecane removal in the washing process of with different salinities of rinse water compared to rinsing with D.I. water	80
11 Proposed mechanism of detergency at high salinities (the supersolubilization and the middle phase regions)	81

#### **CHAPTER V**

1 Formula structure of triolien	100
2 Phase diagram of the studied systems S1, S2 and S3 at 30 °C with salinity scan (W <sub>m</sub> is oil in water microemulsion, O <sub>m</sub> is water in oil microemulsion and D is middle phase).	100
3 Image of the middle phase of the system S1 at 6% NaCl, illustrates small drops of stable macroemulsion after left for 3 weeks.	101
4 Water content (%) in the middle phase and oil phase of the studied systems S1, S2 and S3 at different salinities; where D is the middle phase.	101
5 Dynamic IFT of the washing bath (0.25% total active concentration of formulation S1) and triolien at different salinities compared to CP (commercial liquid detergent).	102
6 Dynamic IFT of the washing bath (0.25% total active concentration of formulation S2) and triolien at different salinities compared to CP (commercial liquid detergent).	102

FIGURE	PAGE
7 Dynamic IFT of the washing bath (0.25% total active concentration of formulation S3) and triolien at different salinities compared to CP (commercial liquid detergent).	103
8 Triolien removal as a function of salinity at 30 °C of three formulations where $D_{\max 1}$ and $D_{\max 2}$ are maximum detergency peaks.	103
9 Triolien removal with formulation S1 compared to the commercial liquid detergent (CP) and the interfacial tension between the oil and washing solution at various salt concentrations.	104
10 Triolien removal with formulation S2 compared to the commercial liquid detergent (CP) and the interfacial tension between the oil and washing solution at various salt concentrations.	104
11 Triolien removal with formulation S3 compared to the commercial liquid detergent (CP) and the interfacial tension between the oil and washing solution at various salt concentrations.	105
12 Comparison of interfacial tension with two formulations S1 and S2 at different salinities before and after the wash step	106
13 Comparison triolien removal after the washing process with two two formulations S1 and S2 and different rinse methods of D.I. water and brine	107

**ABBREVIATIONS**

<b>ACN</b>	Alkane carbon number
<b>ADPODS</b>	Alkyl diphenyl oxide disulfonate
<b>AMA</b>	Aerosal-OT (sodium dioctyl sulfosuccinate)
<b>AOT</b>	Aerosal-MA (sodium dihexyl sulfosuccinate)
<b>CP</b>	Commercial liquid detergent product
<b>D.I.</b>	Deionized water
<b>EACN</b>	Equivalent alkane carbon number
<b>IFT</b>	Interfacial tension
<b>Om</b>	Oil in water microemulsion
<b>S*</b>	Optimum salinity
<b>SPS</b>	Supersolubilization
<b>Wm</b>	Water in oil microemulsion