

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DE FORMULACIÓN Y DE PROCESO SOBRE EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO Y PROPIEDADES FÍSICAS PARTIENDO DE MICROEMULSIONES DE SILICONA INDUSTRIAS QUÍMICAS SAINT GERMAIN LTDA.

DAYANNA PAOLA FAJARDO CENDALES
ANA MARÍA GUEVARA RODRIGUEZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2019

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LAS VARIABLES DE FORMULACIÓN Y DE PROCESO SOBRE EL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO Y PROPIEDADES FÍSICAS PARTIENDO DE MICROEMULSIONES DE SILICONA INDUSTRIAS QUÍMICAS SAINT GERMAIN LTDA.

DAYANNA PAOLA FAJARDO CENDALES
ANA MARIA GUEVARA RODRIGUEZ

Proyecto integral de Grado para optar el título de:
INGENIERO QUIMICO

Director
Wilfred Fabian Ballesteros Ochoa
Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2019

Nota de Aceptación

Ing. Elizabeth Torres Gámez
Presidente del jurado

Ing. Alexander Jiménez Rodríguez
Jurado 1

Ing. Duvian Alberto Vera Romero
Jurado 2

Bogotá D.C., Febrero del 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrado

Ing. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. LEONARDO de JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado primordialmente a Dios por la perseverancia y fortaleza que me brindó en el transcurso de todos estos años para cumplir las metas propuestas.

A mis padres Jair Fajardo Hurtado y Blanca Cendales Andrade por el apoyo, las sabias palabras, por creer en mí y no desfallecer ante las adversidades, ser un motor para mi vida y la razón de estar donde estoy.

A mi hermana Lizeth Yuliana Fajardo Cendales por ser para mí la más grande razón de vivir, mi más grande motivación, la luz de mis ojos y existir. A ti hermana, gracias por confiar en mí, tú me llenas la vida de alegría.

Agradezco también a todas las personas que con el paso de los días me aportaron un granito de arena para mi crecimiento personal como profesional y finalmente agradezco a mi compañera de trabajo de grado, Ana María Guevara por su apoyo en la realización de este proyecto, por cada consejo, cada regaño y la paciencia brindada.

Dayanna Paola Fajardo Cendales

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a la gloria de Dios por interceder junto con el espíritu santo en mi conocimiento, que con su amor me lleno de alegría en el camino cuando más lo necesite. La honra sea toda para ÉL.

Asimismo, dedicarle este logro a mi madre Martha Lucia Rodríguez, que con paciencia y constancia me guio por el camino de lo correcto; por creer en mí por difíciles que se pusieran las circunstancias, y a mi padre que con gran virtud me ayudo al desarrollo personal.

Un reconocimiento a Cristian Gutierrez, que en el camino me brindo amor y apoyo, con el consejo de no desfallecer nunca a pesar de lo adverso que sea el camino.

A toda mi familia, por sembrar un granito de arena en todo el recorrido profesional; a mis abuelos y mi tío que desde el cielo intercedieron.

Ana María Guevara Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A Saint Germain Ltda., por prestarnos sus servicios en soporte técnico brindado al trabajo.

Fabian Ballesteros, director del proyecto, quien nos ayudó con su acompañamiento en la ejecución del proyecto.

Andrés Rodríguez y Ricardo Rodríguez, quienes nos ayudaron con su asesoría para el desarrollo del proyecto.

Elizabeth Torres Gámez, ingeniera química, quien con su conocimiento nos orientó en el desarrollo del trabajo de grado, que con su tiempo brindado nos compartió su saber para la concepción del trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	21
OBJETIVOS	22
1. MARCO TEÓRICO	23
1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	23
1.2 GENERALIDADES DE LAS MICROEMULSIONES	23
1.2.1 Emulsión.	23
1.2.2 Tipos De Emulsión.	24
1.2.3 Macroemulsión.	24
1.2.4 Microemulsión.	26
1.3 FASE ACUOSA (W)	27
1.3.1 Estructura molecular.	27
1.3.2 Clasificación de las aguas.	29
1.3.3 Ionización del agua.	30
1.3.4 pH.	31
1.4 FASE OLEOSA (O)	32
1.4.1 Silicona líquida.	34
1.4.1.1 PDMX.	35
1.4.1.2 Silicona industrial.	36
1.5 TENSOACTIVO	37
1.5.1 Clasificación de agentes tensoactivos.	37
1.5.2 Propiedades de los tensoactivos.	38
1.5.3 Agentes tensoactivos no iónicos	39
1.6 PRINCIPIOS BÁSICOS	43
1.6.1 Principios de estabilidad.	44
1.7 ELEMENTOS PRINCIPALES EN LA ESCOGENCIA DE UN TENSOACTIVO	45
1.7.1 Equilibrio hidrófilo- lipófilo de los tensoactivos (HLB).	45
1.7.2 Principales características.	45
1.7.3 HLB Requerido.	46
1.7.4 Calculo de HLB evaluado para surfactantes no iónicos.	46
1.8 DIAGRAMA TERNARIO	48
1.8.1 Constitución de un diagrama ternario.	48
1.8.2 Ecuación.	49
1.8.3 Tipos de trayectoria de diagramas ternarios.	49
1.8.4 Diagramas ternarios en microemulsiones.	49
1.8.5 Importancia de los diagramas ternarios.	50
1.8.6 Comportamiento de los tipos de microemulsión Winsor.	50
1.8.7 Diagramas ternarios aplicados en microemulsiones.	51

1.9	DETERMINACIÓN REOLÓGICA.	51
1.9.1	Viscosidad.	51
1.9.2	Fracción de volumen.	54
1.9.3	Reología de fase.	55
1.9.4	Tamaño de gota.	55
1.9.5	Interacciones coloidales.	56
1.10	TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN	56
1.10.1	Técnicas de dispersión.	56
2.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	58
2.1.	ORGANIZACIÓN EXPERIMENTAL	58
2.2.	EQUIPOS	59
2.2.1.	Balanza analítica PIONEER- OHAUS.	59
2.2.2.	Agitador RW 20 digital- IKA.	60
2.2.3.	Viscosímetro Brookfield.	60
2.2.4.	Zetasizer nano.	61
2.2.5.	Turbidímetro LaMotte 2020 we.	62
2.2.6.	TurbiScan Lab Master Stability Analyzer.	62
2.3.	MATERIAS PRIMAS	63
2.3.1.	Silicona.	63
2.3.2.	Tensoactivo.	64
2.4.	METODOLOGÍA DE EMULSIFICACIÓN	66
2.5.	METODOLOGÍA DE REOLOGÍA	67
2.6.	METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN	69
2.6.1.	Tamaño de partícula.	69
2.6.2.	Turbidez.	69
2.6.3.	Estabilidad.	70
3.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	72
3.1.	Procedimiento No 1.	73
3.2.	Procedimiento No 2.	75
3.3.	Procedimiento No 3.	77
3.4.	Procedimiento No 4.	78
3.5.	Procedimiento No 5.	81
4.	ANÁLISIS DE REOLOGÍA DE LA MICROEMULSIÓN W/O	89
4.1.	ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULA, TURBIDEZ Y ESTABILIDAD	96
5.	ANÁLISIS DE COSTO DE PRODUCCIÓN POR GRAMO DE MICROEMULSIÓN DE SILICONA	101
5.1.	Cotización del equipo.	101
5.2.	Costo operativo del equipo.	101

5.3.	Costos de materias primas.	102
5.4.	Costo final de producción.	102
6.	CONCLUSIONES	103
7.	RECOMENDACIONES	104
	BIBLIOGRAFIA	105
	Anexos	111

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Diferentes tipos de emulsión	24
Ilustración 2. Esquema de la estructura de microemulsiones O/W y W/O	24
Ilustración 3. Cambios en el comportamiento de fase en un sistema de agua/ emulsionante/ aceite, en el equilibrio hidrófilo- lipófilo del emulsionante	25
Ilustración 4. Fórmula electrónica y estructural del agua	28
Ilustración 5. Clasificación de las aguas	29
Ilustración 6. Abundancia natural de los elementos	33
Ilustración 7. Estructura del Polidimetilxiloxano	34
Ilustración 8. Formula molecular de la silicona	34
Ilustración 9. Formula molecular Polidimetilsiloxano	36
Ilustración 10. Formula molecular de la silicona	37
Ilustración 11. Geometría molecular tridimensional del fenol	40
Ilustración 12. Estructura química del fenol	41
Ilustración 13. Estructura molecular del Nonil fenol	42
Ilustración 14. Constitución del diagrama ternario	49
Ilustración 15. Diagrama de fases pseudoternario de lecitina	50
Ilustración 16. Esquema DT (a), DT del sistema w/o (b), DT del sistema o/w (c)	51
Ilustración 17. Fluidos Newtonianos y no Newtonianos	53

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades físicas del agua	28
Tabla 2. Características principales del agua	30
Tabla 3. Constantes de autoionización para agua a diferentes temperaturas	31
Tabla 4. pH del agua a diferentes temperaturas	32
Tabla 5. Características principales del silicio	33
Tabla 6. Geometría funcional de la silicona	35
Tabla 7. Características principales del Polidimetilsiloxano	36
Tabla 8. Características principales de la silicona industrial	37
Tabla 9. Propiedades físicas del Fenol	40
Tabla 10. Características principales del Nonil fenol	41
Tabla 11. Propiedades físicas de los C-surfactantes	42
Tabla 12. Turbidez de cosurfactantes	43
Tabla 13. Solubilidad en agua y HLB	48
Tabla 14. Matriz de selección para siliconas	63
Tabla 15. Tipos de siliconas usadas para emulsificación.	64
Tabla 16. Matriz de selección para tensoactivos	65
Tabla 17. Agentes no iónicos ventajas y desventajas	65
Tabla 18. Materias primas seleccionadas por disposición en Colombia.	66
Tabla 19. Límites en % peso a peso de materias primas	72
Tabla 20. Porcentajes de formulación con PDMX, procedimiento No. 1	73
Tabla 21. Porcentajes de formulación con PDMX, procedimiento No. 2	75
Tabla 22. Porcentajes con PDMX, procedimiento No. 4	79
Tabla 23. Porcentajes de PDMX, silicona industrial y surfactantes	81
Tabla 24. Precio unitario del agitador IKA RW 20	101
Tabla 25. Mano de obra para un operario	101
Tabla 26. Precio de electricidad	101
Tabla 27. Costo de materias primas	102
Tabla 28. Costo final, elaboración microemulsión de silicona de 50 Kg	102

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Organización experimental	59
Figura 2. Balanza analítica PIONEER- OHAUS	60
Figura 3. Agitador RW 20 digital- IKA	60
Figura 4. Viscosímetro Brookfield BYK	61
Figura 5. Zetasizer Nano ZS	61
Figura 6. Turbidímetro LaMotte 2020 we	62
Figura 7. Pasos para desarrollo de emulsificación	67
Figura 8. Pasos para caracterización reológica.	68
Figura 9. Técnica de caracterización de partícula	69
Figura 10. Técnica de caracterización de turbidez	70
Figura 11. Técnica de caracterización de estabilidad	71
Figura 12. Resultados obtenidos, procedimiento No.1	74
Figura 13. Resultados obtenidos, procedimiento No.2	76
Figura 14. Resultados obtenidos, procedimiento No.3	78
Figura 15. Resultados obtenidos, procedimiento No.4	79
Figura 16. Resultados obtenidos con PDMX y Silicona.	83
Figura 17. Diagramas ternarios de las formulaciones obtenidas	86

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Grafica 1. Comportamiento emulsión 1, viscosidad versus velocidad angular. Aumento de velocidad	90
Grafica 2. Comportamiento emulsión 1, viscosidad versus velocidad angular. Disminuyendo velocidad	90
Grafica 3. Comportamiento emulsión 2, viscosidad versus velocidad angular. Aumentando velocidad	90
Grafica 4. Comportamiento emulsión 2, viscosidad versus velocidad angular. Disminuyendo velocidad	91
Grafica 5. Comportamiento de microemulsión, viscosidad versus velocidad angular Aumentando velocidad	92
Grafica 6. Comportamiento de microemulsión, viscosidad versus velocidad angular Disminuyendo velocidad	92
Grafica 7. Determinación porcentaje de torque, aumentando velocidad angular en emulsión 1	93
Grafica 8. Determinación porcentaje de torque, disminuyendo velocidad angular en emulsión	93
Grafica 9. Determinación porcentaje de torque, aumentando velocidad angular en emulsión 2	94
Grafica 10. Determinación porcentaje de torque, disminuyendo velocidad angular en emulsión 2	95
Grafica 11. Determinación porcentaje de torque, aumentando velocidad angular en microemulsión	95
Gráfica 12. Análisis de medida para microemulsión de silicona	97
Gráfica 13. Análisis de estabilidad para microemulsión de silicona Muestra 1	99
Gráfica 14. Análisis de estabilidad para microemulsión de silicona Replica 1	99

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Constante de ionización para el agua	31
Ecuación 2. Estimación del HLB requerido para aceites	46
Ecuación 3. Ésteres de ácidos grasos de alcoholes polihídricos	46
Ecuación 4. Ésteres de ácidos grasos de alcoholes polihídricos	47
Ecuación 5. Ésteres de ácidos grasos de alcoholes polihídricos	47
Ecuación 6. Productos con solo óxido de etileno	47
Ecuación 7. Composición total para el diagrama ternario	49
Ecuación 8. Viscosidad dinámica	52
Ecuación 9. Viscosidad cinemática	52
Ecuación 10. Fórmula de Einstein	54
Ecuación 11. Fórmula Einstein modificada	54

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Documentación de agentes tensoactivos	pág. 112
Anexo B. Tablas correspondientes a determinación de viscosidad	116
Anexo C. Tablas correspondientes a determinación de % de torque	119
Anexo D. Cotizaciones	122

ABREVIATURAS

O: Oil
W: Water
O/W: Oil in Water
W/O: Water in Oil
(S): Cabeza polar
(ES): Cadena larga apolar
LABS: Alquil bencen sulfonato lineal
AS: Alquil sulfatos
NFE: Nonil Fenol Etoxilados
DL: Rango entre el valor máximo y el valor mínimo
NF: Nonil Fenol
mg: miligramos
l: litro
°C: grado centígrado
°E: grado de etoxilación
HLB: Balance Hidrófilo- Lipófilo
g: gramos
ME: Microscopia electrónica
TEM: Microscopia electrónica de transmisión
SEM: Microscopia electrónica de escaneo
RMN: Resonancia magnética nuclear
NMR: Resonancia Magnética Nuclear
IR: Espectroscopia Ultrarrápida
OD u HOD: Orientación de la molécula
Hz: Hertz
SAXS: Técnica de rayos x
PDMX: Polidimetilxiloxano
rpm: Revoluciones por minuto
cP: centiPoise
%: porcentaje
NTU: Nephelometric Turbidity Unit
T: Transmitancia
BS: Retrodispersion

GLOSARIO

Agente oleoso: Es un compuesto orgánico que presenta textura de aceitosa.

Emulsificación: Es la acción que permite que dos sustancias inmiscibles entre si interactúen en un mismo sistema.

Emulsificante: Sustancia que ayuda a la mezcla de dos sustancias inmiscibles entre sí.

Etoxilación: Proceso químico en el que se le añade óxido de etileno a amidas, alcoholes y fenoles para ofrecer variedad de tensoactivos.

Anfifilo: Molécula que tiene en su estructura una parte polar y una parte no polar.

Reología: Parte física que estudia la relación del esfuerzo cortante y la deformación de un fluido.

Partícula: Materia de pequeñas dimensiones que constituyen un cuerpo o elemento.

Caracterización: Es el estudio de una o más propiedades características de algo que lo diferencie de los demás.

Fluido: Es la particularidad de algunas sustancias donde las partículas tienen una atracción débil.

Torque: Es el giro que causa una fuerza sobre un cuerpo con un eje de rotación.

Transmitancia: Es una magnitud que expresa una cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en unidad de tiempo.

Retrodispersión: Es la reflexión de ondas, partículas o señales en dirección de donde provienen.

Micela: Agregado de moléculas en un coloide.

Inmiscible: Soluciones o materiales que no se pueden mezclar entre sí.

Surfactante: Molécula que contiene partes tanto polares como no polares.

Alifático: Perteneciente o relativo a cualquier compuesto orgánico de hidrógeno y carbono.

Viscosidad: Medida a un fluido donde puede someterse a un esfuerzo cortante dando como resultado un comportamiento especial.

Fase Dispersa: Material en forma de un coloide presente en un sistema en suspensión.

Fase continua: Fase que está presente en un medio con mayor proporción en un sistema multicomponente.

Cizallamiento: Corte de pieza de trabajo o material mediante cizallas sin formación de virutas.

RESUMEN

En el presente proyecto se realizó una evaluación de las variables de formulación y de proceso para la empresa Industrias Químicas Saint Germain Ltda., conforme a las principales materias primas que componen un sistema multicomponente de emulsificación. Este sistema está compuesto por agua, tensoactivo y silicona, con una serie de variables que comprometen la formación y estabilidad tal como concentración, velocidad y tiempo.

Para la ejecución de este proyecto, inicialmente, se llevó a cabo una investigación minuciosa de los componentes principales que conforman una microemulsión; luego conforme a los requisitos que estos componentes debían cumplir, se exploró el mercado colombiano para adquirir cada materia prima. Seguidamente, una vez seleccionados los componentes se procedió a realizar el desarrollo experimental a nivel de laboratorio, con el fin de analizar el comportamiento reológico, tamaño de gota, turbidez y estabilidad que otorgue el producto final. Una vez analizado el producto final se definió el costo de obtención de la microemulsión para consensar a un mediano o largo plazo un uso aplicativo.

Dados los pasos de proceso anteriores, se hallaron parámetros de fabricación y composiciones adecuadas para una microemulsión teniendo en cuenta su estabilidad óptima alcanzada. Una vez ejecutado el procedimiento, los objetivos propuestos se examinan y se define que caracteriza y que comportamiento reológico manifiesta el producto obtenido para una posible aplicación a mediano o largo plazo.

Palabras Claves: Microemulsión, tensoactivo, reología, silicona.

INTRODUCCIÓN

Las microemulsiones probablemente se descubrieron mucho antes de manera empírica; amas de casa australianas han utilizado desde el comienzo del siglo pasado mezclas de agua, eucalipto, escamas de jabón, alcohol blanco para diferentes usos domésticos. El interés de estos sistemas multicomponente aumento a finales de los años setenta, cuando al reconocer que dichos sistemas mejorarían la recuperación del petróleo. Hoy en día tienen un sin número de aplicaciones, desde la preparación de partículas submicrométricas hasta en productos cosméticos. Esto junto con aplicaciones clásicas de detergencia y lubricación.

Últimamente, Industrias Químicas Saint Germain Ltda., quiso emprender en la investigación de la fenomenología en microemulsiones, con la intención de generar desarrollo en diseño de productos químicos enfocados en las necesidades del consumidor. Actualmente se analiza su potencialidad para múltiples aplicaciones. Un amplio campo de estudio está dado en sus estructuras y propiedades, como en la alta estabilidad y su transparencia, las cuales en el futuro son el foco de una nueva aplicación. Es por esta razón que la empresa decide iniciar un camino en el análisis fenomenológico para tener un soporte a largo plazo para el diseño de un producto nuevo.

Por consiguiente, la finalidad del proyecto que se presenta a continuación es la evaluación del efecto de las variables de formulación y de proceso sobre el comportamiento reológico y propiedades organolépticas partiendo de microemulsiones de silicona en Industrias Químicas Saint Germain. Se formulará una microemulsión de silicona, no contemplando un enfoque aplicativo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de las variables de formulación y de proceso sobre el comportamiento reológico y propiedades físicas partiendo de microemulsiones de silicona Industrias Químicas Saint Germain Ltda.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar las materias primas para la formulación de una microemulsión de silicona.
- Establecer la formulación de una microemulsión de silicona partiendo de un desarrollo experimental a nivel de laboratorio.
- Analizar el comportamiento del tamaño de gota, transparencia y propiedades físicas de la microemulsión de silicona.
- Realizar el análisis de costos para la obtención de una microemulsión de silicona a nivel de laboratorio.

1. MARCO TEÓRICO

Con el propósito de exponer con más claridad el desarrollo que se propone en el proyecto, esta sección presenta el estado a lo largo del tiempo de la elaboración de microemulsiones, como se forman y con qué interés se elaboran. Asimismo, se expone las técnicas de caracterización y reología de las microemulsiones, de las cuales se requieren para comprender el comportamiento morfológico a pequeña escala de las diferentes formas que estas presentan, de tal manera que se pueda establecer el efecto que tienen las variables en su formulación para un estudio posterior.

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

Industrias Químicas Saint Germain Ltda., es una empresa colombiana ubicada en la localidad de Tunjuelito, barrio San Carlos, de Bogotá, dedicada a la fabricación de productos de limpieza y desinfección a nivel nacional, realizando productos de calidad con estándares internacionales.

Cuenta con un departamento de Investigación y Desarrollo y aplican una metodología de diseño de productos químicos con Ingenieros formados a nivel de investigación que aportan innovación a la empresa.

1.2 GENERALIDADES DE LAS MICROEMULSIONES

En este proyecto se hará una revisión bibliográfica de acuerdo con la obtención que se ha hecho a través del tiempo de las microemulsiones, describiéndose a continuación:

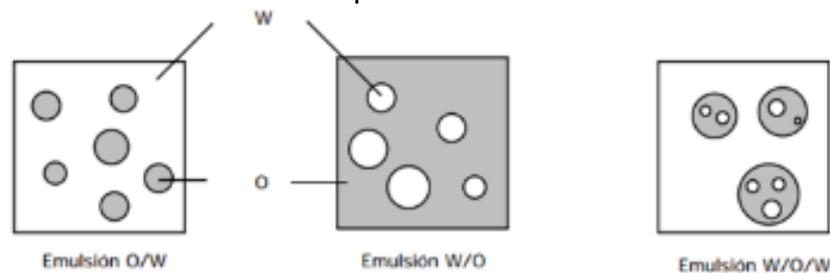
1.2.1 Emulsión. Una emulsión se refiere a una dispersión coloidal de gotas de un líquido en otra fase líquida. Estos sistemas de dispersión están constituidos por dos líquidos inmiscibles en los que la fase dispersa se encuentra en forma de gotas pequeñas (0.1-10 μm) que son distribuidas entre la fase continua o dispersante; también se dice que son inestables y se les permite reposar por algún tiempo. Las moléculas de la fase dispersa tienden a asociarse para constituir una capa que puede precipitar o migrar a la superficie esto se da según la diferencia de densidades entre las dos fases. Hoy en día existen aplicaciones en el área cosmética, farmacéutica en la fabricación de detergentes, alimentos, entre otras.

Las emulsiones son sustancias cuyas moléculas contienen una parte no polar y otra polar, por lo que es posible que se disuelvan tanto en agua o en soluciones acuosas como en disolventes orgánicos y aceites debido a que, dependiendo del predominio de una de las partes de la molécula sobre otra, el emulgente tendrá un carácter lipófilo o lipófilo y esto presenta una mayor afinidad por el agua o por los aceites, dichas características se conocen como balance hidrófilo-lipófilo.

1.2.2 Tipos De Emulsión. Las dos fases líquidas inmiscibles son llamadas fase acuosa (W) y fase aceite (O). Si la emulsión está formada por gotitas de aceite (O) dispersadas en agua (W) se le llama emulsión O/W, mientras que si la fase dispersa es el agua se llamada Emulsión W/O.

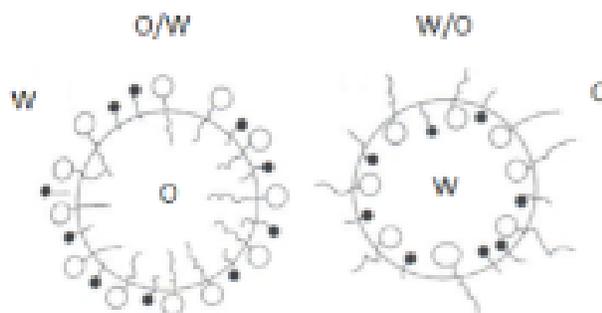
Existen emulsiones más complejas las que se llaman emulsiones dobles o múltiples. Por ejemplo, si las gotas de aceite de una emulsión O/W contienen en su interior gotitas de agua se puede decir que se tiene una emulsión múltiple de tipo W/O/W también pueden ser O/W/O, además, también se utiliza una nomenclatura donde se le dan número a las etapas iguales con el fin de que una represente la fase acuosa más interna y la segunda sea la fase acuosa más externa. Las emulsiones múltiples se encuentran en forma espontánea en ciertas circunstancias, o pueden prepararse siguiendo determinados protocolos de emulsificación.

Ilustración 1. Diferentes tipos de emulsión



Fuente: SALAGER, Jean- Louis. Formulación, composición y fabricación de emulsiones para obtener las propiedades deseadas. Parte b. Laboratorio FIRP. Escuela de ingeniería química universidad de los Andes de Mérida. Venezuela: 1999.p. 6.

Ilustración 2. Esquema de la estructura de microemulsiones O/W y W/O



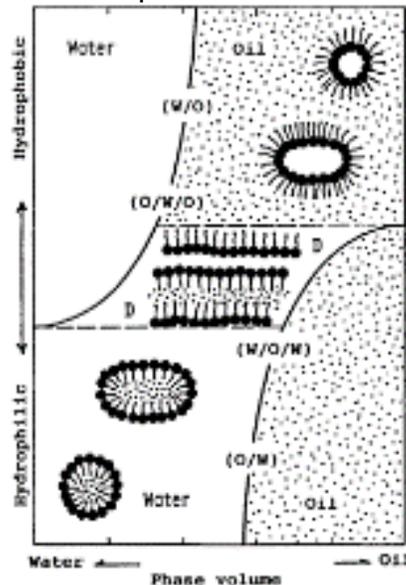
Fuente: Elaboración de microemulsiones. Práctica 9. p.4

1.2.3 Macroemulsión. La preparación de macroemulsiones (emulsificación) resulta de la formación de un estado termodinámicamente inestable lográndose mediante la interrupción mecánica de la interfaz de dos líquidos inmiscibles como el aceite y el agua en presencia de una cierta cantidad de surfactantes en muchos casos.

Las microemulsiones se pueden caracterizar por sistemas compuestos por más de dos fases separadas, es decir, la fase líquida dispersa separada de la suspensión de fluido de la solución de la concentración micelar del surfactante estando adsorbida por una capa de moléculas de este.

Tales emulsiones se pueden dividir en dos categorías: aceite en agua (O/W) y agua en aceite (W/O). La regla clásica de Bancroft¹ para interpretar la formación de los dos diferentes tipos de emulsiones que incluyen emulsiones múltiples se pueden entender precisamente por el uso de un diagrama de fase generalizado de la mezcla de aceite / agua / surfactante propuesta por Shinoda y Friberg², como se expone en la Ilustración 3.

Ilustración 3. Cambios en el comportamiento de fase en un sistema de agua/ emulsionante/ aceite, en el equilibrio hidrófilo- lipófilo del emulsionante



Fuente: MATSUMOTO, Sachio. Preparation and state of macroemulsions stabilized by small molecule surfactants. Vol 3. Food Hydrocolloids. Department of agricultural Chemistry, College of agriculture. The University of Osaka Prefecture. Japan: 1989. p. 251.

Se han desarrollado algunas técnicas confiables de emulsificación para preparar todos los tipos de macroemulsiones sobre la base de información en la solución de

¹ MATSUMOTO, Sachio. Preparation and state of macroemulsions stabilized by small-molecule surfactants. En: FOOD HYDROCOLLOIDS. vol. 3, no. 4, p. 249-261

² SHINODA, K.; YONEYAMA, T. and TSUTSUMI, H. EVALUATION OF EMULSIFIER BLENDING. En: JOURNAL OF DISPERSION SCIENCE AND TECHNOLOGY. Jan.vol. 1, no. 1, p. 1-12

propiedades de los surfactantes, tales que, permiten el control del balance (HLB); hidrófilo-lipofílico.

Shinoda y Friberg² propusieron un método para preparar macroemulsiones (O/W) compuestas de glóbulos finamente dispersos usando un procedimiento de interrupción suave.

El estado de dispersión de las macroemulsiones debería describirse esencialmente por tasa de coalescencia entre los glóbulos dispersos, debido a la presencia de energía libre superficial que aumenta con la extensión creciente del aceite-agua de la interfaz en el sistema. Los glóbulos dispersos colisionan entre sí debido a su difusión traslacional en el fluido de suspensión. La probabilidad de este tipo de colisión fue calculada por Smoluchowski³ en el primer período de este siglo.

Una de las aplicaciones en las macroemulsiones se evidenció en la leche, siendo este el único alimento para todos los mamíferos jóvenes que se caracteriza como uno de los alimentos funcionales consistentes en todo tipo de sustancias nutritivas incluidas las grasas y los ingredientes solubles en grasa en forma de una emulsión (O/W).

Las emulsiones también se aplican para producir alimentos procesados, drogas, cosméticos, pinturas, lubricantes bases de polimerización en emulsión, etc., al utilizar el estado de mezclas de aceite / agua.

Se ha prestado más atención a las emulsiones tipo (W/O/W), desde 1965 cuando Herbert⁴ intentó usar este tipo de emulsión como una nueva forma de antígeno auxiliar. Un trabajo similar fue llevado a cabo por Fahrenbach⁵, quien intentó inmovilizar la insulina en los compartimentos acuosos de una emulsión (W/O/W) para mejorar la eficiencia de la absorción intestinal. Desde entonces las aplicaciones de emulsiones múltiples han venido de varios laboratorios. De igual manera es posible preparar cremas bajas en grasa en una forma comestible, usando la estructura de emulsión (W/O/W).

1.2.4 Microemulsión. En 1943, Hoar y Schulman⁶ introdujeron por primera vez la estructura de la microemulsión, denominada "hidro-micela oleopática", siendo una manera de describir las dispersiones transparentes de agua en aceite que contienen jabón y alcoholes de cadena corta.

En 1948, Winsor⁷ encontró cuatro tipos de sistemas de equilibrio de fase a partir de mezclas de agua, aceite y un compuesto anfifílico, más tarde llamados sistemas I,

³ Discussions of the Faraday Society. Royal Society of Chemistry. 2019

⁴ CLAYTON, William. Clayton's The Theory of emulsions and their technical treatment. 1954.

⁵ ENGEL, R. H.; FAHRENBACH, M. J. and RIGGI, S. J. Insulin: Intestinal Absorption as Water-in-Oil-in-Water Emulsions. NATURE. Aug 24,. vol. 219, no. 5156, p. 856-857

⁶ SCHULMAN, J. H. and HOAR, T. P. Transparent Water-in-Oil Dispersions: The Oleopathic Hydro-Micelle. NATURE. Jul 24. vol. 152, no. 3847, p. 102-103

⁷ WINSOR, P. A. Hydrotropy, solubilization and related emulsification processes. TRANSACTIONS OF THE FARADAY SOCIETY. vol. 44, p. 451-471

II, III y IV. El sistema Winsor I es una dispersión inferior en equilibrio con una fase superior de aceite en exceso, mientras que el sistema Winsor II es una dispersión superior en equilibrio con una fase inferior de agua en exceso. El sistema Winsor III tiene una estructura trifásica, con una dispersión media en equilibrio, con el exceso de aceite superior y el exceso de agua inferior. El último sistema, Winsor IV, es una dispersión monofásica a macroscópica.

Un término introducido por Schulman en 1959 es que las microemulsiones son dispersiones ópticamente isotrópicas transparentes consistentes en agua, aceite y anfífilos (jabón y alcohol) siendo ampliamente utilizadas.

Hoy en día, las microemulsiones se definen como dispersiones termodinámicamente estables y ópticamente isotrópicas transparentes de al menos dos fluidos inmiscibles (generalmente un componente polar y uno apolar) y un compuesto anfifílico. Los líquidos polares, tradicionalmente llamados fase acuosa, incluyen agua, soluciones acuosas y solventes orgánicos hidrofílicos. Los líquidos apolares, tradicionalmente llamados fase oleosa, son comúnmente sustancias orgánicas hidrofóbicas. Los compuestos anfifílicos se refieren a sustancias con afinidad para las fases de agua y aceite. De hecho, durante mucho tiempo este término se usó exclusivamente para surfactantes. Un surfactante tradicional es una molécula que posee tanto cabeza (s) polar (es) como cola (s) de cadena larga apolar(es). El fuerte carácter anfifílico de los surfactantes los conduce a la interfaz entre las fases de agua y aceite para estabilizar las microemulsiones.

1.3 FASE ACUOSA (W)

El agua se designa químicamente “Hidróxido de hidrogeno” y es el más importante de los óxidos y, sin duda alguna de todos los compuestos. En unión del aire, el fuego y la tierra formaban los cuatro elementos de los antiguos. H. Cavendish la preparó por primera vez, en 1781, quemando oxígeno en el aire. Más tarde, Lavoisier demostró que el agua se componía únicamente de hidrogeno y oxígeno.⁸ El agua es el compuesto con más abundancia y generosamente distribuido en el entorno. Esta se encuentra en tres estados: gaseosa, líquida y sólida; hallándose como gas considerablemente en la atmosfera, el cual constituye la humedad; como liquido en los lagos, ríos, océanos, etc., como solido se localiza formando nieve o hielo en las regiones polares y en las cimas de las montañas prominentes.

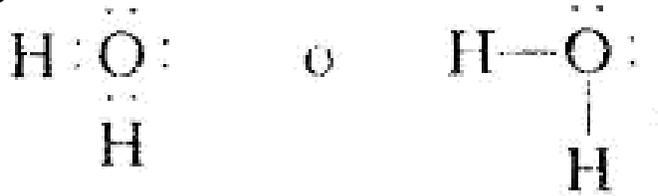
Además, el agua, constituye mayoritariamente la materia viva entre los que está el cuerpo humano con un contenido de casi del 90%.

1.3.1 Estructura molecular. La molécula de agua posee una configuración angular, tal que, permite un momento dipolar entre las mismas consiguiendo una atracción entre si debido a sus cargas parciales en los átomos de oxigeno e hidrógeno, conduciendo a enlaces de hidrogeno intermoleculares.

⁸WADE, L. G. Organic chemistry. 3. ed. ed. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall, 1995.

Existen diferentes isótopos del agua, donde hace que varíen sus interacciones moleculares volviéndose más electronegativa o menos de acuerdo con sus enlaces. Cuando dos moléculas de agua son unidas por hidrógeno, una de las moléculas de agua dona su hidrógeno al par de electrones que se encuentra solo en el átomo de oxígeno volviéndose aún más electronegativo. Sin embargo, en los estados, sólido y líquido, las moléculas de agua se asocian unas con otras formándose grandes combinaciones, en vista de los dos pares de electrones libres que conservan.

Ilustración 4. Fórmula electrónica y estructural del agua



Fuente: CHANG, Raymond. Química. 10ª ed. Williams College Departamento de química Orgánica Facultad de química. Universidad nacional autónoma de México. México D. F.: 2010. p. 415.

Al tener un cambio en la temperatura pasa a un momento dipolar la molécula, dando como resultado una nueva organización en la longitud del enlace hidrogeno. Esta correlación es directamente proporcional a la fuerza que ejerce su enlace. El aumento en la unión de hidrógenos permite que se encuentren propiedades tales como, mayor adhesión y viscosidad mientras que le puede ocurrir cambios como menor densidad véase tabla 1.

Tabla 1. Propiedades físicas del agua

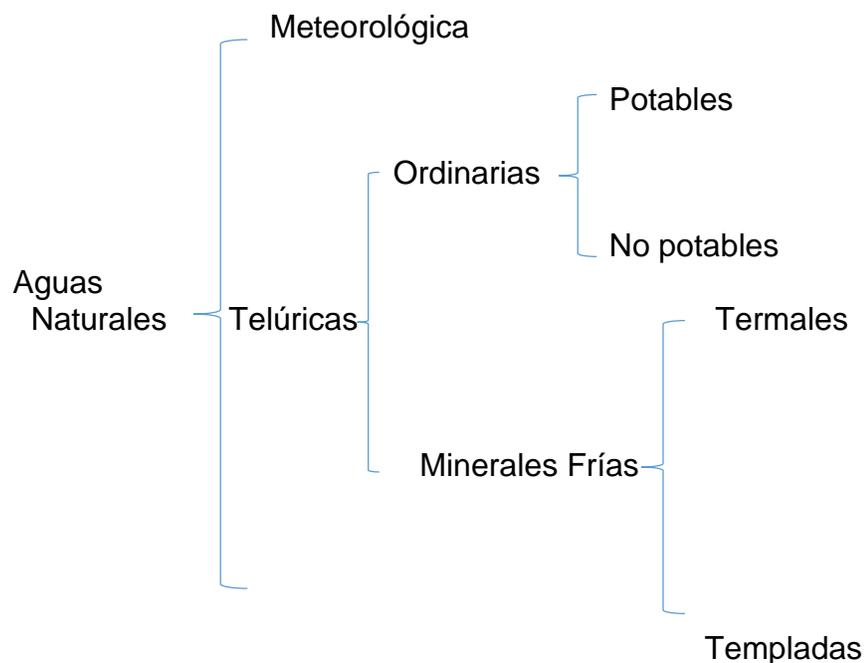
Temperatura (°C)	Densidad (Kg/m ³)	Conductividad térmica (W/m°C)	Difusividad térmica (x 10 ⁻⁶ m ² /s)	Viscosidad absoluta (x 10 ⁻⁶ Pas)
20	998.2	0.597	0.143	993.414
5	1000	0.568	0.135	1534.74
0 (Agua)	999.9	0.558	0.131	1793.63
0 (Hielo)	916.2	2.22	11.82	N/A
-7	917.8	2.27	12.23	N/A
-18	916.4	2.32	12.91	N/A

Fuente: CHEN, Peter, et al. Encyclopedia of Food Chemistry: Water. University of Waterloo. Ontario.: 2018. p. 3.

1.3.2 Clasificación de las aguas. Las aguas naturales poseen una clasificación en dos grandes grupos: meteóricas y telúricas. Las meteóricas son las que caen en forma de lluvia, y contienen disueltas muchas sustancias, entre carbonatos, nitrato de amonio, nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono y polvo atmosférico. Las aguas telúricas circulan por la superficie y entre capas de la tierra con un contenido de igual manera de muchas sustancias en solución. Estas aguas tienen una división como aguas ordinarias y minerales. Las aguas telúricas ordinarias son las que poseen aquellas sustancias generalmente presentes en la mayoría de las aguas. Las minerales se componen por una o un conjunto de sustancias minerales dándoles una característica específica.

Las sustancias minerales disueltas se denominan: sulfatadas, ferruginosas, bromuradas, carbonatadas, sulfúricas, etc., según los componentes disueltos en estas; las aguas ordinarias tienen una subdivisión denominada como potable y no potable. Las potables se caracterizan por ser aptas para el consumo humano con un contenido de minerales determinado de acuerdo con la reglamentación expedida. Las no potables tienen un contenido de minerales elevado el cual no está apto para el consumo. Otra división que caracteriza y especifica el agua es la temperatura en la que se encuentra en estado natural, de acuerdo con la temperatura las aguas minerales se clasifican en frías (menos de 15° C) templadas están dentro de un rango de 15 y 22° C y por último las termales a más de 22°C. En la ilustración 5 se muestra el resumen de clasificación de las aguas.

Ilustración 5. Clasificación de las aguas



Fuente: RESTREPO, Fabio; RESTREPO, Jairo y VARGAS, Leonel. Química básica. vol. 1. p. 215

El agua debe cumplir un conjunto de requisitos para que sea de consumo y de uso industrial. Las aguas duras contienen en exceso sales de calcio y magnesio siendo estas indeseables para la mayoría de los usos, las cuales se le hacen tratamiento para conseguir ablandamiento. En el caso que el agua contenga bicarbonatos la dureza es transitoria por lo cual el ablandamiento puede alcanzarse por simple cambio de temperatura (ebullición). Ya sea el caso contrario la dureza permanecerá constante y su ablandamiento solo se conseguirá por procedimientos químicos.

El agua es un compuesto muy estable, esto quiere decir, que es muy difícil su descomposición, presenta propiedades fisicoquímicas, tales como, el agua pura es incolora, inodora e insípida. A temperatura ambiente se presenta líquida. A continuación, en la tabla 2 se describe sus características principales.

Tabla 2. Características principales del agua

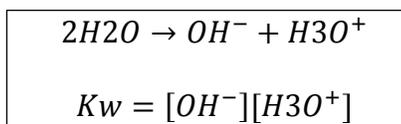
Características principales.	
Fórmula molecular	H ₂ O
Estado Físico	Sólido, líquido y gaseoso
Color	Incolora
Olor	Inodora
Sabor	Insípida
Masa molecular	18.016 u.m.a.
Densidad como gas	0.598 g/cm ³ (a 100°C y 1 atm)
Densidad como líquido	1 g/cm ³
Densidad como sólido	0,917 g/cm ³ (a 0°C)
Punto de fusión	0°C (a 1 atm)
Punto de ebullición	100 °C
Capacidad térmica	1 cal/ g°C

Fuente: RESTREPO, Fabio; RESTREPO, Jairo y VARGAS, Leonel. Química básica. vol. 1. p. 211

1.3.3 Ionización del agua. El agua natural existe con una fórmula molecular general conocida H₂O. En ciertas ocasiones tiene la capacidad de presentar ionización endotérmicamente, esta ionización forma OH⁻ y H₃O⁺. Este proceso de generación de iones se explica a que el O-H, al adicionársele calor crea vibración molecular, permitiendo que interiormente genere excitación. De acuerdo con el proceso de ionización una vez formado por el cambio de temperatura que se le dé a la molécula, este genera una inestabilidad atómica. Esta inestabilidad atómica debe mantener un equilibrio el cual permite introducir el concepto Kw (constante de ionización para el agua). Este concepto representa la formación de agua entre los iones hidroxilo e iones hidronio, en este caso el cambio que ocurra en el sistema ya

sea, adición de productos ácidos o cambios de temperatura se ajusta al concepto según del principio de Le Chatelier véase ecuación 1.

Ecuación 1. Constante de ionización para el agua



El principio de Le Chatelier⁹ establece que, si un sistema en equilibrio se somete a un cambio de condiciones, éste se desplazará hacia una nueva posición a fin de contrarrestar el efecto que lo perturbó y recuperar el estado de equilibrio.¹⁰ De acuerdo con este principio es posible que el OH y el H interactúen independientemente con otras moléculas de agua, formando hidratos estables y en sumatoria causando efectos en la estructura principal de agua. Estos hidratos tienen capacidad de formar enlaces iónicos de hidrógeno, siendo aún más fuertes que los propios enlaces hidrógeno- hidrógeno típico, produciendo aumento en el ordenamiento del agua en estado líquido. Estas constantes de ionización se reflejan en la tabla 3 a diferentes temperaturas:

Tabla 3. Constantes de autoionización para agua a diferentes temperaturas

Temperatura (K)	Kw
273	1.10E-15
283	6.80E-15
288	1.00E-14
313	2.92E-14
373	5.13E-13

Fuente: CHEN, Peter, et al. Encyclopedia of Food Chemistry: Water. University of Waterloo. Ontario.: 2018. p. 2.

1.3.4 pH. El potencial de hidrogeno o potencial de hidrogeniones del agua cotidianamente en la literatura esta designado con un valor de 7. Esta medida de acidez o alcalinidad en las disoluciones determina un rango de concentración de

⁹ ENCYCLOPEDIA BRITANICA. Tomado de: <https://www.britannica.com/biography/Henry-Louis-Le-Chatelier>

¹⁰ CHANG, Raymond; GOLDSBY, Kenneth A. and HERNÁNDEZ, Paola Malinalli. Química (12a. ed.). Distrito Federal: McGraw-Hill Interamericana, 2017.

iones presentes en ellas. El pH del agua tiene variación de tal manera, que cambia en función de la temperatura respecto a la constante de autoionización. Esta autoionización no significa que a bajas temperaturas sea una solución básica u/o altas temperaturas acida, es decir, al ocurrir este fenómeno de acidez o alcalinidad debe presentarse un exceso de iones hidronio en comparación con iones hidroxilo. En agua pura a condiciones estándares va a permanecer constante; sin embargo, a temperaturas de 373 K presenta un pH de 6,14, considerándose ligeramente básica véase en la tabla 4:

Tabla 4. pH del agua a diferentes temperaturas

Temperatura (K)	pH
273	7.47
283	7.27
288	7
313	6.77
373	6.14

Fuente: CHEN, Peter, et al. Encyclopedia of Food Chemistry: Water. University of Waterloo. Ontario.: 2018. p. 2.

1.4 FASE OLEOSA (O)

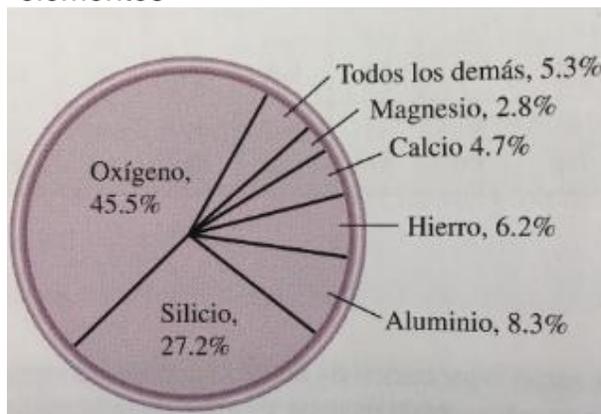
Por definición oleoso se presenta como adjetivo de aceitoso¹¹; la palabra aceitoso responde a que en su estructura posee cuantiosa composición de aceite¹⁰. El aceite es una sustancia grasa, líquida a temperatura ordinaria, de mayor o menor viscosidad, no miscible con agua y de menor densidad que ella, que se puede obtener por frutos o sintéticamente¹⁰.

De acuerdo con la definición anterior, la fase oleosa hace parte de la fracción principal en composición, formación y elaboración de una microemulsión. Las microemulsiones dependen de esta, haciendo parte fundamental en la elaboración de nuevos productos en desarrollo de la industria. En la industria existen cuantiosos aceites para elaborar microemulsiones, tal como aceites vegetales y/o obtenidos industrialmente.

La silicona como agente oleoso, es un compuesto a base de silicio. El silicio, aunque no se presenta en estado libre, en combinación con otros elementos, siendo después del oxígeno el elemento más abundante en la corteza terrestre con un 27.2%, véase ilustración 6.

¹¹ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. Tomado de: <http://www.rae.es/>

Ilustración 6. Abundancia natural de los elementos



Fuente: CHANG, Raymond. Química. 10^a ed. Williams College Departamento de química Orgánica Facultad de química. Universidad nacional autónoma de México. México D. F.: 2010. p. 52.

Este elemento químico está entre el grupo de los metaloides y hace parte de la familia del carbono. En su estado natural se encuentra principalmente en los silicatos y en su oxido, SiO₂ o sílice. Presenta nueve isotopos con masa atómica entre 25 a 33, siendo el Si-28 el isotopo con más abundancia en un 93%. Está presente en materiales terrestres como cuarzo, arena, grava entre otros con impurezas y colores característicos. El silicio se presenta en dos formas alotrópicas: amorfo y cristalizado. El silicio amorfo es un polvo pardo, mal conductor del calor y de la electricidad, pero muy atractivo químicamente, véase tabla 5:

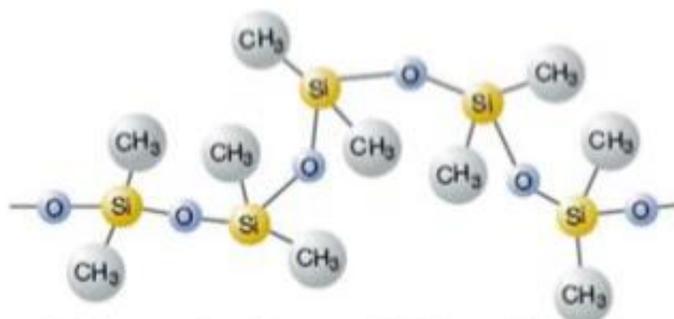
Tabla 5. Características principales del silicio

Características principales.	
Formula molecular	Si
Estado físico	Sólido
Masa molecular	28.086 u.m.a.
Densidad	2.33 g/ml
Punto de fusión	1410 °C
Punto de ebullición	2680 °C

Fuente: REED, Ch.E. Las Siliconas (química Industrial, Propiedades y aplicaciones). Ed Cedel. Universidad de Barcelona. Barcelona.: 1959. p. 12.

1.4.1 Silicona líquida. Son polímeros de compuestos organosilícicos generados industrialmente. Este polímero está compuesto por moléculas inorgánicas formadas por silicio y oxígeno donde se encuentran intercaladas entre sí. Presenta una estructura tetraédrica con radicales orgánicos. El nombre que comúnmente recibe la silicona es polisiloxano siendo esta la silicona más usada con su respectiva estructura como se muestra en la ilustración 7.

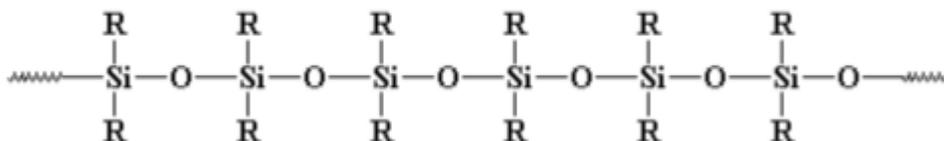
Ilustración 7. Estructura del Polidimetilxiloxano



Fuente: REED, Ch.e. Las Siliconas (química Industrial, Propiedades y aplicaciones). Ed Cedel. Universidad de Barcelona. Barcelona.: 1959. p. 12.

La silicona presenta propiedades tales como, resistencia a la temperatura en un rango desde -60 hasta 250 °C, su comportamiento hidrófobo hace que no tenga solubilidad en agua por su constitución no polar. El polímero se la atribuye resistencia a la deformación, adjunto a esto tiene la propiedad de ser compatible con el medio ambiente siendo esta la más importante para la preservación de este. Entre otras características contienen puntos de fusión bajos, temperatura de descomposición baja.

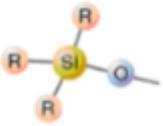
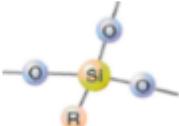
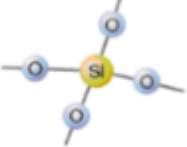
Ilustración 8. Formula molecular de la silicona



Fuente: CH.E. Reed. Las Siliconas (química Industrial, Propiedades y aplicaciones). Ed Cedel. Universidad de Barcelona. Barcelona.: 1959. p. 12.

La silicona presenta químicamente una geometría funcional en disposición tridimensional de cuatro unidades estructurales. La geometría de cada una de las estructuras afecta sus propiedades físicas y químicas, dado el caso como el punto de fusión, punto de ebullición, densidad y tipo de reacciones en las que pueden participar véase tabla 6.

Tabla 6. Geometría funcional de la silicona

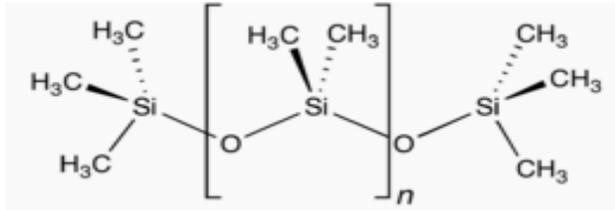
Geometría funcional		
Nombre	Estructura	Función
Monofuncional		Contiene un solo un grupo funcional, permitiendo la interrupción de la cadena.
Difuncional		Contiene dos grupos funcionales formando la columna vertebral de las cadenas macromoleculares y compuestos cíclicos.
Trifuncional		Contiene tres grupos funcionales formando moléculas ramificadas formación de resinas.
Tetrafuncional		En su totalidad posee cuatro grupos funcionales, dan lugar a estructuras en red.

Fuente: CH.E. Reed. Las Siliconas (química Industrial, Propiedades y aplicaciones). Ed Cedel. Universidad de Barcelona. Barcelona.: 1959. p. 12.

Las siliconas pueden ser aceites lubricantes de color lechoso con una gran facilidad de ser soluble en disolventes orgánicos y ser volátil por su bajo peso molecular. La silicona por medio de hidrolisis presenta varios compuestos a partir de cadenas de siloxano con diferentes usos y aplicaciones.

1.4.1.1 PDMX. La silicona E900o está formada por cadenas extensas de silicio, átomos de oxígeno y compuestos orgánicos metilo, se encuentra en estado natural como un líquido blanco viscoso. La ilustración 9 y tabla 7 presentan las principales propiedades fisicoquímicas.

Ilustración 9. Fórmula molecular Polidimetilsiloxano



Fuente: Dimethicone Crosspolymer for Sunscreen in personal care industry. Tomado de: www.dimethiconcrosspolymer.com

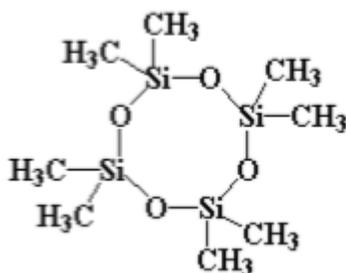
Tabla 7. Características principales del Polidimetilsiloxano

Características principales.	
Fórmula molecular	$(R_2SiO)_n$
Estado Físico	Líquido
Color	blanco
Olor	Inodora
Sabor	Insípida
Masa molecular	$(74.15) n$ u.m.a.
Densidad	0.97 g/cm^3
Punto de fusión	N/A
Punto de ebullición	200

Fuente: CH.E. Reed. Las Siliconas (química Industrial, Propiedades y aplicaciones). Ed Cedel. Universidad de Barcelona. Barcelona.: 1959. p. 12.

1.4.1.2 Silicona industrial. La silicona es líquido aceitoso transparente, sintético que se denomina octametil ciclotetraxiloxano, es un monómero volátil. La ilustración 10 muestra la estructura molecular de la silicona industrial y en la tabla 8 las principales propiedades fisicoquímicas.

Ilustración 10. Fórmula molecular de la silicona



Fuente: CH.E. Reed. Las Siliconas (química Industrial, Propiedades y aplicaciones). Ed. Cedel. Universidad de Barcelona. Barcelona.: 1959. p. 13.

Tabla 8. Características principales de la silicona industrial

Características	Resultado	Valor Mínimo	Valor Máximo
Densidad 25°C g/cm ³	0.955	0.950	0.960
Viscosidad 25°C mm ² /s	3.900	3.500	4.500

Fuente: CIACOMEQ S.A.S. Certificate of analysis Silicone.

1.5 TENSOACTIVO

La actividad tensoactiva es fundamental en la estabilización de dos sustancias inmiscibles entre sí, interviniendo en la disminución y estabilización de la tensión superficial entre la fase acuosa y la fase oleosa.

Un agente tensoactivo (Surfactante) es un constituyente, que tiene como propiedad modificar la energía superficial cuando esta entra en contacto.

1.5.1 Clasificación de agentes tensoactivos. En general los agentes tensoactivos pueden clasificarse según sus estructuras químicas, propiedades físicas y comportamiento iónico en solución acuosa. Estos agentes tensoactivos poseen una característica estructural que permiten que entre si se noten relacionados como en su constitución anfótera (parte polar y otra no polar), siendo afines en el medio acuoso y oleoso. La condición dual de estas moléculas permite adsorberse entre interfases explicando su comportamiento característico¹². De acuerdo con cada estructura química, los agentes tensoactivos se clasifican en:

¹² J. B. Wilkinson. R. J. Moore. Cosmetología de Harry. Madrid. Ediciones Díaz de Santos. 1990.

tensoactivos aniónicos, tensoactivos catiónicos, tensoactivos no iónicos y tensoactivos anfóteros.

- **Agentes aniónicos.** Los tensoactivos aniónicos contienen generalmente uno de cuatro grupos polares solubles en carboxilato, sulfonato, sulfato o fosfato combinado con una cadena hidrocarbonada hidrófoba con carga negativa. Si esa cadena es corta son muy hidrosolubles, y en caso contrario tendrán baja hidrosolubilidad actuando en sistemas no acuosos como aceites lubricantes. Dentro de esta clasificación se encuentran compuestos como el alquil bencen sulfonato lineal (LABS), los alquil sulfatos (AS) derivados principalmente del petróleo.
- **Tensoactivos catiónicos.** Los surfactantes catiónicos cargados positivamente en una solución acuosa están compuestos por una molécula lipofílica y otra hidrofílica, consistente de uno o varios grupos amonio terciario o cuaternario. Las sales de cadena larga de amonio terciaria, obtenidas por neutralización de las aminas con ácidos orgánicos o inorgánicos, son raramente usadas. Las sales de amonio cuaternarias están constituidas con un solo grupo alquilo (C12-C18), o dos grupos más cortos (C8-C10).
- **Tensoactivos no iónicos.** En contraste a sus contrapartes iónicas, los surfactantes no iónicos no se disocian en iones hidratados en medios acuosos. Las propiedades hidrofílicas son provistas por hidratación de grupos amido, amino, éter o hidroxilo. Cuando existe un número suficiente de estos grupos la solubilidad acuosa es comparable con la de los surfactantes iónicos. Las aplicaciones son extensas y dependen de la cantidad de grupos polares presentes, que determinaran la solubilidad tanto en agua como en aceite (cuantificada mediante el índice HLB, o balance hidrofílico - lipofílico).
- **Tensoactivos anfóteros.** Los tensoactivos anfóteros presentan un comportamiento muy particular, tienen la capacidad de formar un ion tensoactivo con cargas tanto positivas como negativas de acuerdo con el pH ácido o básico que presenten.

1.5.2 Propiedades de los tensoactivos. Los tensoactivos presentan propiedades superficiales conforme a la concentración acuosa presente en la solución. Es necesario tener en cuenta principalmente que las microemulsiones debe cumplir con unos principios referentes a la estabilidad en el sistema entre sus fases. Estos principios toman importancia ya que a un cierto punto de concentración podrían alterarse y presentar discontinuidad, variación de la tensión superficial y un cambio oportuno de distintas propiedades.

La concentración micelar es un concepto que describe uno de estos principios básicos para conocer el comportamiento en particular de las microemulsiones. Este postulado hace referencia a que, si se aumenta el gradiente de concentración de iones, la tensión superficial cae a un punto donde la concentración micelar de iones hace inicio a una asociación entre grupos y estos grupos se denominan micelas. Las

micelas presentan una formación en representación esférica, con un grupo no polar en la “cola” y el grupo polar a la “cabeza”.

1.5.3 Agentes tensoactivos no iónicos

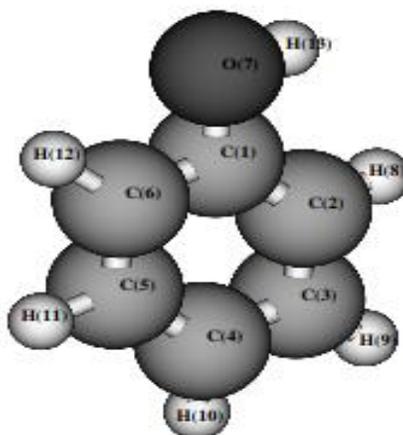
1.5.3.1 Fenol. En el año 1834 Runge¹³ descubre que el fenol es un componente derivado a partir del alquitrán de hulla, siendo este proveniente del carbón de alquitrán el cual es nombrado ácido carbólico.

Para el año 1841 Laurent¹⁴ por medio de estudios realizados preparó por primera vez fenol puro con Alquitrán de hulla y cloro, aislando dicloro fenol ($C_{24}H_8Cl_4O_2$) y tricloro fenol ($C_{24}H_6Cl_6O_2$). Los fenoles son un compuesto orgánico aromático que tienen un grupo OH (alcohol) unido a un átomo de carbono perteneciente a un anillo de benceno. La mayoría son sólidos a temperatura ambiente y generalmente tienen un olor fuerte picante, es un líquido transparente y algunos fenoles presentan solubilidad en agua. Una de las reacciones que presentan los fenoles están presentes con hidróxido de sodio formando fenolatos. Los fenolatos o ácido fenolático es un compuesto que principalmente sirve para conversiones en polímeros. La acidez del fenol determina su grupo hidroxilo, mientras que el anillo de benceno caracteriza su basicidad. El fenol tiene un punto de fusión bajo y un rango de temperatura menor que 68.4 °C. En la ilustración 11 se muestra la geometría molecular tridimensional del fenol, en la tabla 9 las características principales y por último la estructura química de este en la ilustración 12

¹³ Annalen der Physik und Chemie. ANNALEN DER PHYSIK UND CHEMIE.

¹⁴ ARAGO, Jacques and GAY-LUSSAC, Joseph Louis. Annales de chimie et de physique. Paris: Crochard,

Ilustración 11. Geometría molecular tridimensional del fenol



Fuente: WILEY John. The Chemistry of Phenols. The Hebrew University Jerusalem. Jerusalem: 2003. p.4.

Tabla 9. Propiedades físicas del Fenol

Características principales	
Formula molecular	C ₆ H ₅ OH
Estado físico	Sólido
Color	Incoloro
Olor	Picante
Sabor	N/A
Masa molecular	94.11
Densidad	1070 kg/m ³
Punto de fusión	43°C
Punto de congelación	40.91 °C
Punto de ebullición	181.75 °C
Solubilidad en agua	0,067g/ml a 16°C

Fuente: Alcohols, Phenols, Thiols, and Ethers. [1]. Abril 2. Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/1938473393>

Ilustración 12. Estructura química del fenol



Fuente: National Institute Standards and Technology (NIST). Propiedades fisicoquímicas del Fenol. Libro Web de Química. U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America. 2017

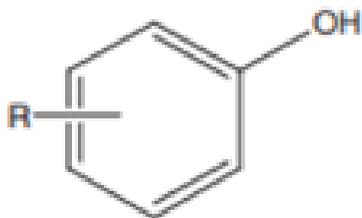
- **Nonil fenol.** El Nonil fenol (NF) es un líquido amarillo claro, viscoso que se produce en la alquilación de fenoles, este se obtiene por síntesis a partir de la adición de óxido de etileno, siendo soluble en la mayoría de los disolventes orgánicos y aceites. El Nonil fenol se usa en la fabricación de Nonil fenol etoxilados (NFE); estos en su mayoría se designan como tensoactivos no iónicos que tienen variedad de aplicaciones como en lubricantes, agentes antiespumantes, emulsionantes y también en productos de consumo. Todos los grados de Nonil fenol presentan una alta afinidad para formar emulsiones O/W. En la tabla 10 se observa las características generales del compuesto Nonil fenol y en la ilustración 13 la estructura molecular del compuesto.

Tabla 10. Características principales del Nonil fenol

Características principales	
Nombre	Nonylphenol
Sinónimos	Monononylphenol Nonilfenol n-nonilfenol 4-nonilfenol (ramificado) 2-nonilfenol 4- (2,4-Dimetilheptan-3-yl) fenol
Fórmula molecular	C ₁₅ H ₂₄ O

Fuente: National Institute Standards and Technology (NIST). Propiedades fisicoquímicas del Fenol. Libro Web de Química. U.S. Secretary of Commerce on behalf of the United States of America. 2017

Ilustración 13. Estructura molecular del Nonil fenol



Fuente: BLANKENSHIP, Alan L. Artículo de revisión de nonyl phenol. ST Kim. Life Technologies, Foster City California. Estados Unidos: 2005.p. 614.

- **Clasificación.** Hay diferentes tipos de Nonil fenol etoxilados y cada uno se diferencia por el grado de etoxilación que posee (°E), es decir, hace referencia a la cantidad de óxido de etileno que se le añade y del tiempo en que este reacciona. Dependiendo del número de unidades de óxido de etileno podemos clasificarlos en:

- ✓ Nonil fenol etoxilado a 4 °E
- ✓ Nonil fenol etoxilado a 6 °E
- ✓ Nonil fenol etoxilado a 9 °E
- ✓ Nonil fenol etoxilado a 10 °E
- ✓ Nonil fenol etoxilado a 30 °E

1.5.3.2 Cosurfactantes. Los cosurfactantes son agentes tensoactivos con características y propiedades especialmente no iónicas. Presentan baja toxicidad y en sumatoria forman parte de productos biodegradables diseñados para proporcionar flexibilidad y cumplir o superar los requisitos ambientales. En la tabla 11 se enseña los tipos de eco surfactantes con sus principales propiedades físicas:

Tabla 11. Propiedades físicas de los C-surfactantes

Producto	Apariencia (25°)	Moles de etoxilación	pH	Viscosidad Cinemática. (25°C, mm ² /s)	Valor de HLB	Densidad (25°C, g/cm ³)
F 50	Líquido	5	5-7	aprox 35	11.5	aprox 0.97
F 80	Líquido	8	5-7	aprox 60	13.5	aprox 1.01
X070	Líquido	7	4-7	aprox 45	12.8	aprox 0.98

Tabla 11. (continuación) Producto, apariencia (25°), moles de etoxilación, pH, viscosidad cinemática. (25°C, mm²/s), valor de HLB y densidad (25°C, g/cm³).

XOil	Líquido amarillo claro	----	5-7	----	8	aprox 1
Tween 80	Líquido	----	5-7	300-500	15	1.06-1.09

Fuente: Químicos AAA. Propiedades de los cosurfactantes.

- **Punto de turbidez.** El punto de turbidez o nube es una propiedad importante en la selección de un tensoactivo. En la tabla 12 se reflejan los valores de cada producto con su respectiva turbidez, °C:

Tabla 12. Turbidez de cosurfactantes

Producto	Punto de turbidez, °C
Nonil fenol	63
F 50	62-67
F 80	61-65
X70	50-57
XOil	71-76
Tween 80	74

Fuente: Químicos AAA. Propiedades de la turbidez de los cosurfactantes

1.6 PRINCIPIOS BÁSICOS

Las emulsiones deben desempeñar una serie de principios básicos, los cuales enseñan la manera de cómo va a ser su comportamiento y de qué modo van a interactuar con las diferentes sustancias que la componen. Uno de estos principios es la “afinidad”, no solo referida entre la solubilidad entre componentes, sino que también debe cumplir con la noción de fase. Las fases de las emulsiones se distinguen como, fase interna, dispersa u/o discontinua, y la última, fase externa o continua. La afinidad es parte fundamental en la interacción entre las moléculas individuales puesto que de cierta manera se ven atraídas entre sus vecinas, independiente del medio en el que se encuentre. Por ejemplo, el agua ejerce un dominio entre las moléculas que la rodean, siendo cada molécula atraída por esta en diferentes direcciones y formando una unión en masa, a este postulado se le denomina cohesión. La fuerza de cohesión no solo depende del tamaño de la molécula sino también de su naturaleza química. Cuando dos o más sustancias en

contacto coexisten¹⁵, es decir, son diferentes y tienden a separarse entre ellas mismas.

1.6.1 Principios de estabilidad. En las emulsiones es necesario tener en cuenta que una mezcla entre las fases oleosa y acuosa puede emulsificar de manera mecánica por medio de agitación. Al incorporarse energía de agitación de manera vigorosa hasta un rango adecuado, podría obtenerse un tamaño de gota pequeño en la fase dispersa. Sin embargo, la unión de las gotículas en la fase dispersa podría presentar un cambio, reuniéndose hasta volver a su estado natural en la capa inicial (separación de fases). Es importante saber que las emulsiones en su formación se pueden presentar de forma mecánica o de manera termodinámica, siendo estos dos principios importantes.

1.6.1.1 Modelo mecánico de formación y coalescencia. En una mezcla de agua-aceite al aplicarse energía mecánica en forma de agitación, la fase dispersa queda atrapada dentro de la fase continua. Dentro de la fase continua se constituyen gotitas aisladas de fase dispersa, donde estas gotitas son formadas a partir de la turbulencia presente en el medio, ejercida por la fuerza de cizallamiento. La fuerza de cizallamiento del medio es opuesta a la tensión superficial entre la interfaz de la gota y el líquido. El tamaño de gota es reducido a partir de remolinos que se cruzan en la corriente por el grado de turbulencia de la mezcla. El tamaño de gota es exclusivo del grado de turbulencia producido en la fase externa.

La coalescencia es un mecanismo considerado en la formación de varias fases distribuidas en agua-aceite, donde la fase dispersa se rompe y forma gotitas de la misma composición. Las gotitas presentan movilidad libre en la fase continua, chocando unas con otras con bajas colisiones y en consecuencia dando una inmediata coalescencia. Si las gotitas de fase dispersa rebotan estas quedan adheridas unas a otras considerándose un proceso esencial denominado “agregación” o “floculación”.

1.6.1.2 Modelo termodinámico de emulsificación y coalescencia. Un líquido al adicionársele energía mecánica en este caso agitación, las moléculas del interior tienden a transportarse a la superficie. Estas moléculas tratan de cambiar su sentido de posicionamiento por la fuerza de atracción hacia las moléculas vecinas y, por lo tanto, es necesario la adición de trabajo mecánico para agrandar su área superficial. Sin necesidad de exponer la mezcla a cambios de temperatura la superficie puede propender a un gradiente de temperatura pequeño, es decir, a enfriarse y generando calor al dominio.

Un principio en particular en mecánica dice que un objeto en equilibrio es estable cuando su energía potencial es mínima⁸. Si la energía potencial aumenta en este caso en particular, la emulsión pierde notablemente energía hacia el entorno en

¹⁵ J. B. Wilkinson. R. J. Moore. Cosmetología de Harry. Madrid. Ediciones Díaz de Santos. 1990.

forma de calor proporcionando coalescencia en la fase interna y viéndose notablemente una separación de fases.

1.6.1.3 Factores que afectan la estabilidad. Los mecanismos mencionados aclaran que la estabilidad depende de varios factores para que su formación sea de manera adecuada y efectiva.

La ley de Stokes¹⁶ manifiesta que el movimiento de las gotitas en la fase interna se ve afectada por la viscosidad de la fase continua; en una relación entre la densidad de fase oleosa, acuosa y el tamaño de gota de fase dispersa.

1.7 ELEMENTOS PRINCIPALES EN LA ESCOGENCIA DE UN TENSOACTIVO

En un sistema de microemulsificación las fases de agua y aceite son un inicio útil en cuanto a la selección del tensoactivo, dando como resultado una microemulsión con una buena estabilidad. De este modo es necesario explicar el equilibrio hidrófilo-lipófilo y su desempeño en el sistema.

1.7.1 Equilibrio hidrófilo- lipófilo de los tensoactivos (HLB). El HLB de un tensoactivo se define como una expresión del balance hidrófilo- lipófilo, es decir, el balance de tamaño y la fuerza que tiene los grupos hidrofílicos siendo este afín al agua (polar) o de igual manera lipofílicos no afín al agua (no polar). Todos los tensoactivos se caracterizan por una molécula en conjunto que combina grupos hidrofílicos de igual manera a lipofílicos.

El concepto HLB lo introdujo William C. Griffin¹⁷ siendo pionero en el año 1949. A lo largo de los años se desarrollaron varios métodos experimentales y numéricos para la determinación del número HLB, sin embargo, estos métodos fueron investigados para tensoactivos no iónicos. El número HLB tiene en cuenta el tamaño de las moléculas tensoactivas de los restos lipófilos e hidrófilos, permitiendo predecir la capacidad del tensoactivo para estabilizar emulsiones de tipos (W/O) y (O/W).

Este método semiempírico es el más conocido en la selección de un surfactante en determinada aplicación, en donde se le asigna al surfactante un número HLB dependiendo de la estructura química, variando en una escala estipulada de 0 a 20; Entre 3.5 a 6.0 los surfactantes son adecuados para emulsiones W/O y entre 8 a 18 los surfactantes son afines en emulsiones O/W, cual más larga sea la cadena de ácidos grasos y mayor sea el grado de esterificación el valor de HLB será menor.

1.7.2 Principales características. El sistema HLB es útil para identificar tensoactivos en la emulsificación de aceite y agua. Existe dos tipos de emulsiones:

¹⁶ MCCABE, Warren L.; SMITH, Julian C. and HARRIOTT, Peter. Operaciones básicas de ingeniería química (4a. ed.). México, D.F: McGraw-Hill Interamericana, 1991. 174 p.

¹⁷ Chapter 3 Hydrophile-Lipophile Balance of Surfactants. En: Anonymous Studies in Interface Science. 2000. 146-266 p.

- Emulsiones agua en aceite (W/O), el agua se dispersa en aceite en donde este se requiere de surfactantes con bajo número HLB.
- Emulsiones aceite en agua (O/W), el aceite se dispersa en la fase acuosa, este es el tipo de emulsión más común y requiere de tensoactivos con HLB más altos.

1.7.3 HLB Requerido. Debido a que el HLB no tiene en cuenta la naturaleza de la fase oleosa por esta razón es necesario introducir el concepto de “HLB requerido”, el HLB requerido del surfactante, permite obtener una emulsión más estable para un sistema dado, dicha estimación en las emulsiones se puede preparar con misma fase acuosa y misma fase oleosa, pero con distintos tensoactivos que estén dentro del rango HLB.

El HLB requerido para el aceite se calcula por medio de la ecuación 2 donde tiene un uso importante para darle estabilidad al aceite en la solución, donde existe una mezcla de emulsificantes con un mejor resultado.

Ecuación 2. Estimación del HLB requerido para aceites

$$HLB_{req} = \frac{(W_a * HLB_a) + (W_b * HLB_b)}{W_a + W_b}$$

W_a es la cantidad en peso del emulsionante (a), W_b es la cantidad en peso del segundo emulsionante (b) siendo estos dos un requerimiento para la buena proporción en la formación de la emulsión. Los HLB's de a y b son valores ya asignados para cada uno de los componentes emulsionantes y por último el HLB_{req} se usa para cada tipo de emulsión que se desea estudiar.

1.7.4 Calculo de HLB evaluado para surfactantes no iónicos. Existen varias fórmulas para calcular los valores HLB para los surfactantes no iónicos. Griffin y colaboradores demostraron el HLB a partir de la composición molecular del surfactante experimentalmente, en donde, que la estabilidad de las emulsiones depende de la fracción de peso de la parte hidrófila de un tensoactivo o la mezcla de tensoactivos.

Griffin propuso calcular el HLB por medio de una ecuación 3 siendo esta empírica, la cual implica la fracción de la parte hidrófila o cualquier valor que sea proporcional a la fracción.

Ecuación 3. Ésteres de ácidos grasos de alcoholes polihídricos

$$HLB = 20\left(1 - \frac{V}{S}\right)$$

Donde V es el índice de saponificación y S es el índice de acidez del ácido graso. Este cálculo se puede estimar a partir de valores previamente calculados de sustancias ya conocidas, tales como, los tween llamados polisorbatos y los span conocidos como ésteres de sorbitán. El índice de saponificación se calcula de acuerdo con la ecuación 4:

Ecuación 4. Ésteres de ácidos grasos de alcoholes polihídricos

$$Formula = \frac{mgKOH}{g De grasa}$$

La ecuación 4 muestra los miligramos de hidróxido de potasio necesarios para saponificar 1 gramos de grasa bajo condiciones específicas.

Para la obtención de la acidez del ácido graso se halla por medio de un método experimental de volumetría; este se desarrolla adicionando a la muestra fenolftaleína y después de un tiempo determinado se mide la acidez de acuerdo con el pH arrojado.

Muchos ésteres de ácidos grasos no dan buenos datos de números de saponificación de tal modo que Griffin adecuo una nueva ecuación para ésteres de resina, aceite de colofonia, ésteres de cera de abeja y ésteres de lanolina, por lo anterior la ecuación 5 describe.

Ecuación 5. Ésteres de ácidos grasos de alcoholes polihídricos

$$HLB = \frac{(E + P)}{5}$$

Dada la ecuación 5, E es el porcentaje de peso de las cadenas oxietilénicas. P, es el porcentaje en peso de contenido de grupos de alcoholes polihídricos, tales como, glicerol u/o sorbitol.

Si el surfactante no iónico solo contiene óxido de etileno como grupo hidrófilo, debe usar la ecuación 6.

Ecuación 6. Productos con solo óxido de etileno

$$HLB = \frac{E}{5}$$

En el anexo A se encuentran los valores de tensoactivos no iónicos previamente calculados de acuerdo con las ecuaciones sugeridas de Griffin.

La solubilidad de los tensoactivos no iónicos en agua tienen un uso habitual como guía para aproximar su equilibrio hidrófilo- lipófilo, siendo esta escala más precisa

para determinar qué aspecto determinado referente al HLB como se observa en la tabla 13.

Tabla 13. Solubilidad en agua y HLB

Solubilidad del agua	Rango HBL
Sin dispersión en agua	1-4
Poca dispersión	4-6
Dispersión media	6-8
Dispersión estable	8-10
Translucido a claro	10-13
Solución clara	13

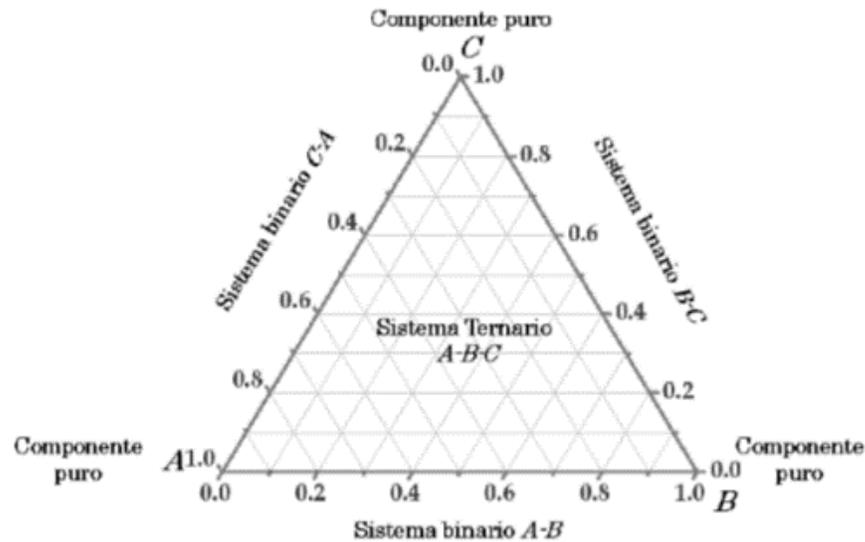
Fuente: PASQUALI, Ricardo C, HELGUERA Gustavo F. "True" Hydrophilic-Lipophilic Balance of Polyoxyethylene Fatty Acid Esters Nonionic Surfactants. journal of dispersion science and technology. Vol. 34. p. 574.

1.8 DIAGRAMA TERNARIO

El diagrama ternario en las emulsiones tiene gran importancia, este representa gráficamente el comportamiento que tiene cada sustancia que lo compone. Caracteriza la propiedad en relación con la composición de tres multicomponentes a temperatura y presión constantes. Este tiene una representación como un triángulo equilátero en donde cada vértice (A, B o C) es un componente puro, contiene una escala que recorre cada uno de los lados que determina la fracción de los componentes del sistema.

1.8.1 Constitución de un diagrama ternario. Los tres vértices indican el cien por ciento (%) de cada componente. En la trayectoria de $A \rightarrow B$, el componente de A disminuye y B aumenta, en la trayectoria de $B \rightarrow C$, el componente de B disminuye y C aumenta y finalmente en la trayectoria de $A \rightarrow C$, el componente de A disminuye y C aumenta.

Ilustración 14. Constitución del diagrama ternario



Fuente de: NOVELO TORRES, Alma Miriam. GRACIA-FADRIQUE, Jesús. Trayectorias en diagramas ternarios. Educación química. Universidad autónoma de México. México. Septiembre 9. vol. 21, no. 4, p. 301

1.8.2 Ecuación. La composición del diagrama ternario esta expresada en moles, masa o volumen de cada componente con la siguiente expresión en la ecuación 7:

Ecuación 7. Composición total para el diagrama ternario

$$X_a + X_b + X_c = 1$$

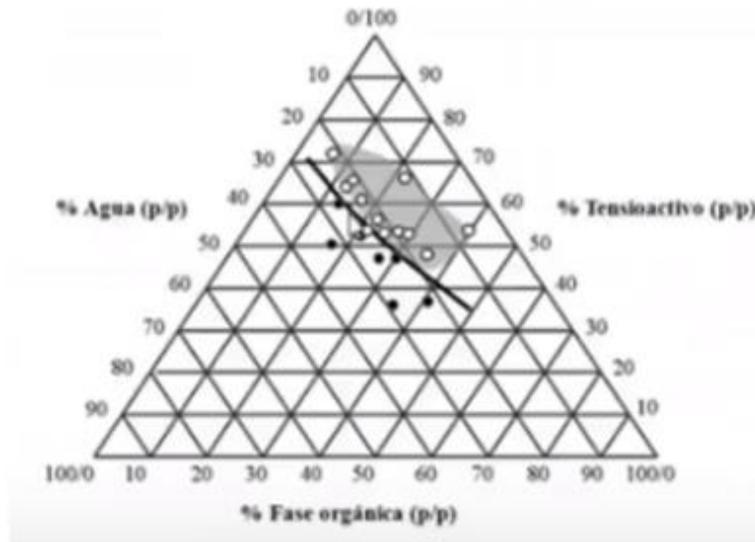
La ecuación 7 representa cualquier punto al interior del diagrama simbolizando la composición global del sistema ternario.

1.8.3 Tipos de trayectoria de diagramas ternarios.

- Trayectoria paralela.
- Trayectoria diagonal.
- Trayectoria perpendicular a la mezcla binaria.
- Trayectoria perpendicular cuando $A > B$.
- Trayectoria perpendicular simétrica $A = B$.

1.8.4 Diagramas ternarios en microemulsiones. Los diagramas ternarios en las microemulsiones son indispensables en el estudio de las estas, permitiendo garantizar información de su comportamiento. En conjunto los límites de las zonas de las fases se pueden obtener mediante la observación directa de las mezclas de composición definida. Por último, las fases obtenidas pueden complementarse con la observación microscópica de la luz polarizada que permite diferenciar las fases anisotrópicas de las isotrópicas.

Ilustración 15. Diagrama de fases pseudoternario de lecitina



Fuente de: Elaboración de microemulsiones. Practica 9. p.6.

En la ilustración 15 los círculos blancos indican que hay una microemulsión estable, los círculos negros evidencian una separación de fase, la línea negra representa el límite de la separación de fase y el área sombrada indica la formación de una microemulsión.

1.8.5 Importancia de los diagramas ternarios. Los diagramas ternarios son de gran importancia para las microemulsiones porque:

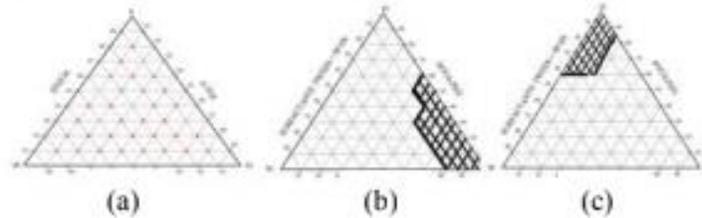
- Dan la constitución mineralógica del producto a cualquier temperatura.
- Informan sobre la temperatura inicial de formación del líquido.
- Reflejan la variación del contenido de líquido y de la composición de este respecto con la temperatura.
- Informan sobre solubilidad química de un componente o fase en otro a diversas temperaturas.
- Dan la proporción en peso de las diferentes fases en equilibrio a cualquier temperatura.

1.8.6 Comportamiento de los tipos de microemulsión Winsor. Shinoda y colaboradores¹⁸ realizaron un estudio sobre los tipos de microemulsiones existentes, en donde a bajas temperaturas se obtuvieron microemulsiones Winsor I, a altas temperaturas en equilibrio se obtuvieron microemulsiones Winsor II y por último a temperaturas intermedias se obtuvieron microemulsiones Winsor III.

¹⁸ MICROEMULSIONES. Inventor(es): DONALD FARNWORTH MICHAEL and ALEXANDER MARTIN. ES2132652TT3. Aug 16.

1.8.7 Diagramas ternarios aplicados en microemulsiones. El centro de investigación aplicada y tecnología avanzada del instituto politécnico nacional, desarrollaron una investigación sobre microemulsiones formadas a partir de aceite de canola (fase continua), agua bidestilada y surfactantes (tween 80 y span 80). La intención de esta investigación fue determinar condiciones y porcentajes de estabilidad para dar inicio al diseño de un diagrama ternario como se observa en la ilustración 16.

Ilustración 16. Esquema DT (a), DT del sistema w/o (b), DT del sistema o/w (c)



Fuente: Villa García, M, Pedroza Islas, R, Rodríguez Gatorno, G y San Martín Martínez, E. Diagramas de fases y estabilización de microemulsiones agua en aceite y aceite en agua. Centro de investigación aplicada y tecnología avanzada del instituto politécnico nacional. México D. F: 2010. p. 28.

1.9 DETERMINACIÓN REOLÓGICA.

En la práctica los fluidos se deben estudiar de acuerdo con el comportamiento que este genera en la deformación causada por el estado en el que se encuentren ya sea gas, líquido u/o sólido. Este comportamiento se entiende como viscosidad siendo la ciencia que estudia las propiedades reológicas de un flujo.

La viscosidad es un criterio importante en la emulsificación, siendo esta variable con gran facilidad, siendo frecuente que la reología varía con las materias primas que componen la microemulsión. Por lo regular el comportamiento reológico de las macroemulsiones y microemulsiones están ligadas a la fase externa o continua del sistema.

1.9.1 Viscosidad. La viscosidad es la propiedad que tiene el fluido ofreciendo resistencia al movimiento relativo en sus moléculas¹⁹. La fricción en un fluido se debe a la pérdida de energía en la viscosidad que está presente. Este puede presentarse como viscosidad dinámica y cinemática en el que describen la conducta del fluido y la magnitud que este presenta en un debido sistema en condiciones del movimiento.

1.9.1.1 Viscosidad dinámica. La viscosidad dinámica es aquella donde un fluido en movimiento desarrolla una tensión de corte, donde la magnitud esta

¹⁹ MOTT, Robert L. Mecánica de fluidos (6a. ed.). Naucalpan de Juárez: Pearson Educación, 2006.

proporcionada por el tipo de fluido. La tensión de corte se denota con la letra griega τ (tao). La viscosidad dinámica puede establecerse con la ecuación 8:

Ecuación 8. Viscosidad dinámica

$$\eta = \tau \left(\frac{\Delta y}{\Delta v} \right)$$

Se define η como la viscosidad dinámica del fluido, $(\Delta y/\Delta v)$, gradiente de velocidad y τ , tensión de corte.

1.9.1.2 Viscosidad cinemática. La viscosidad cinemática implica la viscosidad dinámica de un fluido con la densidad que este mantenga. Para mejor entendimiento se denota con la ecuación 9:

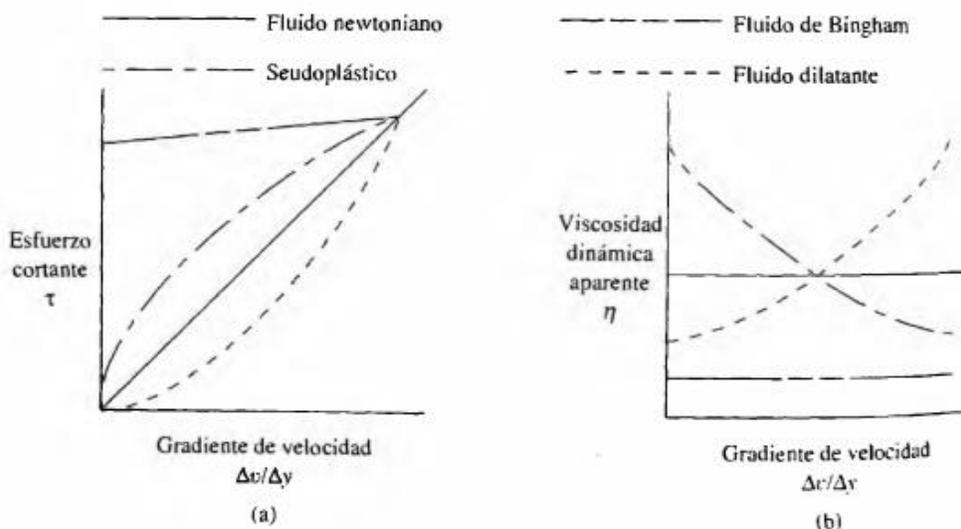
Ecuación 9. Viscosidad cinemática

$$v = \eta/\rho$$

La v define la viscosidad cinemática del fluido, η , viscosidad dinámica y ρ , densidad que contiene el fluido.

1.9.1.3 Fluidos Newtonianos y no Newtonianos. Los fluidos Newtonianos son aquellos que tienen una característica particular señalada como “ideal”, es decir, son fluidos con una proporción de viscosidad continúa los cuales cumplen con la ecuación 8. Esta viscosidad ideal se les atribuye a fluidos tales como agua, aceite, gasolina, alcohol, queroseno y glicerina (fluidos de referencia). Antes bien, un fluido que no tiene el comportamiento respecto a la ecuación de viscosidad dinámica es conocido como un fluido no Newtoniano. En la ilustración 17, se muestra el comportamiento grafico de cada uno:

Ilustración 17. Fluidos Newtonianos y no Newtonianos



Fuente: MOTT, R. Fluidos Newtonianos y no Newtonianos. Universidad de Dayton. Naucalpan de Juárez: 2006. p. 26.

La ilustración 17(a), la pendiente de la curva de la tensión de corte versus el gradiente de velocidad es una medida de la viscosidad aparente del fluido¹⁹. Cuanto mayor sea la pendiente, más grande será la viscosidad aparente¹⁹. Debido a que los fluidos newtonianos tienen una relación lineal entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad, la pendiente es constante y, por tanto, la viscosidad es constante también¹⁹. La pendiente de las curvas para los fluidos no newtonianos varía¹⁹. En la ilustración 17(b) se aprecia cómo cambia la viscosidad con el gradiente de velocidad¹⁹.

Los fluidos no newtonianos presentan una clasificación dependiente del tiempo o independientes de este; los fluidos independientes muestran una viscosidad que no depende del tiempo, a cualquier esfuerzo cortante dado¹⁹. Por otro lado, la viscosidad de los fluidos dependientes del tiempo cambia si oscila este¹⁹.

Los fluidos independientes del tiempo se denominan como seudoplásticos o tixotrópicos, dilatantes y fluidos Bingham. A continuación, se explicará el comportamiento de cada uno de acuerdo con la ilustración 17:

- **Seudoplásticos o tixotrópicos.** La gráfica del esfuerzo cortante versus el gradiente de velocidad queda por arriba de la línea recta (de pendiente constante) de los fluidos newtonianos, como se observa en la ilustración 17¹⁹. La curva comienza con mucha pendiente, lo cual indica una viscosidad aparente elevada¹⁹. Después, la pendiente disminuye con el incremento del gradiente de velocidad¹⁹. Ejemplos de estos fluidos son el plasma sanguíneo, polietileno fundido, látex, almíbares, adhesivos, melazas y tintas¹⁹.

- **Fluidos dilatantes.** La gráfica del esfuerzo cortante versus el gradiente de velocidad queda por debajo de la línea recta para fluidos newtonianos¹⁹. La curva comienza con poca pendiente, lo que indica viscosidad aparente baja¹⁹. Después, la pendiente se incrementa conforme crece el gradiente de velocidad¹⁹. Algunos ejemplos de fluidos dilatantes son los compuestos acuosos con concentraciones altas de sólidos: el almidón de maíz en etilenglicol, almidón en agua y el dióxido de titanio, un ingrediente de las pinturas¹⁹.
- **Fluidos de Bingham.** En ocasiones reciben el nombre de fluidos de inserción, y requieren la aplicación de un nivel significativo de esfuerzo cortante antes de que comience el flujo, como se muestra en la ilustración 17¹⁹. Una vez que el flujo se inicia, la pendiente de la curva es lineal, en esencia, lo que indica una viscosidad aparente constante¹⁹. Algunos ejemplos de fluidos de Bingham son el chocolate, salsa cátsup, mostaza, mayonesa, pasta de dientes, pintura, asfalto, ciertas grasas y suspensiones de agua y ceniza o fango del drenaje¹⁹.

1.9.2 Fracción de volumen. La fracción de volumen de la fase dispersa es bastante efectiva en el cambio de viscosidad de una microemulsión debido a que aumenta un fragmento de volumen. A continuación, en la ecuación 10, Einstein²⁰ demuestra que al tener un aumento en la viscosidad es directamente proporcional con la fracción de volumen a bajas concentraciones de gólicas de la fase continua.

Ecuación 10. Fórmula de Einstein

$$\eta = \eta_o(1 + 2.5\phi)$$

Sin embargo, en contexto con la ecuación 11, el cambio se muestra con un aumento de concentraciones siendo estas más altas.

Ecuación 11. Fórmula Einstein modificada

$$\frac{\eta}{\eta_o} = \left(1 - \frac{\phi}{\phi_c}\right)^{-[\eta]\phi_c}$$

Donde ϕ_c , Fracción de volumen (Valor que se ajusta). $[\eta]$, Viscosidad intrínseca.

Las gotas al disponerse tan juntas no pueden fluir con gran facilidad sobre la superficie del exceso del resto de gotas por que la fracción de volumen en fase dispersa se torna crítica en las emulsiones. Es por lo que las microemulsiones al ser estables permiten un movimiento fluido respecto a todos sus compuestos que la forman. La razón principal detrás de la viscosidad está unida a la fracción de volumen en interacción coloidal entre gotas.

²⁰Joe L. Kincheloe; Shirley R. Steinberg and Deborah J. Tippins. Chapter two: Einstein the Student, Einstein the Teacher. En: COUNTERPOINTS. Jan 1, vol. 111, p. 27-47

1.9.3 Reología de fase. Describe como la viscosidad varía dependiendo de la concentración proporcional a la fracción de volumen, es por lo que la propiedad reológica de una fase continua causa gran incidencia sobre la presencia de un agente espesante en la fase acuosa de una emulsión de aceite- agua o la presencia de una red cristalina graso en fase oleosa de una emulsión de agua en aceite. Principalmente las propiedades del sistema afectado por la reología de fase dispersa cubren en su totalidad las gotas y por ello su comportamiento se asemeja al de una esfera rígida.

Para medir el cizallamiento interfacial y el cizallamiento de superficie, se desarrollaron numerosos métodos experimentales. Las dos relaciones analógicas usadas para la caracterización reológica son de materiales a granel donde se consideran coordenadas bidimensionales para una interfaz ya que es infinitesimalmente delgada en comparación con su circunferencia. Uno de los métodos más comunes usados es el de una versión análoga de la técnica de cilindro rotacional empleado para medir propiedades de torque del componente. En este método se coloca la muestra en un recipiente a temperatura ambiente el cual contiene un disco delgado en la interfaz separando las dos fases. Enseguida, se gira el recipiente midiendo el torque en el disco. La medición del torque varía dependiendo de la muestra siendo esta líquida o viscoelástica. El disco al tener un giro continuo mide interfaces similares a las de un líquido. En las interfaces viscoelásticas, el módulo de cizalladura se determina midiendo el momento de torsión mientras se hace que el busque y oscile hacia atrás y hacia adelante a una frecuencia y ángulo específico.

1.9.4 Tamaño de gota. Uno de los problemas que enfrentan las emulsiones es acerca de la incorporación de gotitas, estas normalmente conducen a un aumento en la viscosidad haciendo que la emulsión se torne cremosa de manera rápida. La alteración del tamaño de la gota y la distribución de esta afectan de manera reológica la proporción en la interacción entre la fracción volumétrica de la fase dispersa. Sin embargo, para emulsiones diluidas el tamaño de gota no tiene ningún efecto sobre la viscosidad, sólo existe una interacción de atracción y repulsión a larga distancia entre estas.

El tamaño de gota juega un papel importante en la coagulación de estas mismas, un ejemplo se sitúa por concentraciones altas de gota causando la formación de tamaños grandes y por lo tanto un cambio en la reología. La reología se ve afectada por el tamaño medio de gota y el grado de polidispersidad. El grado de polidispersidad se define como la amplitud en la distribución de masa molecular en un polímero específico. Cuando las gotas están en una concentración de tamaño no uniforme o polidispersas, tienen la capacidad de empacarse de manera eficiente. Por lo tanto, la viscosidad se torna pequeña en comparación con una fase monodispersa incluso teniendo el mismo volumen de gotitas. En tamaños de gota pequeño, la formación de una red de gel tridimensional en una fracción de volumen

menor toma una composición distinta, a menos que la gota en su estructura tenga un comportamiento floculado.

1.9.5 Interacciones coloidales. El principal desafío para determinar el comportamiento reológico está dado por la naturaleza entre las interacciones entre las gotitas. Los sistemas de coloides son sistemas de dispersión que generalmente tiene dos componentes, pareciendo de vez en cuando físicamente uniformes, pero en realidad su comportamiento se presenta dispersos molecularmente.

Los coloides heterogéneos alcanzan un grado de heterogeneidad no constante en condiciones de procesamiento y almacenamiento. Las partículas cuando la concentración es alta aumenta la posibilidad de que exista cualquier iteración entre flóculos. Estas interacciones pueden ser hidrodinámicas, coloidales o masivas.

Cuando las interacciones entre gotitas son lo suficientemente atractivas, la fracción de volumen en la fase dispersa aumenta debido a la presencia de gotas floculadas, dando como resultado un aumento en la viscosidad.

1.10 TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN

Las técnicas de caracterización en las sustancias son de gran importancia, debido a que determinan la estructura y el comportamiento en el medio donde estas se encuentren. Las macromoléculas y las micromoléculas tienen unas características particulares y su conocimiento ha venido evolucionando gracias a estudios realizados a lo largo del tiempo. En este numeral se expondrán las técnicas de caracterización más comunes que determinan principalmente sus cualidades.

El análisis de tamaño de partícula se puede llevar a cabo mediante diferentes técnicas tales como, difracción de rayos x, espectroscopia de correlación de fotones, espectroscopia ultrasónica y dispersión de luz dinámica. Estas técnicas analíticas permiten la observación de la morfología a nano escala de diferentes estructuras en cualquier sustancia dispersa. La dispersión de luz dinámica es la técnica más usada en el mundo, las aplicaciones van desde la caracterización de coloides, nanopartículas de alta concentración hasta la medición de proteínas y macromoléculas en estado natural²¹.

1.10.1 Técnicas de dispersión. Las técnicas de dispersión de rayos X, neutrones y luz se han utilizado para obtener información cuantitativa sobre el tamaño, forma y morfología de las microemulsiones. El principio básico de estas técnicas consiste en aplicar un haz de radiación incidente en la muestra, registrando la intensidad y el ángulo del haz disperso. La dispersión surge de la interacción de la radiación con regiones de diferentes índices de refracción (dispersión de la luz), densidad de

²¹ MARVEL PANALYTICAL. Tomado de: https://www.malvernpanalytical.com/en/assets/MRK2351-01_Zetasizer_Brochure_LRA4_tcm50-56369.pdf

electrones (dispersión de rayos X) o composición nuclear (dispersión de neutrones). En la técnica de dispersión de rayos X (SAXS), el perfil de dispersión registrado en los ángulos bajos se ajusta a modelos adecuados para extraer información sobre la forma, el tamaño y la nanoestructura de los elementos de dispersión encontrados en las microemulsiones.

1.10.1.1 Dispersión de luz dinámica. La dispersión de luz dinámica es una técnica no invasiva, la cual viene establecida para medir tamaños de partícula y distribución de las moléculas. Esta técnica tiene un régimen submicrométrico el cual actualmente por la tecnología permite medir tamaños de partícula inferiores a 1 nm²¹. Se caracteriza principalmente por determinar partículas de polímeros, proteínas y soluciones coloidales. Tiene aplicaciones típicamente en la caracterización de partículas en emulsiones o soluciones dispersas o soluciones en un líquido²².

1.10.1.2 Dispersión de luz electroforética. La dispersión de luz electroforética es una técnica que sirve para medir la movilidad de las moléculas en dispersión o moléculas en solución. Esta técnica es regida por un principio físico que lleva como nombre electroforesis. Esta técnica generalmente es usada para la hallar el potencial zeta. El potencial zeta describe el campo eléctrico que expone la muestra.

1.10.1.3 Dispersión de luz estática. La dispersión de luz estática es una técnica que sirve para realizar mediciones de peso molecular de sistemas en solución. Esta técnica se hace mediante la relación entre la intensidad de la luz dispersada por una molécula, su peso molecular o el tamaño de partícula²¹. Esta técnica se rige por un principio físico traído por Rayleigh²³, el cual explica que las moléculas más grandes dispersan más luz que las moléculas más pequeñas a partir de una fuente de luz dada, y que la intensidad de luz dispersada es proporcional al peso molecular de la misma sustancia²⁴.

²² MARVEL PANALYTICAL. Tomado de: https://www.malvernpanalytical.com/en/assets/MRK2351-01_Zetasizer_Brochure_LRA4_tcm50-56369.pdf

²³ OXFORD DICTIONARY OF NATIONAL BIOGRAPHY. Tomado de: <http://www.oxforddnb.com/view/10.1093/ref:odnb/9780198614128.001.0001/odnb-9780198614128-e-36359>

²⁴ THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 1904. Tomado de: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1904/summary/>

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La industria y el ingeniero químico están en constante cambio, y conforme a esto la necesidad de búsqueda de nuevos productos permite generar un cambio autosostenible, pensando en el cuidado del medio ambiente. Hoy en día esta búsqueda permite ser un foco de investigación. La selección de la estrategia más conveniente para el diseño y desarrollo de un producto permite elegir la variable más conveniente.

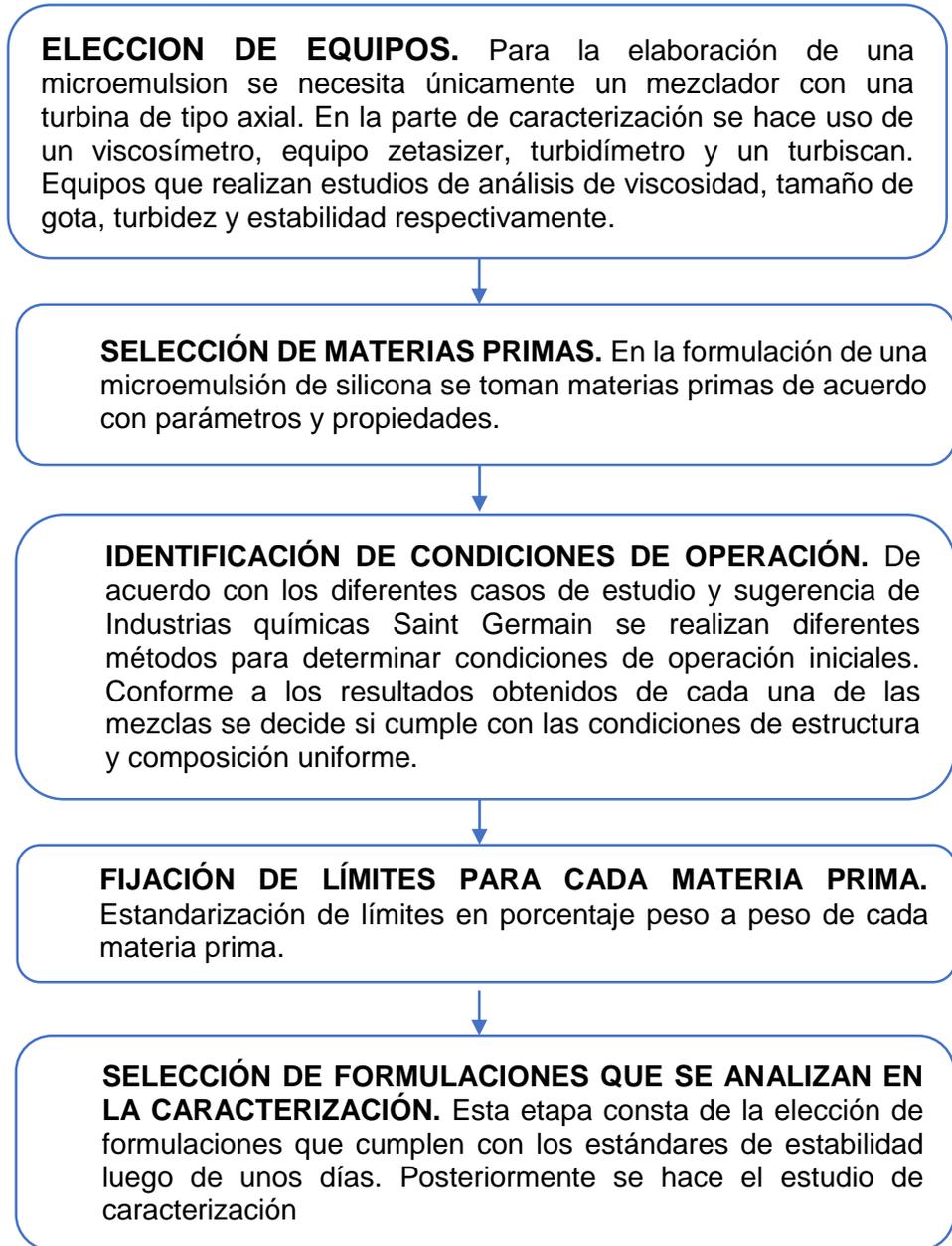
- El desarrollo experimental se basa únicamente en la mezcla de tres componentes adecuadamente. Cabe resaltar que este procedimiento no va a tener reacciones químicas, manteniendo cada uno de sus componentes su identidad y propiedad química.
- La elección del equipo para preparar la microemulsión de silicona se hace en base a un estudio realizado que lleva como nombre, Microemulsiones de aceite de silicona de tamaño uniforme: preparación, investigación de la estabilidad y deposición en la superficie del cabello, elaborado por Habiba, Nazir y colaboradores. Los autores describen que la formación de una microemulsión de silicona en teoría depende del agitador; el agitador debe ser tipo turbina axial, que ayuda reducir el tamaño de gota sin destruir el equilibrio termodinámico.
- La temperatura para la elaboración de la formulación se hace a 14°C, donde esta variable no afecta la formación del sistema.

A continuación, se enseñan los pasos a seguir en el desarrollo de este proyecto; Primero, con el objetivo de establecer parámetros de operación (tiempo y velocidad de agitación) se realiza una pre- experimentación. Luego de establecidos los parámetros operativos se inicia la experimentación para evaluar factibles formulaciones con el fin de seleccionar la mejor e iniciar el análisis de caracterización.

2.1. ORGANIZACIÓN EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de la formulación de una microemulsión de silicona, se lleva a cabo una serie de pasos para su formación. La Figura 1 muestra los pasos a seguir:

Figura 1. Organización experimental



Fuente: Elaborada por los autores.

2.2. EQUIPOS

2.2.1. Balanza analítica PIONEER- OHAUS. Para el pesaje de las materias primas se utilizará una balanza analítica de precisión con un pesaje básico, ver figura 2. Tomándose pesos de 100 y 300 gramos en cantidades totales.

Figura 2. Balanza analítica PIONEER- OHAUS



2.2.2. Agitador RW 20 digital- IKA. Este equipo se empleará en la parte de homogenización de las materias primas en la formulación de la microemulsión de silicona; se agitará con una turbina tipo axial una cantidad de 100 y 300 ml de muestra a una velocidad de 500, 800 y 1100 rpm, ver figura 3.

Figura 3. Agitador RW 20 digital- IKA



2.2.3. Viscosímetro Brookfield. Este equipo se empleará con el fin de caracterizar las propiedades del fluido si su comportamiento es newtoniano o no newtoniano. Se introduce la aguja escogida de acuerdo con la consistencia de la muestra. La operación del equipo se hace a temperatura ambiente (14°C). La aguja se escoge por medio experimental, ver figura 4.

Figura 4. Viscosímetro Brookfield BYK



2.2.4. Zetasizer nano. Este equipo permite realizar pruebas mediante dispersión de luz dinámica y electroforética del tamaño de partícula. El proceso de operación para realizar la caracterización de tamaño de partícula se inicia colocando en celdas desechables la muestra a la que se va a realizar el estudio. La celda luego de llenada se sitúa en el equipo bajo condiciones de operación requeridas con el tapón puesto y la tapa cerrada²⁵, ver figura 5.

Figura 5. Zetasizer Nano ZS



²⁵ MARVEL PANALYTICAL. Tomado de: https://www.malvernpanalytical.com/en/assets/MRK2351-01_Zetasizer_Brochure_LRA4_tcm50-56369.pdf

2.2.5. Turbidímetro LaMotte 2020 we. La prueba de turbidez se ejecuta en un equipo llamado Turbidímetro LaMotte 2020 we, donde este cumple con los estándares de turbidez en la norma ISO. El funcionamiento comienza con asegurar que el equipo este calibrado en el rango más pequeño posible, seleccionando las normas que abarquen el rango de la muestra. Luego de haber colocado en el equipo un blanco referente este se retira, seguidamente se incorpora en el equipo una muestra ya calculada con un rango de 1 y 10 NTU con el fin de ajustar la calibración²⁶, ver figura 6.

Figura 6. Turbidímetro LaMotte 2020 we

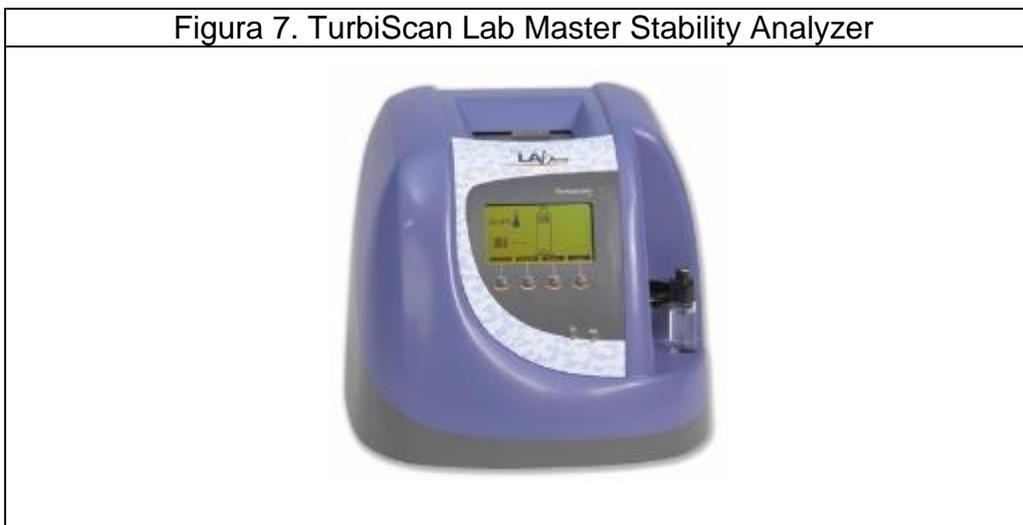


2.2.6. TurbiScan Lab Master Stability Analyzer. Este equipo analiza y mide la estabilidad de sistemas dispersos siendo un instrumento óptico de dispersión líquida. El mecanismo de operación consta de tomar la muestra y colocarla en el equipo en un recipiente que contiene el instrumento. El equipo examina varias veces la altura de 40 μm aproximadamente del recipiente donde está contenida la muestra, teniendo en cuenta que cada escaneo que realiza mide dos señales la transmitida IR (T) y la retrodispersión (BS). Una vez efectuado este proceso los perfiles de estas señales reflejan cambios en el tamaño promedio y la concentración de gotas. ²⁷, ver figura 7.

²⁶ EQUIPAMIENTO CIENTÍFICO. Tomado de: <http://equipamientocientifico.com/home/1663-turbidimetro-portatil-marca-lamotte-modelo-2020we.html>

²⁷ TURBISCAN LAB. Tomado de: https://www.sci-tec-inc.com/TurbiScan%20Lab.html?reload_coolmenus

Figura 7. TurbiScan Lab Master Stability Analyzer



2.3. MATERIAS PRIMAS

La obtención de una microemulsión se basa en tres principales componentes formadores compuestos por agua, agente tensoactivo y silicona como agente oleoso. Estos tres componentes deben cumplir con una serie propiedades y parámetros, de tal manera que su funcionamiento de estabilidad requerida desempeñe un trabajo apropiado, debido a que de este depende que la microemulsión se forme y cumpla con los principios básicos (... véase numeral 1.6 ...) de emulsificación.

2.3.1. Silicona. En la selección de la silicona como agente oleoso se hizo conforme a revisión detallada de las propiedades que debe cumplir para el medio a tratar en síntesis con la emulsificación; en el mercado existen varios tipos de siliconas trabajadas y popularizadas para diferentes aplicaciones conforme al desempeño y trabajo que se le quiere incorporar. Las siliconas seleccionadas para este documento se establecieron principalmente por uso exclusivo de la empresa según la regulación expuesta por la FDA, donde es aprobada como segura por sus propiedades, y en sumatoria se escogieron según el mercado colombiano por fácil adquisición, desempeño en el sistema y costo promedio, en la tabla 14 se expone la matriz de decisión elaborada para cada silicona seleccionada conforme a sus cualidades y características. En la tabla 15 se muestra los tipos de silicona utilizadas para la emulsificación del desarrollo experimental debido a fácil acceso en el mercado colombiano gracias a su costo promedio.

Tabla 14. Matriz de selección para siliconas

	A	B	C	D	E	TOTAL
PDMX	0%	100%	100%	100%	100%	400
Silicona Industrial	50%	0%	0%	0%	0%	150

Fuente: Elaborada por los autores.

La matriz anterior esta evaluada bajo los siguientes parámetros de validez:

- A: Costo unitario, 100% Alto
50% Medio
0% Bajo
- B: Viscosidad, 100% Muy viscoso
50% Medianamente viscoso
0% Poco viscoso
- C: Tamaño de partícula, 100% Grande
50% Mediano
0% Pequeño
- D: Turbidez, 100% Alta
50% Media
0% Baja
- E: Toxicidad, 100% Alta
50% Media
0% Baja

La matriz anterior realizada para la selección de la silicona describe de la mejor manera las características de los insumos a utilizar.

La cantidad de silicona se tomará de acuerdo con la formulación dada para cada experimentación, esta cantidad varia con cada procedimiento realizado;

Tabla 15. Tipos de siliconas usadas para emulsificación.

TIPOS DE SILICONAS.	
PDMX	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Alta lubricación • Efecto suavizante • Facilidad de uso 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada viscosidad • Tamaño de partícula mayor
Silicona Industrial	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baja viscosidad ▪ Tamaño de partícula menor ▪ Facilidad de uso 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costo alto de producción por lotes

Fuente: Elaborada por los autores.

2.3.2. Tensoactivo. Para la selección del tensoactivo es importante saber la influencia de cada uno de los componentes que pueden ser solubles tanto en agua como en silicona. Es importante conocer el medio químico en el que se va a ver expuesto el tensoactivo, de esta manera si el sistema es un medio alcalino un agente catiónico no sería el más adecuado. Desde luego, el pH juega un papel importante si la microemulsión presenta un bajo potencial de hidrogeno y si la concentración de

electrolitos es elevada en la solución, en este caso la mejor opción es un agente no iónico; en la tabla 16 se expone la matriz de decisión elaborada para cada silicona seleccionada conforme a sus cualidades y características. En la tabla 17 se describe las ventajas y desventajas del uso de un tensoactivo no iónico.

Tabla 16. Matriz de selección para tensoactivos

	A	B	C	D	TOTAL
NF	0%	100%	0%	0%	100
F80	50%	50%	0%	100%	200
F50	50%	50%	100%	100%	300
X070	50%	100%	0%	100%	250
E0il	50%	100%	0%	0%	150
TWN 80	50%	100%	0%	0%	150

Fuente: Elaborada por los autores.

La matriz anterior esta evaluada bajo los siguientes parámetros de validez:

- A: Costo unitario, 100% Alto
50% Medio
0% Bajo
- B: Viscosidad, 100% Muy viscoso
50% Medianamente viscoso
0% Poco viscoso
- C: Moles de etoxilación, 100% Cumple
0% No cumple
- D: Turbidez, 100% Alta
50% Media
0% Baja

El desarrollo de la matriz de selección de los agentes tensoactivos da una visión de cada una de las características del comportamiento de cada componente, sin embargo, en el desarrollo experimental se evaluará.

Tabla 17. Agentes no iónicos ventajas y desventajas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Alta compatibilidad con las fases oleosa y acuosa • Dan lugar a sistemas bastante estables • Gran variedad en la escala HLB 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Disposición en el mercado

Fuente: Elaborada por los autores

De acuerdo con las generalidades de los agentes tensoactivos (... véase numeral 1.5 ...) se seleccionó en conjunto con la empresa que el agente tensoactivo que cumple con los requisitos y las características apropiadas para la obtención de una microemulsión de silicona debe obedecer al carácter no iónico, puesto que este cumple con las propiedades requeridas de HLB para la formación de las fase acuosa y oleosa. A continuación, se presentarán los tipos de agentes tensoactivos no iónicos que servirían para el desarrollo experimental. La tabla 18 da información sobre las principales materias primas a usar y el proveedor conforme a la disposición en Colombia tanto como la probabilidad económica de adquisición.

Conforme a lo anterior los tensoactivos seleccionados por disponibilidad se ponderan entre una escala de HLB de 8 a 15, de tal manera que la formación de la microemulsión bajo estos parámetros es de tipo O/W (... véase numeral 1.5.4.2 ...).

Tabla 18. Materias primas seleccionadas por disposición en Colombia.

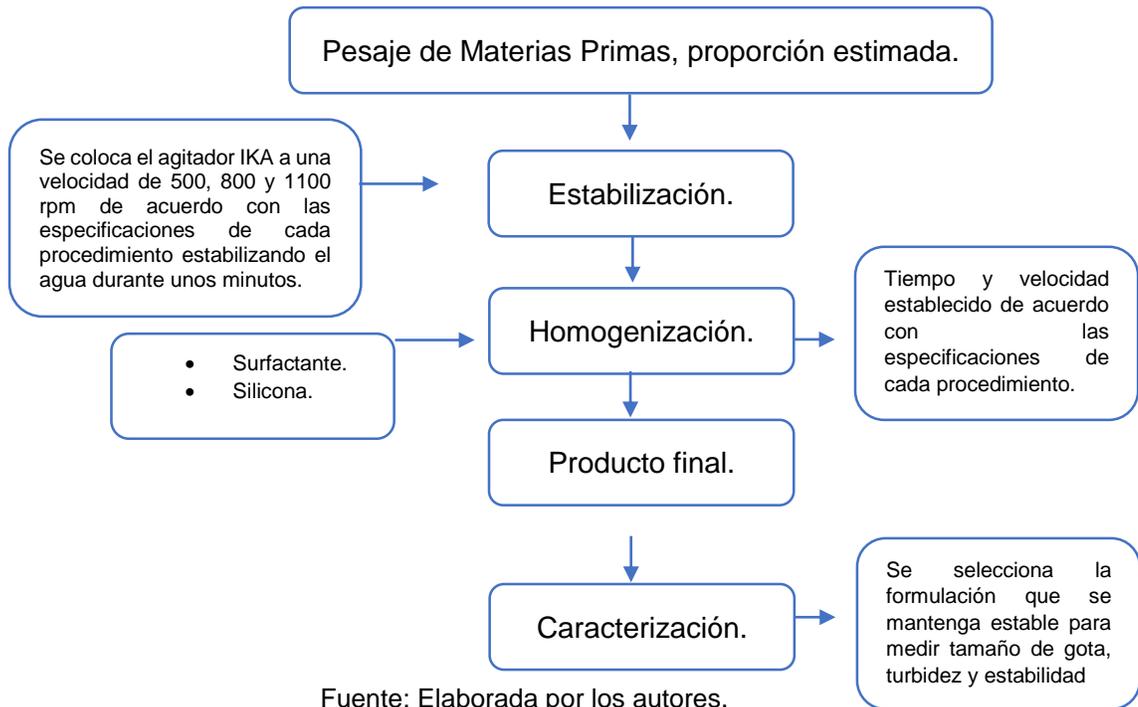
Materia prima	Función	HLB	Proveedor
PDMX (Polidimetilxiloxano)	Fase oleosa	----	Saint Germain
Silicona industrial	Fase oleosa	----	Ciacomeq
Nonil fenol 10 M	Surfactante 1	13	Q. A
Surfactante F 80	Surfactante 2	14	Q. A
Surfactante F 50	Surfactante 3	11.5	Q. A
Surfactante X070	Surfactante 4	12.8	Q. A
Surfactante Eoil	Surfactante 5	8	Q. A
Tween 80	Surfactante 6	15	Q. A
Agua	Fase acuosa	----	Saint Germain

Fuente: Elaborada por los autores.

2.4. METODOLOGÍA DE EMULSIFICACIÓN

Para dar inicio con la emulsificación se deben tener en cuenta los siguientes pasos descritos en la figura 7.

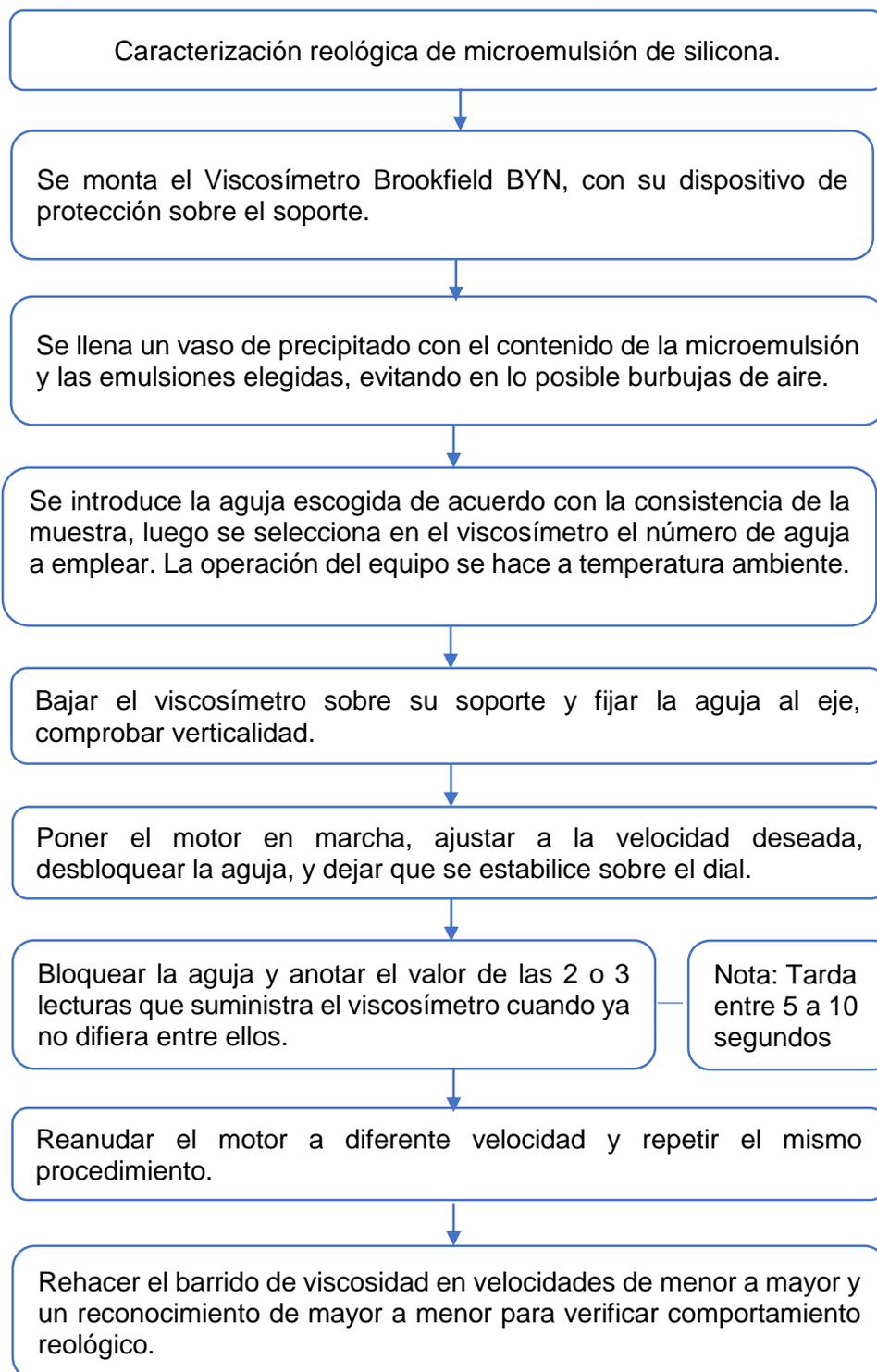
Figura 7. Pasos para desarrollo de emulsificación



2.5. METODOLOGÍA DE REOLOGÍA

Luego de hacer la preparación de la emulsión y microemulsión de silicona se evalúa el comportamiento reológico, las condiciones de operación están dadas con una temperatura de Bogotá cerca de las 8 de la mañana; el volumen esta dado para la cantidad total de 100 y 300 ml; en la figura 8 se enseña la metodología del paso a seguir en el proceso.

Figura 8. Pasos para caracterización reológica.

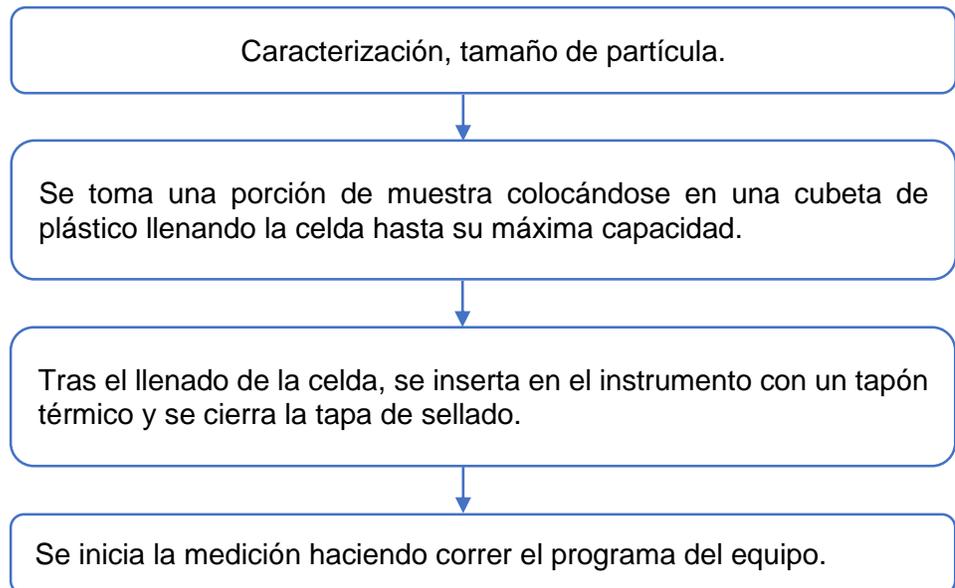


Fuente: Viscometer lab stand: Brookfield Engineering. Adhesives & sealants industry. vol. 14. p. 58

2.6. METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN

2.6.1. Tamaño de partícula. Posteriormente de hacer el reconocimiento reológico de la microemulsión, se inicia la técnica de análisis del tamaño de partícula. En la figura 9 se muestra el procedimiento a implementar:

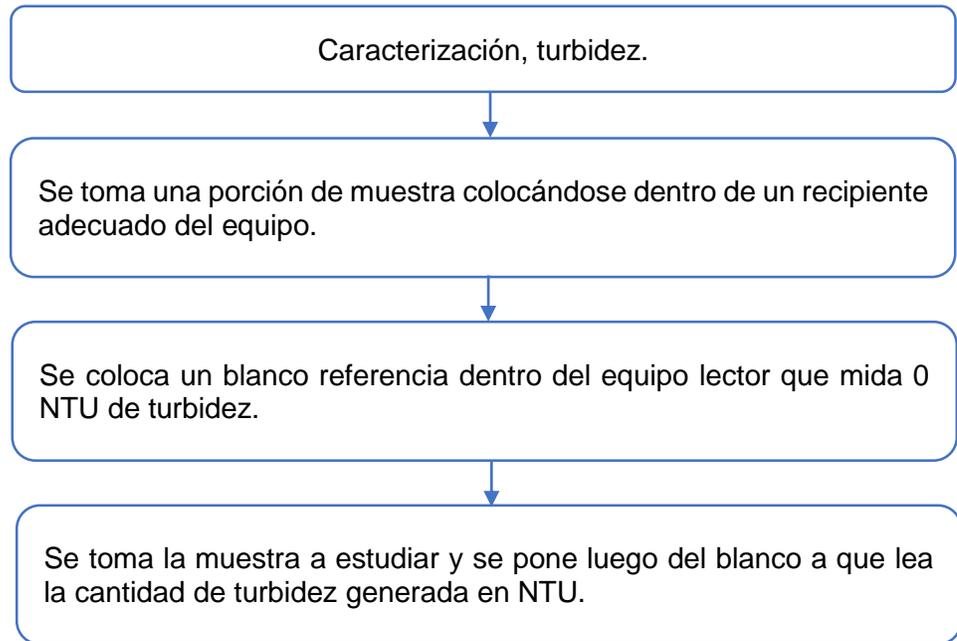
Figura 9. Técnica de caracterización de partícula



Fuente: Zetasizer Nano Series, et al. Zetasizer Nano Series Zetasizer Nano Series User Manual User Manual.

2.6.2. Turbidez. El análisis de turbidez se enseña en la descripción a continuación en la figura 10:

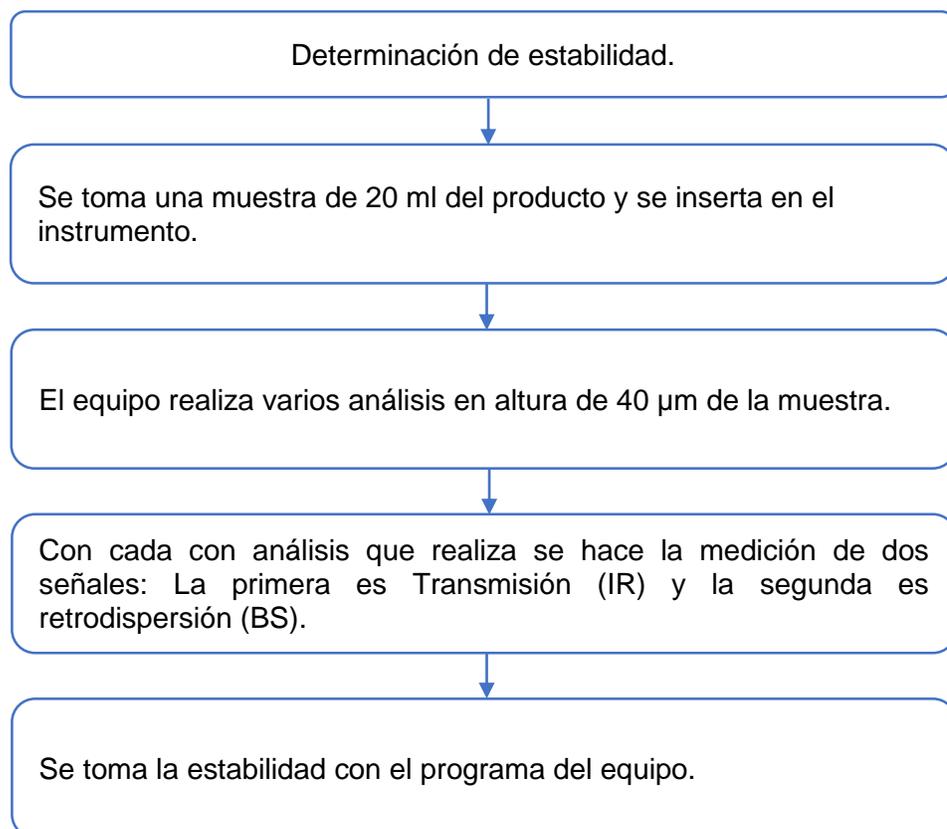
Figura 10. Técnica de caracterización de turbidez



Fuente: turbidimeter. 2 ed. Oxford University Press, 2006

2.6.3. Estabilidad. El análisis de estabilidad se enseña en la siguiente descripción, figura 11:

Figura 11. Técnica de caracterización de estabilidad



Fuente: OSTROW, Rona. specifications. 2 ed. Bloomsbury Publishing (US), 2009.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Con el objetivo de establecer parámetros de operación de acuerdo con el tiempo requerido y velocidad de agitación, se ejecuta una pre- experimentación teniendo en cuenta que existen una relación entre el volumen de la fase ligera a pesada por arriba de la cual se dispersara la fase más ligera²⁸. Seguidamente estas condiciones iniciales presentan modificación respecto a los resultados obtenidos en la elaboración de cada una de las formulaciones.

En primera instancia para iniciar un análisis experimental se utiliza Nonil fenol (tensoactivo) para disminuir las tensiones limitantes en la interfaz del sistema entre las fases agua- silicona, ya que el agente tensoactivo mantiene un HLB de 13 y al alterar la energía de superficie con la cual entra en contacto puede obtenerse fácilmente una emulsificación³⁰. Por esta razón se realiza una secuencia, la primera se mezcla agua y tensoactivo para luego adicionarle el otro componente, en este caso la silicona.

Según parámetros propuestos por Industrias Químicas Saint Germain, se seleccionan los parámetros para la pre- experimentación conforme a la tesis de investigación, preparación de una microemulsión de silicona (con cotensoactivo) elaborada por Stavroudis, Chris y Wolbers, Richard, realizada para un programa de conservadores de limpieza en tratamiento de pinturas. Las materias primas seleccionadas se van a usar en la misma proporción para el desarrollo de formulación del actual proyecto.

En la tabla 19 se presentan los limites superior e inferior en porcentajes peso a peso de cada uno de los componentes que intervienen en la formulación de una microemulsión de silicona de acuerdo con literatura de los rangos que intervienen para la obtención de esta²⁹.

Tabla 19. Limites en % peso a peso de materias primas

Materia prima	Limites (%p/p)	
	Inferior	Superior
Fase oleosa	1	25
Tensoactivo	5	65
Fase acuosa	45	90

Fuente: Elaborado por autores.

En cada una de las formulaciones la cantidad de fase oleosa no debe ser inferior ni superior el rango entre 1% y 25% respectivamente, de igual manera el tensoactivo

²⁸ J. B. Wilkinson. R. J. Moore. Cosmetología de Harry. Madrid. Ediciones Díaz de Santos. 1990.

²⁹ PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE FORMAS FARMACÉUTICAS. Tomado de: https://www.sefh.es/pn/procedimientos_elaboraci%C3%B3n/PN_emulsiones.pdf

empleado estará dentro del rango de 5% a 65% estimado por literatura. La cantidad de agua proporcionada en cada experimentación debe completar el aforo del 100%.

- **PDMX como fase oleosa y Nonil fenol como agente tensoactivo.** La formulación por desarrollar con PDMX como fase oleosa se hará respecto a los límites expuestos en la tabla 19, se tomarán rangos de tal manera que se les haga un cambio gradualmente para determinar si existe alguna alteración entre fases o estas permanezcan estables de acuerdo con su grado de etoxilación, el cual se encuentra relacionado con el número de moles que contiene la molécula (... véase numeral 1.5.4.1.1 ...).

En esta parte se considera establecer parámetros de operación para identificar velocidad y tiempo de emulsificación efectiva, esto se hace con el fin de determinar condiciones de operación variables o constantes que se deben tener en cuenta en el desarrollo de un producto. Los principios correspondientes a la estabilidad se pueden obtener por observación directa, por lo que puede presentarse según los resultados coalescencia o en determinado caso floculación (... véase numeral 1.6.1 ...).

3.1. Procedimiento No 1. Para el procedimiento 1 se llevará a cabo la experimentación con el proceso descrito en la figura 7, con un tiempo estimado de 15 minutos y una velocidad de agitación de 500 RPM en la tabla 20 se muestran los porcentajes empleados.

Tabla 20. Porcentajes de formulación con PDMX, procedimiento No. 1

No.		Agua	Nonil Fenol	PDMX
1	%pp	80	5	15
	ml	240	15	45
	g	240	15.09	45.01
2	%pp	85	10	5
	ml	255	30	15
	g	255	30.05	15.02
3	%pp	90	5	5
	ml	270	15	15
	g	270	15.04	15.01
4	%pp	80	10	10
	ml	240	30	30
	g	240	30.03	30.09
5	%pp	80	15	5
	ml	240	45	15

Tabla 20. (continuación) agua, nonil fenol y PDMX

6	g	240	45.09	15.04
	%pp	80	19	1
	ml	240	57	3
	g	240	57.08	2.99

Figura 12. Resultados obtenidos, procedimiento No.1

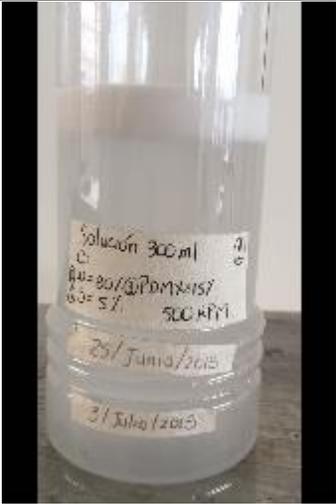
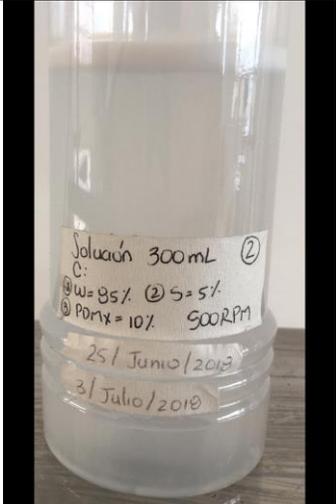
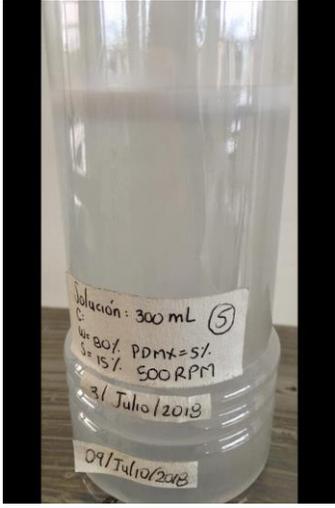
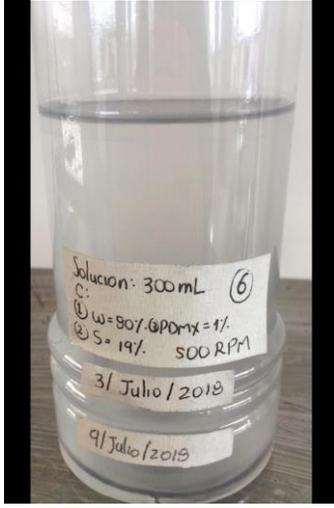
No.		Temperatura de preparación: 14°C	
Fecha de preparación: 25/06/2018		Fecha de observación: 03/07/2018	
1.		2.	
3.		4.	

Figura 12. (continuación) No de experimento y temperatura de preparación.

5.		6.	
<p>Observaciones y resultados. Teniendo en cuenta la experimentación se puede percibir que la muestra No. 6 mantiene estabilidad media; sin embargo, al cabo de unos días se ve afectada y presenta separación entre sus fases. Se establece que no cumple con las condiciones ideales en totalidad. En efecto, se determina hacer un cambio en la proporción de concentración y conforme a está realizar replicas con diferentes velocidades de tal modo que verifique si el cambio de rapidez en el rompimiento de gota causa algún efecto.</p>			

3.2. Procedimiento No 2. Teniendo como base la experimentación anterior se decide realizar una nueva prueba con velocidades de agitación entre 500, 800 y 1100 rpm y un tiempo estimado de 15 minutos como se muestra en la figura 7, para determinar si este cambio afecta en el comportamiento y estabilidad de las mezclas; en la tabla 21 se describen los porcentajes a utilizar.

Tabla 21. Porcentajes de formulación con PDMX, procedimiento No. 2

No.		Agua	Nonil Fenol	PDMX
7.1-7.2- 7.3	%pp	70	20	10
	ml	210	60	30
	g	210.05	59.9	29.98
8.1-8.2- 8.3	%pp	60	30	10
	ml	180	90	30
	g	180.08	89.97	30.03
	%pp	50	30	20

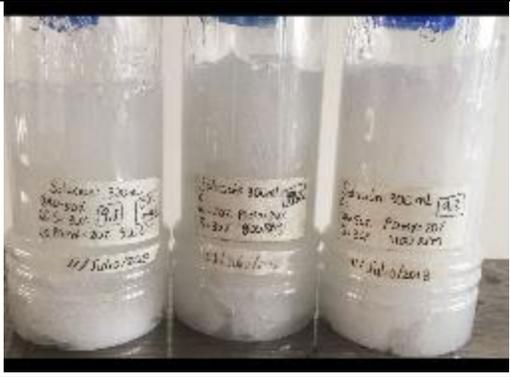
Tabla 21. (continuación) agua, nonil Fenol y PDMX

	ml	150	90	60
	g	149.96	90.01	60.03
10.1-10.2-10.3	%pp	50	25	25
	ml	150	75	75
	g	149.90	75	75.08

Figura 13. Resultados obtenidos, procedimiento No.2

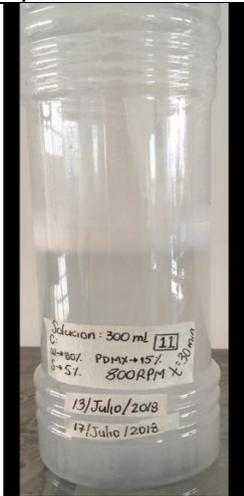
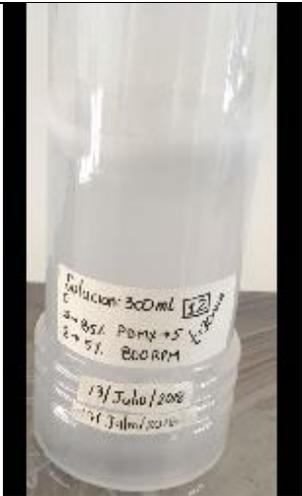
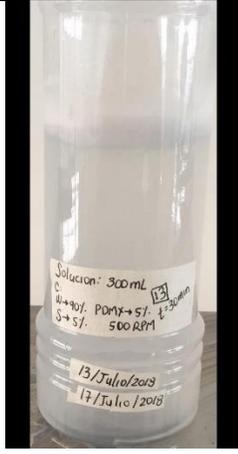
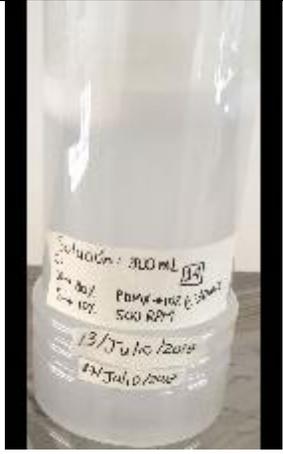
No.	Temperatura de preparación: 14°C
Fecha de preparación: 09/07/2018	Fecha de observación: 11/07/2018
7.1- 7.2- 7.3	
8.1- 8.2- 8.3	

Figura 13. (continuación) No. de experimento y temperatura

	
<p>10.1- 10.2- 10.3</p>	
<p>Observaciones y resultados. En la experimentación realizada se observan los resultados obtenidos lo cual identifica que la formulación 9 con sus respectivas replicas no presenta separación, sin embargo, no cumple con las características reológicas de micro ni macroemulsión; la experimentación 10 alcanza una gelificación consistente en su formación.</p>	

3.3. Procedimiento No 3. Para el desarrollo de esta experimentación se implementan mismas composiciones de las primeras cuatro de la tabla 20, con una velocidad promedio de agitación de 800 RPM y un aumento en el tiempo de homogenización de 30 minutos acompañado con el diagrama expuesto en la figura 7.

Figura 14. Resultados obtenidos, procedimiento No.3

No.		Temperatura de preparación: 14°C	
Fecha de preparación: 13/07/2018		Fecha de observación: 17/07/2018	
11.		12.	
13.		14.	
<p>Observaciones y resultados. Se corrobora que la experimentación No. 3 presenta de igual manera separación entre sus fases, permitiendo establecer que la formulación no es la más conveniente para la preparación de una macro y microemulsión. Se decide en el procedimiento No. 4 disminuir la proporción de silicona y tensoactivo de tal manera que permita identificar si existe estabilidad o no.</p>			

3.4. Procedimiento No 4. Con base en el procedimiento No. 2 y de acuerdo con los resultados arrojados se decide realizar una formulación en porcentajes tales de 60% y 50% de agua, 30% y 25% de surfactante y de silicona entre 10% y 25% con una velocidad de agitación de 800 RPM y tiempo de homogenización estimado de 15 y 30 minutos respectivamente véase figura 7, los porcentajes estipulados se observan en la tabla 22:

Tabla 22. Porcentajes con PDMX, procedimiento No. 4

No.		Agua	Nonil Fenol	PDMX
15	%pp	60	30	10
	ml	180	90	30
	g	180.02	89.99	30.01
15.1	%pp	60	30	10
	ml	180	90	30
	g	180.05	90	29.92
16	%pp	50	25	25
	ml	150	75	75
	g	150.08	75.03	74.97
16.1	%pp	50	25	25
	ml	150	75	75
	g	150.03	74.97	74.93

Figura 15. Resultados obtenidos, procedimiento No.4

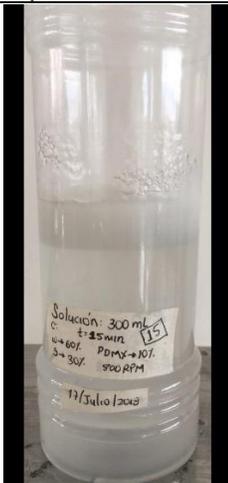
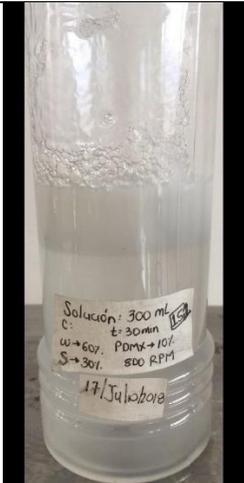
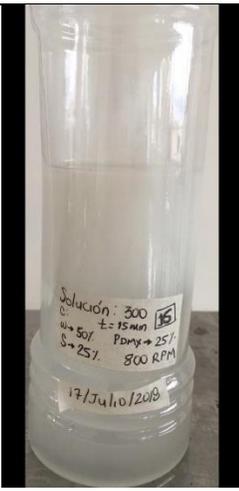
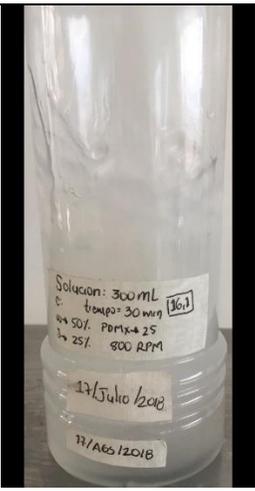
No.	Temperatura de preparación: 14°C
Fecha de preparación: 17/08/2018	Fecha de observación: 17/08/2018
15.	
15.1	

Figura 15. (continuación) No. de experimento y temperatura.

16.		16.1	
<p>Observaciones y resultados. Como se muestra en la figura 15, la formulación que presenta estabilidad es la experimentación No. 16.1, siendo una mezcla donde sus constituyentes no presentan separación ni observaciones diferentes a lo considerado; luego de 1 mes de reposo, se evidencia que sigue estando estable. De tal manera que se determina cumplimiento con las características de estructura y formación de emulsificación.</p>			

- PDMX u/o Silicona industrial - fase oleosa y agente tensoactivo.** Teniendo como soporte la evaluación de tiempo y velocidad en el diseño experimental realizado con PDMX como agente oleoso y Nonil fenol como agente tensoactivo, se establecen según los parámetros una velocidad de 800 rpm y un tiempo estimado de 30 minutos de formación. Correspondientemente se demuestra que a cierto porcentaje mantiene estabilidad la mezcla, pero no cumple con las condiciones reológicas de microemulsificación, es decir, la mezcla presenta una alta viscosidad y un gran tamaño de partícula según estudios realizados.

Conforme a lo expuesto se emplea una propuesta de experimentación con base del artículo predicción de estabilidad en emulsiones publicado en la revista de ciencia española de químicos y cosméticos elaborado por Bajona, Amadeu y colaboradores, teniendo un aporte de información sobre los rangos óptimos para la obtención de una microemulsión de silicona.

Para iniciar esta evaluación se toma como materias primas PDMX y silicona 12 como fase dispersa, y en sumatoria se utilizan cinco agentes tensoactivos véase tabla 15, con el fin de definir cuál de estos surfactantes cumplen con la afinidad para la formación de cada silicona en sistema acuoso. Con los resultados arrojados se hace un contraste para determinar cuál cumple con las condiciones de composición y estructura uniforme de una microemulsión.

3.5. Procedimiento No 5. Conforme al procedimiento enseñado en la figura 8, se evalúa el surfactante número 2, 3, 4 y 5 expuestos en la tabla 15 con las siliconas PDMX y silicona 12. Esta experimentación se lleva a cabo con los porcentajes de formulación, véase tabla 23, para constatar si con alguno de las dos siliconas presenta microemulsificación o emulsificación. El tiempo y la velocidad son de 30 minutos y 800 RPM respectivamente.

Tabla 23. Porcentajes de PDMX, silicona industrial y surfactantes

No.		Agua	F₈₀	PDMX
1	%pp	45	40	15
	ml	46	41.5	13
	g	44.90	39.92	15.07
		Agua	F₈₀	Silicona
2	%pp	45	40	15
	ml	43	41	15
	g	45.03	40.07	14.97
		Agua	F₅₀	PDMX
3	%pp	45	40	15
	ml	46	41.5	16
	g	44.98	39.96	14.99
		Agua	F₅₀	Silicona
4	%pp	45	40	15
	ml	45	41.5	16
	g	44.91	39.98	14.96
		Agua	TWN₈₀	PDMX
5	%pp	45	40	15
	ml	45	39	16
	g	45.04	40.08	15.02
		Agua	TWN₈₀	Silicona
6	%pp	45	40	15
	ml	44	40	15
	g	44.97	40	15.08

Tabla 23. (contianuacion) No. de experimentación, agua, surfactante y PDMX

		Agua	X070	PDMX
7	%pp	45	40	15
	ml	45	41.8	16
	g	45.01	40.06	14.97
		Agua	X070	Silicona
8	%pp	45	40	15
	ml	43	42	16
	g	44.92	40.08	15.09
		Agua	X0il	PDMX
9	%pp	45	40	15
	ml	45	41.8	16
	g	45.01	40.06	14.97
		Agua	X0il	Silicona
10	%pp	45	40	15
	ml	43	42	16
	g	44.92	40.08	15.09

- **Resultados.** De acuerdo con los datos de la tabla 23, se exponen los resultados obtenidos en la figura 16:

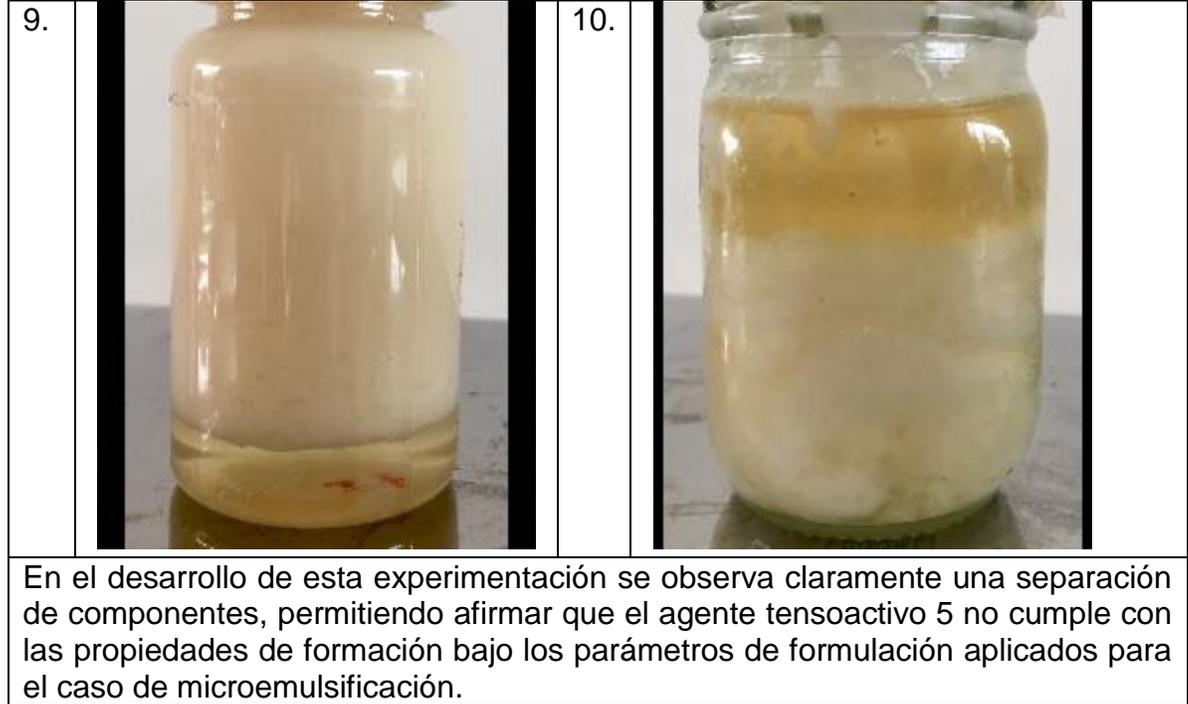
Figura 16. Resultados obtenidos con PDMX y Silicona.

No.	Temperatura de preparación: 14 °C	
Fecha de preparación: 21/08/2018	Fecha de observación: 27/08/2018	
1.		2.
<p>Según la experimentación realizada, se observa que el surfactante 2 no facilita la formación dado que las fases agua- PDMX y agua- silicona industrial presentan separación.</p>		
3.		4.
<p>Como se observa la mejor formulación en cuanto a estructura, apariencia y estabilidad es la 4, dadas las condiciones es una muestra que presenta estabilidad obedeciendo los parámetros que describen una microemulsión bajo unos rangos de formación; no obstante, se llevan a cabo la experimentación con los otros surfactantes para verificar si los agentes tensoactivos cumplen con los criterios de estructura de microemulsión.</p>		

Figura 16. (continuación) No. de experimentación y temperatura.

5.		6.	
<p>Se observa que la experimentación No., 5 mantiene una consistencia de unión entre sus fases, permitiendo afirmar que sus características se ven atribuidas a la estructura de una emulsión; a pesar de esta particularidad de formación no cumple con las condiciones de microemulsión por su alta viscosidad y su apariencia opaca.</p>			
7.		8.	
<p>Se aprecia que las experimentaciones 7 y 8 presentan separación entre sus fases altamente perceptibles a simple vista, de tal manera se descartan para cualquier evaluación de producto.</p>			

Figura 16. (continuación) No. de experimentación y temperatura.



3.6. Diagramas ternarios

En los siguientes diagramas ternarios se representa gráficamente la ubicación de cada componente según su porcentaje de composición. Estas composiciones demuestran la afinidad y estabilidad en la región donde está representado el punto crítico isotérmico. En microemulsiones los diagramas ternarios reflejan la variación del contenido del líquido, agente tensoactivo y silicona, en este caso a condiciones ambiente. En la figura 17 se observan los resultados obtenidos.

Figura 17. Diagramas ternarios de las formulaciones obtenidas

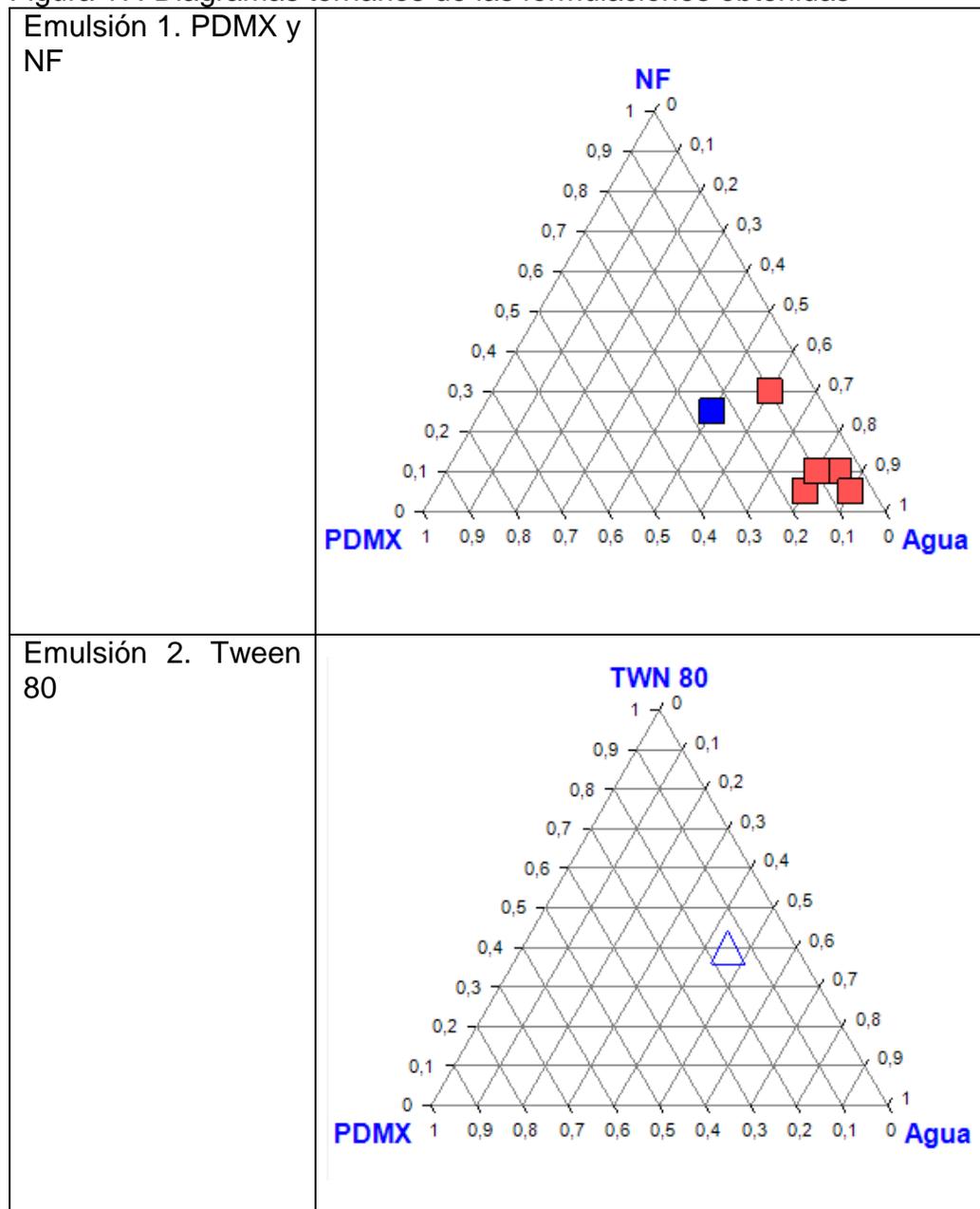
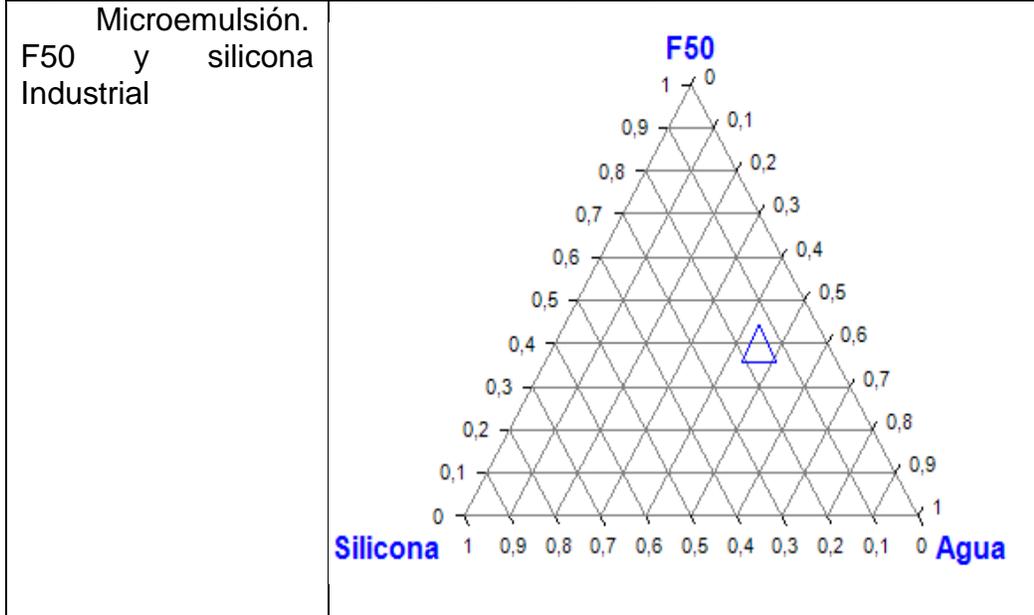


Figura 17. (continuación) componentes y diagrama ternario



Fuente: Elaborado por autores.

- Análisis y resultados.** La figura 17 muestra las regiones donde se ubican las composiciones totales de las emulsificaciones conformadas por nonil fenol, PDMX y agua. Las materias primas con mayor afinidad conforme a su estabilidad están representadas con el recuadro azul en la emulsion1, 2 y la microemulsión. Cabe resaltar que, dado que en la mayoría de los sistemas presentaron poca diferencia de concentraciones, solo se presentan los diagramas de fases para los sistemas que no evidencian separación de fases y cumplen con las características reológicas.

En la figura 17 se ilustra la cantidad de aceite de silicona solubilizado en la región, estando en función de la concentración total del surfactante. Esta observación puede explicarse debido a la influencia que contiene el c- surfactante con el agente oleoso y acuoso al tener un aumento en un tercer componente en este caso el agua permite que se unan en un punto crítico isotérmico.

Esta representación gráfica facilita entender el comportamiento en relación con la composición de un sistema multicomponentes en este caso siendo agua, silicona y tensoactivo no iónico a temperatura y presión constante. La región situada de dichas composiciones certifica que al generar esta experimentación se sitúa en la región bajo la curva de microemulsiones tipo O/W.

Estos resultados se contrastaron con el artículo comportamiento de fase de los sistemas ternarios del tipo H₂O-aceite- aniónico no iónico (microemulsiones)

elaborada por la revista científica Langmuir, donde explican las interacciones de los sistemas multicomponente A- B y C³⁰

³⁰ POSPISCHIL, K. H. Phase behavior of ternary systems: H₂O-oil-nonionic amphiphile with n-alkyldimethylphosphine oxides. En: LANGMUIR. Mar.vol. 2, no. 2, p. 170-173

4. ANÁLISIS DE REOLOGÍA DE LA MICROEMULSIÓN W/O

Conforme a las formulaciones realizadas en el capítulo anterior, se analiza el comportamiento reológico, es decir, la viscosidad a muestras que no evidencian separación al cabo de un mes de reposo. Esto se hace con el fin de demostrar que a partir de literatura las microemulsiones en comparación con las emulsiones tienen baja viscosidad y una óptima estabilidad.

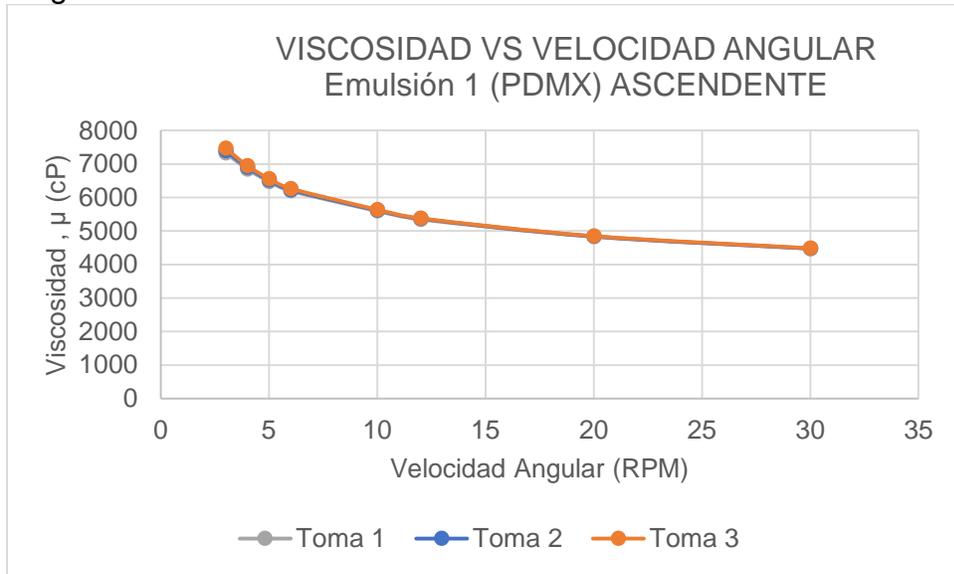
Para la caracterización de las formulaciones seleccionadas se utiliza un equipo llamado viscosímetro digital Brookfield BYN modelo SE, el cual maneja unos rangos de velocidad en las unidades de rpm. La aguja se escogió por medio experimental, es decir, aquella que cumpla con un mínimo de porcentaje de error explicado explícitamente más adelante y además teniendo presente que al disponer de un valor alto de viscosidad, el splinde debe tener una geometría de plato pequeña, mientras que para viscosidades bajas el splinde debe ser de una geometría de platos ancha.

La viscosidad se realiza a temperatura ambiente, y para su determinación en la emulsión 1 (PDMX), se emplea la aguja S-04 mientras que en la emulsión 2 (Tween 80) se utiliza la aguja S-05, de acuerdo con las características de la microemulsión se utiliza una aguja S-02, debido a que en los tres casos el porcentaje de torque cumple con las especificaciones adecuadas de rango (10%-90%), lo que indica una medida confiable y sin error.

Los resultados obtenidos por el viscosímetro para la emulsión 1 se muestran a continuación en la gráfica 1 y 2 y los datos tabulados en el anexo B. Para la veracidad de los datos se realizaron dos corridas; la primera aumentando la velocidad y la segunda disminuyendo la velocidad, con el fin de obtener un mínimo de error en los datos.

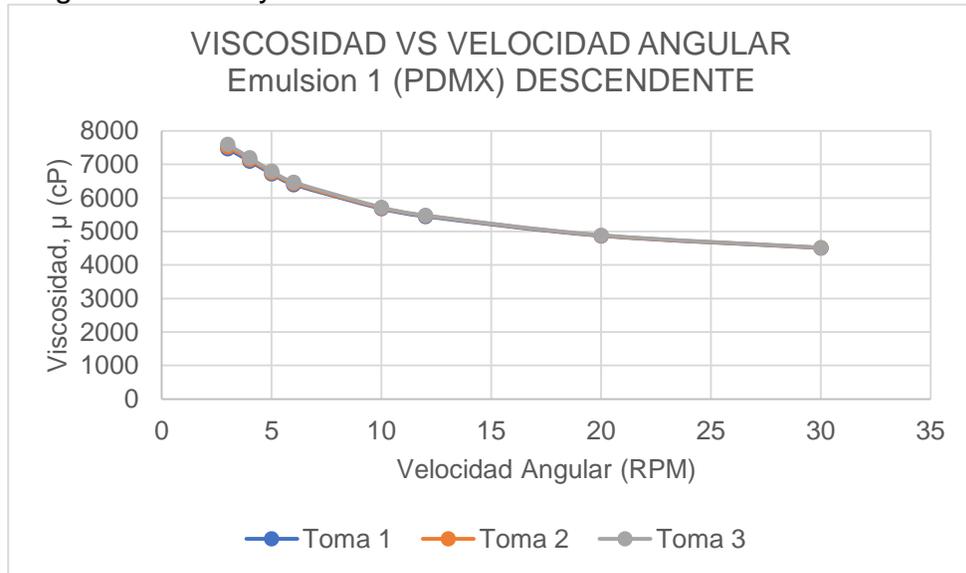
En la determinación de la viscosidad de la emulsión 2 (Tween 80), se realizó el mismo procedimiento anterior tabulando los datos como se muestra en el anexo B, sin embargo, en este caso el splinde empleado fue S-05, los resultados se muestran continuación en la gráfica 3 y 4, debido a que considerando la clasificación de los fluidos, tanto newtonianos como no newtonianos (... véase numeral 1.9 ...), se puede afirmar que los resultados arrojados en estas gráficas tanto para la emulsión 1 como para la emulsión 2, su comportamiento es de un fluido no newtoniano. Este comportamiento está dado por los perfiles de viscosidad obtenidos.

Gráfica 1. Comportamiento emulsión 1, viscosidad versus velocidad angular. Aumento de velocidad



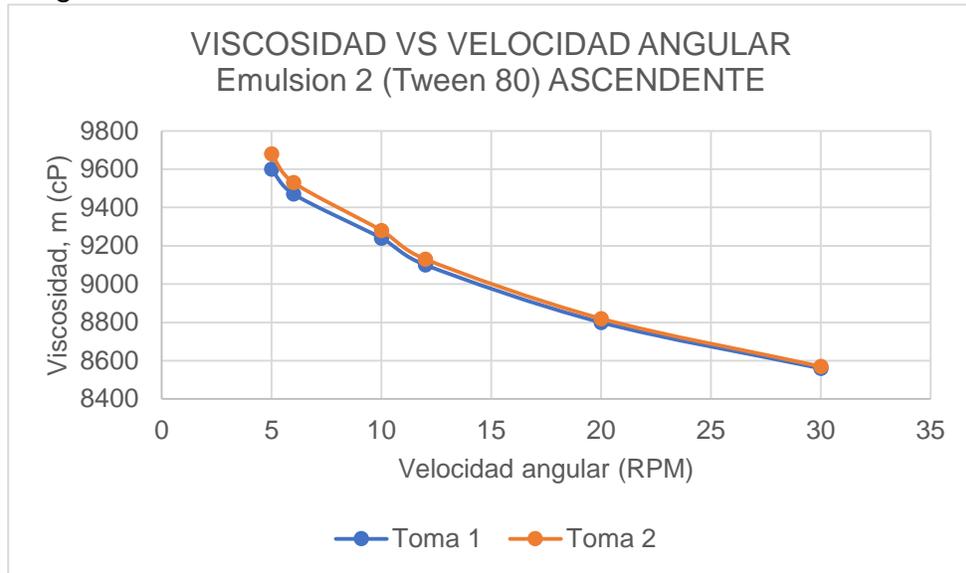
Fuente: Elaborado por autores.

Gráfica 2. Comportamiento emulsión 1, viscosidad versus velocidad angular. Disminuyendo velocidad



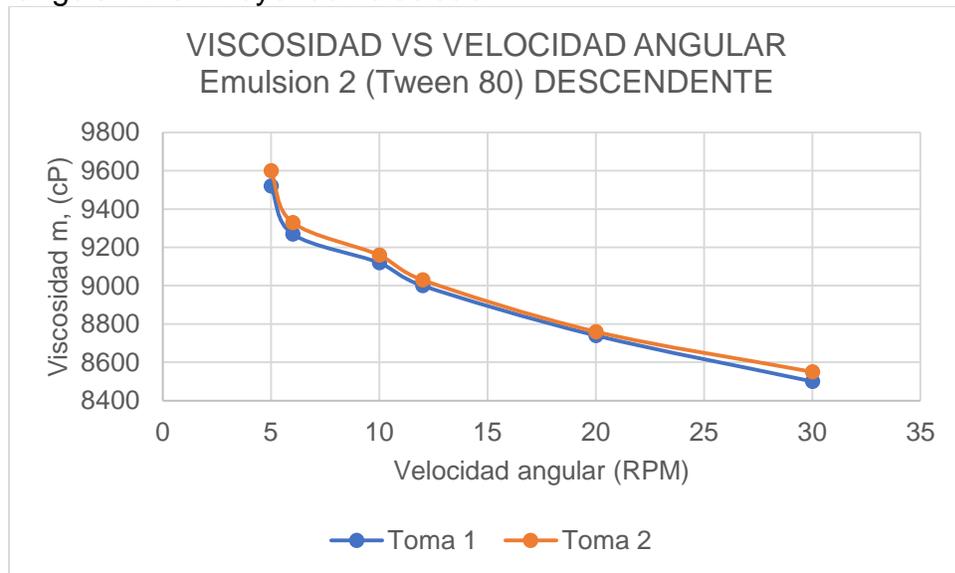
Fuente: Elaborado por autores.

Gráfica 3. Comportamiento emulsión 2, viscosidad versus velocidad angular. Aumentando velocidad



Fuente: Elaborado por autores.

Gráfica 4. Comportamiento emulsión 2, viscosidad versus velocidad angular. Disminuyendo velocidad

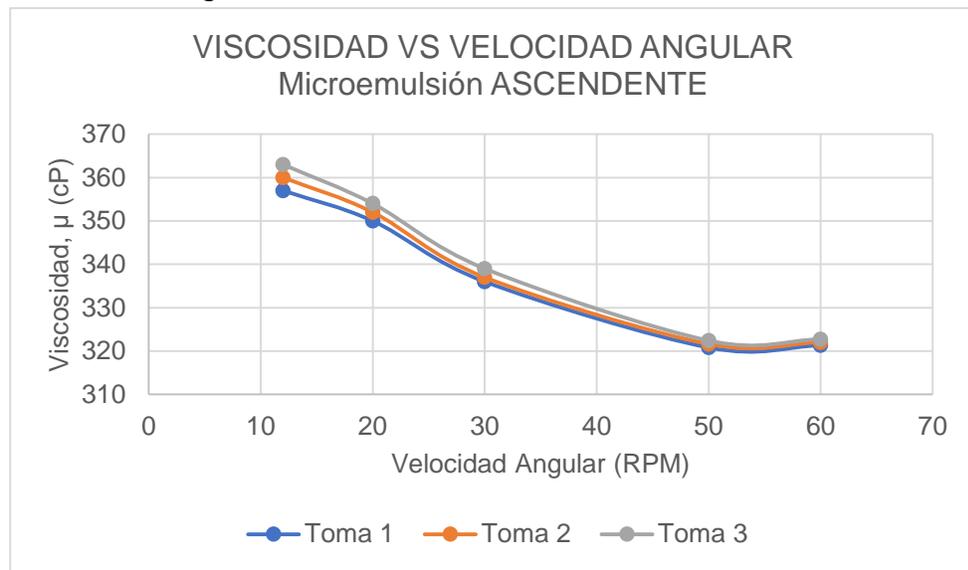


Fuente: Elaborado por autores.

Se efectuó para la microemulsión la toma de los perfiles de viscosidad y a continuación en las gráficas 5 y 6 y se observan los datos obtenidos y tabulados en el anexo B. Para la toma de datos se ejecutó el mismo proceso de operación tomado para el muestreo de la emulsión 1 y 2.

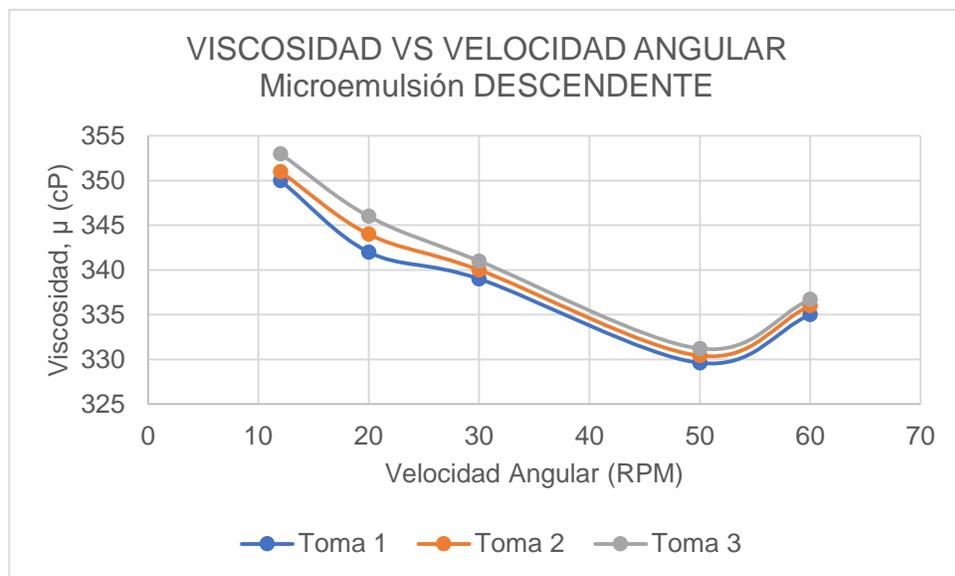
En relación con los datos obtenidos y de acuerdo con el libro en Mecánica de Fluidos elaborado por Mott, Robert (... véase numeral 1.9 ...), se puede concluir que a partir de los resultados que arrojados en la microemulsión se evidencia un comportamiento pseudoplástico mostrado a continuación.

Gráfica 5. Comportamiento de microemulsión, viscosidad versus velocidad angular Aumentando velocidad



Fuente: Elaborado por autores.

Gráfica 6. Comportamiento de microemulsión, viscosidad versus velocidad angular Disminuyendo velocidad

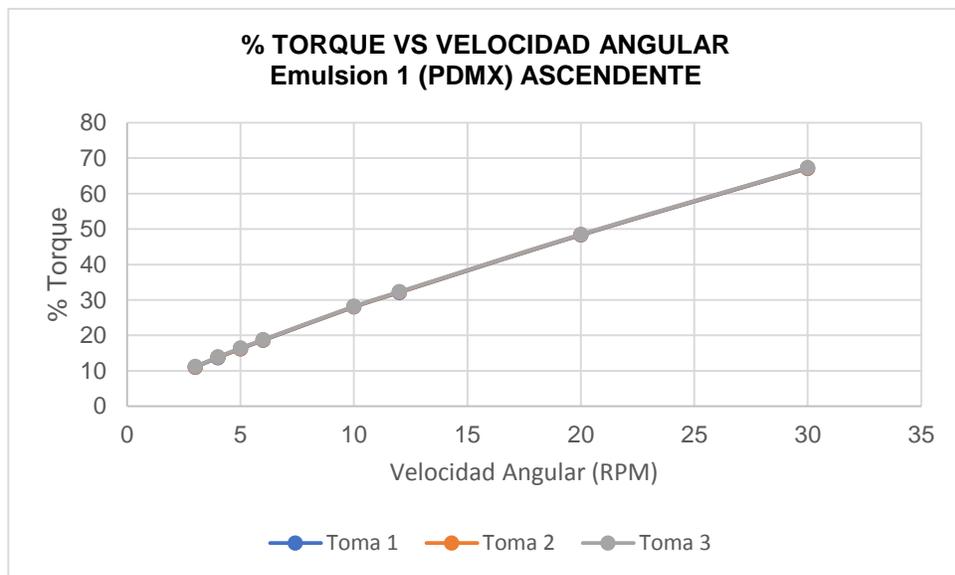


Fuente: Elaborado por autores.

El artículo un mecanismo para el flujo no newtoniano en suspensiones de esferas rígidas elaborado por Krieger, Irvin M y colaboradores propone que la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de corte. En base a esta investigación se realizó el análisis en el comportamiento reológico con respecto al esfuerzo cortante, graficando el porcentaje de torque contra la velocidad angular para la emulsión 1 y 2 y tomando los parámetros propuestos en el análisis de reología. A continuación, se muestra la relación de datos para la emulsión 1 en la gráfica 7 y 8 y para la emulsión 2 en la gráfica 9 y 10, sus respectivos datos se encuentran tabulados en el anexo B.

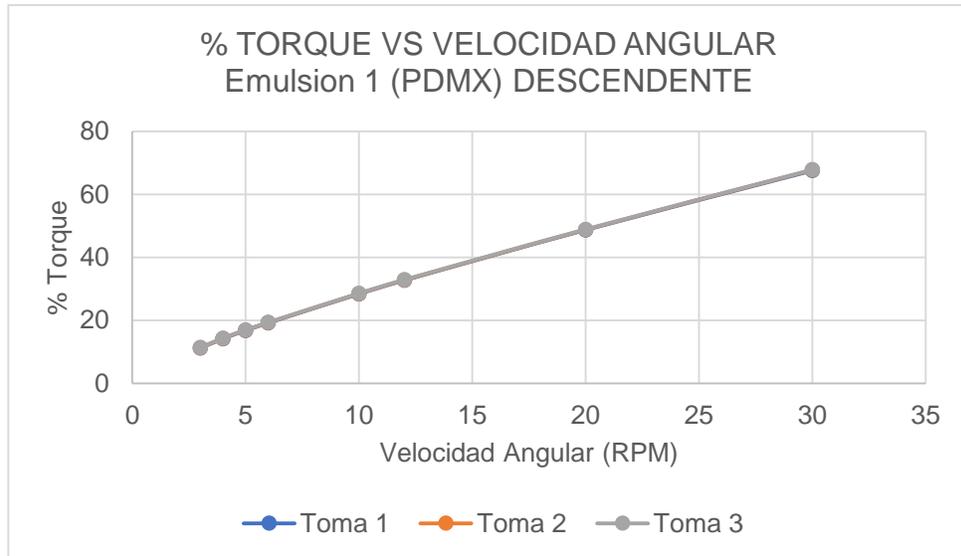
En las gráficas 7 y 8, se observan los resultados obtenidos, en donde la emulsión 1 evidencia que a mayor velocidad angular hay un aumento en el porcentaje de torque, es decir, es directamente proporcional a este. El evento descrito mantiene semejanza para la emulsión 2, como se observa en las gráficas 9 y 10, véase anexo B.

Gráfica 7. Determinación porcentaje de torque, aumentando velocidad angular en emulsión 1



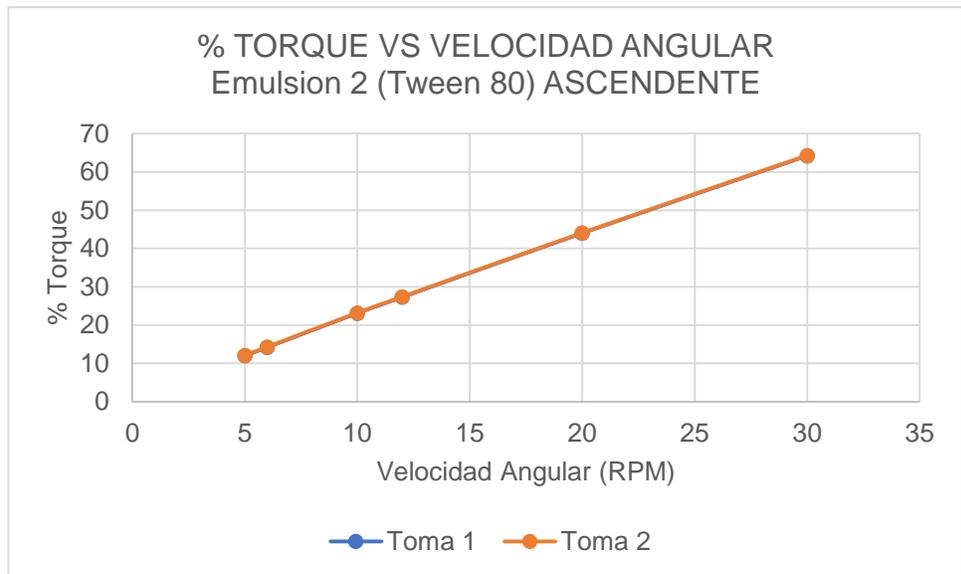
Fuente: Elaborado por autores.

Gráfica 8. Determinación porcentaje de torque, disminuyendo velocidad angular en emulsión



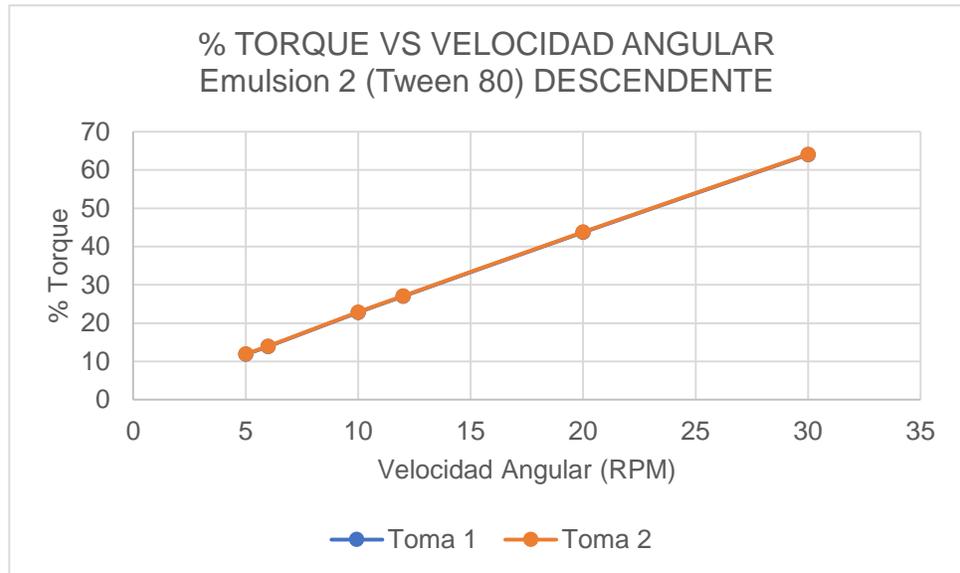
Fuente: Elaborado por autores.

Gráfica 9. Determinación porcentaje de torque, aumentando velocidad angular en emulsión 2



Fuente: Elaborado por autores.

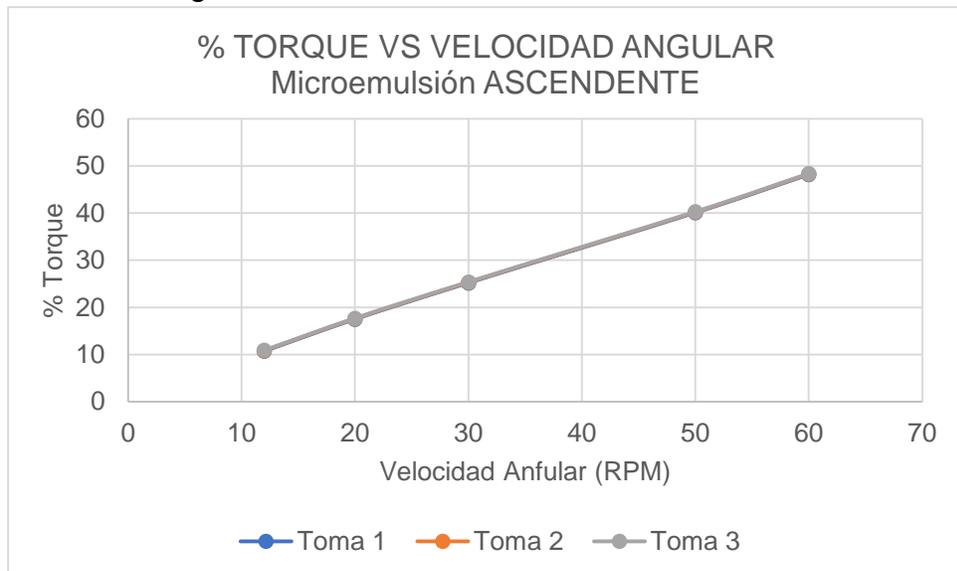
Gráfica 10. Determinación porcentaje de torque, disminuyendo velocidad angular en emulsión 2



Fuente: Elaborado por autores.

El análisis en el porcentaje de torque con respecto a la velocidad angular para la microemulsión se realizó con los mismos parámetros de operación en el análisis de reología, a continuación, en las gráficas 11 y 12 se enseñan los datos obtenidos, véase anexo B:

Gráfica 11. Determinación porcentaje de torque, aumentando velocidad angular en microemulsión



Fuente: Elaborado por autores.

- **Análisis y resultados.** Se evidencia en las emulsiones 1 y 2 de acuerdo con el comportamiento que presentan las gráficas que, a mayor velocidad angular menor viscosidad. De acuerdo con (... véase numeral 2.8 ...), se puede apreciar que las emulsiones o suspensiones presentan a menudo un comportamiento pseudoplástico. Este comportamiento no newtoniano describe cómo cambia la viscosidad respecto al gradiente de velocidad puesto que disminuye la viscosidad cuando el cizallamiento aumenta, a diferencia de los newtonianos que tienen una pendiente constante consecuencia de la relación lineal entre la tensión de corte versus el gradiente de velocidad.

Según la fracción de volumen en el sistema multicomponente de la microemulsión de silicona, se puede inferir que a altas concentraciones de la fase continua hay una disminución en la viscosidad, tal y como se evidencia en las gráficas 5 y 6, correspondiente a la interacción coloidal entre las gotitas.

El porcentaje de torque de las muestras anteriormente analizadas, demuestran un comportamiento viscoelástico dado que, el módulo de cizalladura determina el momento de torsión, mientras el equipo busca el menor porcentaje de error en una frecuencia específica.

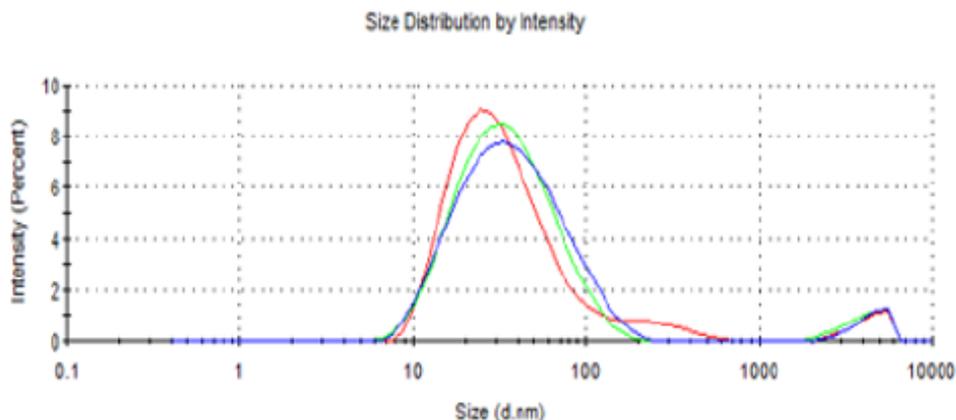
El tamaño de gota cumple un papel importante en la fluidez de la microemulsión, debido a que a menor tamaño de partícula presenta un cambio reológico por el grado de polidispersidad (... véase numeral 1.9.4 ...), en comparación con el comportamiento en el tamaño de gota mayor de la emulsión 1 y 2 que tiende a ser monodispersa.

Las viscosidades de la emulsión 1 y 2 pueden variar considerablemente con el aumento de la floculación entre gotitas por sus interacciones atractivas, dado que la fracción de volumen en la fase dispersa también incrementa directamente proporcional a la viscosidad, caso contrario de la microemulsión de silicona.

4.1. ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULA, TURBIDEZ Y ESTABILIDAD

Esta prueba de caracterización de partícula se llevó a cabo en un equipo denominado zetasizer nano, el cual permite realizar pruebas mediante dispersión de luz dinámica y electroforética del tamaño de partícula y potencial zeta respectivamente. Esta prueba se considera importante, permitiendo entender el comportamiento que va a causar cada materia prima sobre el sistema de la microemulsión. Un punto interesante sobre las microemulsiones, es el tamaño de gotitas de aceite dispersas en agua permitiendo determinar la seguridad de la formulación para posibles aplicaciones añadiendo agentes activos. No obstante, se debe considerar que para sistemas de multicomponente se debe analizar a simple vista la estabilidad que mantenga durante un tiempo determinado. En la gráfica 12, se muestran los resultados obtenidos del análisis de tamaño de partícula.

Gráfica 12. Análisis de medida para microemulsión de silicona



Fuente: Elaborado por autores.

La medición se ejecutó por medio de un software tomando las medidas respectivas con forma a una función de correlación. La función de correlación es una medida entre dos variables que comprende entre los valores de -1 a 1. Si es negativa la relación entre las variables es inversa, es decir, a medida que aumentan los valores de una, decrecen los de la otra. Si es positivo la asociación es directa, en otros términos, los valores de una variable aumentan con la otra. Un valor de cero indica ausencia de relación. Cuando las variables son continuas y tienen una relación lineal, el coeficiente de correlación lineal de Pearson³¹ es una medida de asociación adecuada. Cuando las variables no son continuas se utilizan otros coeficientes de correlación.³²

La función de correlación para el análisis con el equipo zetasizer se recalcula constantemente según las mediciones en la distribución del tamaño de la muestra, puesto que consigue unos resultados confiables y con un margen de error mínimo. Una vez tomados los datos el software muestra los resultados generados por la distribución de partículas orientado por la microemulsión.

Según el artículo predicción de estabilidad en emulsiones publicado en la revista de ciencia española de químicos y cosméticos elaborado por Bajona, Amadeu. Los autores realizaron una investigación sobre las principales características de las microemulsiones de silicona; describieron que las microemulsiones de silicona

³¹INTERNET ARCHIVE WAYBACK MACHINE. Tomado de: https://web.archive.org/web/20091215105427/http://www.psico.uniovi.es/Dpto_Psicologia/metodos/tutor.6/fcope.html

³² MENG, Xiao-Li; ROSENTHAL, Robert and RUBIN, Donald B. Comparing Correlated Correlation Coefficients. En: PSYCHOLOGICAL BULLETIN. Jan.vol. 111, no. 1, p. 172-175

manejan un tamaño de partícula por debajo de 0.1 μm y que los agentes tensoactivos cumplen un papel importante promoviendo el tamaño de gota.

En el estudio realizado de acuerdo con la gráfica 12, se ejecutaron tres operaciones con ayuda de la función de correlación en el que como resultado se obtuvo una zona atribuible de tamaño de gota en los rangos de 10 a 100 nm de la muestra analizada. Según el resultado obtenido por el estudio de caracterización de partícula tomado con el equipo en las determinadas condiciones, se garantiza que la formulación propuesta por el equipo de trabajo cumple con las condiciones de rango de partícula asociado a la revisión bibliográfica descrita por la revista de ciencia española de químicos y cosméticos.

En las microemulsiones la caracterización de tamaño de partícula, turbidez y estabilidad se encuentra asociada una a la otra, debido a que el tamaño de partícula genera condiciones a cada una con rangos óptimos de resultado en ciertas condiciones del sistema.

El análisis de turbidez en un sistema multicomponente se constituye por las gotitas que se encuentran distribuidas, esto está dado conforme al fenómeno de estabilidad que esté presente (... véase numeral 1.6.1 ...), las características más relevantes son bastante claras ya sea en microemulsiones. Basado en el artículo Microemulsiones para aplicaciones cosméticas, se encuentra establecido que las microemulsiones presentan una apariencia transparente a translucido, pero este evento a simple vista no manifiesta un comportamiento dado por un estudio con claridad.

Las gotas de microemulsión de aceite en agua consisten en un núcleo de aceite cubierto con una capa de agente tensoactivo, este enunciado se encuentra propuesto en el artículo que tiene como nombre turbidez de las gotitas de microemulsión de aceite en agua estabilizadas por surfactantes no iónicos elaborado por Fletcher, Paul y Morris, Jane. Los autores proponen que la turbidez en una microemulsión es proporcional al volumen promedio de las partículas, por lo tanto, los cambios que tenga la turbidez en una muestra pueden derivar de los cambios del volumen de partículas agrupadas o el crecimiento de las gotitas de microemulsión.

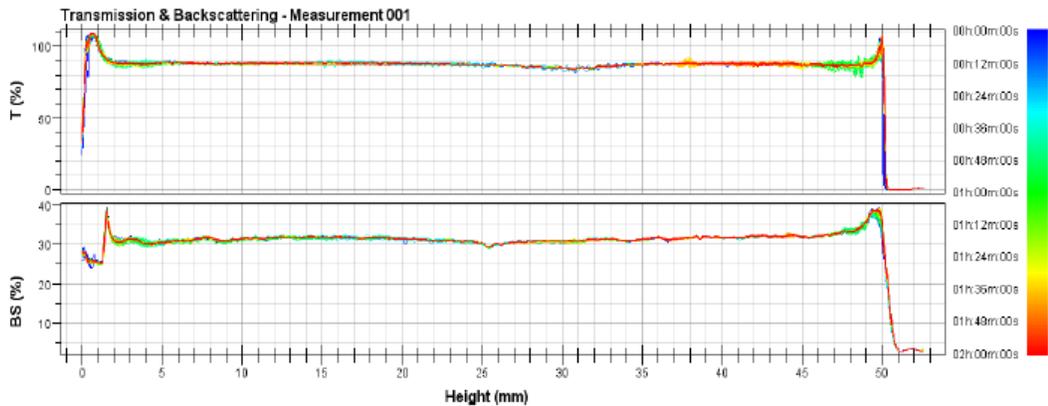
La microemulsión de silicona en agua estabilizada por el agente tensoactivo F50 contiene gotas esféricas desempeñado un papel importante, dado que el resultado obtenido por la muestra tiene un valor de 11 NTU. El valor arrojado por el equipo no puede contrastarse con una investigación realizada, en vista de que no existe un registro en la literatura que proporcione dicho valor.

Para la prueba de estabilidad en la microemulsión de silicona, se deben tener en cuenta los principios básicos de estabilidad (... véase numeral 1.6 ...), debido que estos conforman las razones básicas de la emulsificación o coalescencia del patrón.

Uno de los principios que debe cumplir un sistema multicomponente es la afinidad que debe proporcionar el sistema con cada materia prima que lo conforma, es decir, el agua ejerce un dominio entre las moléculas vecinas siendo esta una fuerza cohesiva.

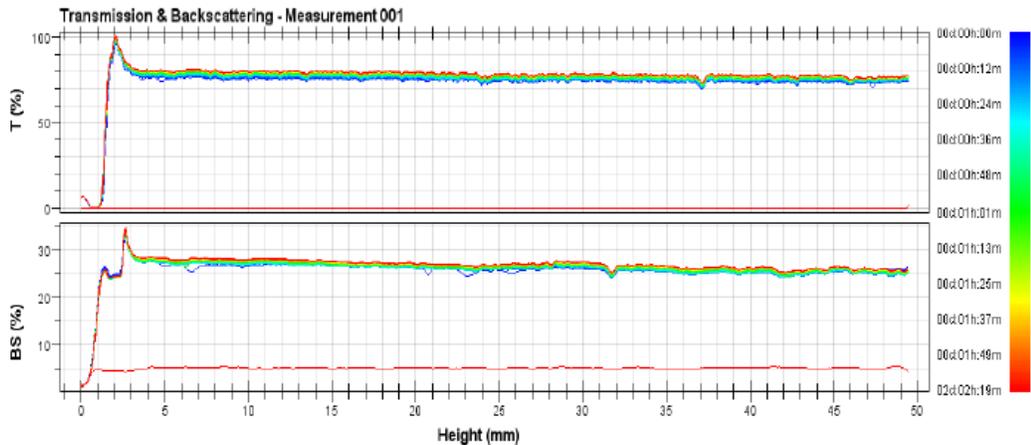
La forma de preparación rige de manera prominente la estabilidad y conformación de esta, a causa de la energía mecánica la fase dispersa queda atrapada en la fase continua donde las gotitas se forman por la turbulencia ejercida con la fuerza de cizallamiento. La coalescencia siendo un mecanismo que proporciona el sistema debido a su constitución, su formación está dada por la estructura de varias fases distribuidas presentando movilidad libre en la fase continua, chocando unas a otras presentando bajas colisiones. En las gráficas 13 y 14, se muestran los resultados obtenidos del análisis de estabilidad.

Gráfica 13. Análisis de estabilidad para microemulsión de silicona Muestra 1



Fuente: Elaborado por autores.

Gráfica 14. Análisis de estabilidad para microemulsión de silicona Replica 1



Fuente: Elaborado por autores.

Los perfiles de las señales de transmitancia (T) y retrodispersión (BS) informan los cambios de tamaño promedio y la concentración de partículas en muestras transparentes; para una muestra homogénea estas dos señales permanecen constantes en altura.

El tamaño de gota y la uniformidad que debe mantener una microemulsión juega un papel importante, según el artículo microemulsiones de aceite de silicona de tamaño uniforme: preparación, investigación de la estabilidad y deposición en la superficie elaborado por Nazir, Habiba y colaboradores ayuda entender que la distribución de tamaño de gota es un dominante factor contribuyente a la estabilidad, permitiendo que las fases incrementen en la iteración coalescente.

En las gráficas 13 y 14, al inicio y al final de la toma de datos se registran unos picos, esto se debe por un fenómeno de sedimentación en el momento que inicia la muestra siendo homogénea. Debido a este fenómeno, la concentración de partículas en la muestra numero 1 aumenta en el fondo y en la superficie; en la réplica 1 el pico aparece al inicio con un porcentaje de sedimentación en el fondo, permaneciendo constante a lo largo de la altura.

5. ANÁLISIS DE COSTO DE PRODUCCIÓN POR GRAMO DE MICROEMULSIÓN DE SILICONA

En este capítulo se consideran los costos elementales para la producción a nivel de laboratorio de 1000 gramos de microemulsión de silicona propuestos por Industrias Químicas Saint Germain Ltda. Esta evaluación se realiza con el fin de una posible elaboración a gran escala a largo plazo.

El costo se estimará conforme al precio unitario de cada materia prima, con la intención de definir su fabricación a escala laboratorio. Se tendrá en cuenta un presupuesto de producción en el consumo energético para el agitador IKA RW 20 empleado en la obtención de la microemulsión de silicona. En el anexo D se adjuntan las facturas de energía, agua y las materias primas.

5.1. Cotización del equipo. El equipo considerado para esta sección es de fácil acceso en la industria colombiana, por este motivo Industrias Químicas Saint Germain realizó el alquiler de este equipo por 8 horas para la formulación de la microemulsión de silicona, con un costo establecido a continuación en la tabla 24:

Tabla 24. Precio unitario del agitador IKA RW 20

Equipo	Precio/día	Precio/ hora
Agitador IKA RW 20	\$100000	\$12500

Fuente: Elaborado por autores.

5.2. Costo operativo del equipo. Este costo contempla el tiempo empleado para la formulación de la microemulsión de silicona teniendo como referencia el salario mínimo legal vigente de un operario en Colombia con prestaciones y parafiscales según mintrabajo (ministerio de trabajo). A continuación, se mostrará la tabla 25 y 26 los costos de salario mínimo y precio de electricidad respectivamente, en el anexo D se sustenta el costo del consumo de Industrias Químicas Saint Germain Ltda., en servicios de electricidad, acueducto y materias primas.

Tabla 25. Mano de obra para un operario

	Costo	
Salario básico, operario	\$ 781.242	
Prestaciones+ Parafiscales 57%	\$ 445.307	
	\$ 1.226.545	Mes
Días trabajados: 24	\$ 51.106	
Horas trabajadas: 8	\$ 6.388	
1 hora trabajada	\$ 798.5	

Fuente: Elaborado por autores.

Tabla 26. Precio de electricidad

Equipo	Energía consumida y facturada (kWh)	Precio unitario
Agitador IKA RW 20	8.16	\$513.03
TOTAL, PESOS COLOMBIANOS		\$4186

Fuente: Elaborado por autores.

5.3. Costos de materias primas. Posteriormente, según empresas dedicadas a la producción de agentes químicos se establecen los siguientes costos en la tabla 27, en el anexo C se sustenta el costo de las materias primas para realizar 1000 g de microemulsión de silicona.

- **Agua. → \$1750 COSTO m³**
1m³ → 1000000 ml
1ml → \$0.039/ml
- **Silicona. → \$50 COSTO ml**
- **Agente tensoactivo → \$550/Kg**
1Kg → 1000g \$0.55/g

Tabla 27. Costo de materias primas

Materia prima	(Precio unitario \$/g)	Cantidad (g)	Precio total
Agua	\$ 0.039	450	\$17.55
Silicona Industrial	\$50	150	\$7500
F50	\$ 0.55	400	\$220
TOTAL, PESOS COLOMBIANOS		1000	\$7737.55

Fuente: Elaborado por autores.

5.4. Costo final de producción. A continuación, se muestra en la tabla 28, el costo final de la elaboración de una microemulsión de silicona a escala laboratorio.

Tabla 28. Costo final, elaboración microemulsión de silicona de 1000 g

Mano de obra/hora de fabricación de 1000ml de ME	\$798.5
Electricidad equipo/día	\$4186
Materias primas	\$7737.55
Alquiler equipo/ 8 horas día	\$12500
TOTAL, PESOS COLOMBIANOS	\$25222.05

Fuente: Elaborado por autores.

6. CONCLUSIONES

- La finalidad de este proyecto era presentar una evaluación de las variables de formulación y de proceso en una microemulsión empleando un sistema multicomponente; para ello, se llevó a cabo una revisión de los componentes aptos en la formación de una microemulsificación, de acuerdo con la adquisición en el mercado colombiano.
- La elección de las condiciones de operación para el desarrollo de la formulación ayudo a determinar parámetros de operación en la formación de un producto final.
- Conforme a la probabilidad propuesta se concluye que la interacción del tensoactivo proporciona condiciones de gota ideales, puesto que con las moles de etoxilación se ajusta de manera satisfactoria a los otros dos componentes que lo conforman; no obstante, la velocidad y el tiempo hacen una tarea importante para el rompimiento y adhesión de las fases de iteración.
- La microemulsión de silicona durante la formulación y caracterización tuvo un comportamiento pseudoplástico, es decir, evidencio una relación directamente proporcional entre el incremento de la velocidad con respecto al aumento de la viscosidad.
- La implementación de técnicas de caracterización para cualquier medio disperso es fundamental, debido que permite un análisis de rango pequeño del comportamiento y la iteración que conforma el tamaño de partícula; de este modo se puede registrar si alguno de los factores que rige el medio se ve afectado o permanece constante durante el tiempo.
- Para Industrias Químicas Saint Germain Ltda., la formulación de una microemulsión de silicona contemplando los costos anteriores permite establecer que el costo del alquiler del equipo afecta en gran medida la formulación.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar otros tipos de agentes tensoactivos en la formulación de una microemulsión de silicona que cumpla con las especificaciones de HLB para contribuir en nuevas aplicaciones potenciales.
- Evaluar la factibilidad que tiene la microemulsión de silicona como agregado de un detergente en la producción de una nueva aplicación.
- Evaluar en la formulación de la microemulsión de silicona otros parámetros de obtención donde pueda ajustarse la temperatura y otras condiciones, con el fin de mejorar la estabilidad de la microemulsión.
- Se recomienda el uso de una nueva silicona que cumpla con las propiedades y características de emulsificación junto con un co surfactante que permita minimizar el costo de producción.

BIBLIOGRAFIA

A Study of the Emulsified Microemulsion by SAXS, Cryo-TEM, SD-NMR, and Electrical Conductivity.

Alcohol de C10 con 5 moles de etoxilación. Imbentin-E/100/050.

Ana Gabriela Leyva. Síntesis y caracterización de nanoestructuras de óxidos de metales de transición.

BAJONA, Amadeu, et al. Predicción de estabilidad en emulsiones. Su aplicación a fórmulas de estructura cremigel: comparación de métodos. [1]: Universidad de Alicante. Servicio de Publicaciones, 2010.

BRUMMER, Rüdiger. Rheology essentials of Cosmetic and Food Emulsions. Berlin [u.a.]: Springer, 2006. ISBN 9783540255536
Ch. E. Reed. Las Siliconas. [0]:1959.

CHANG, Raymond; GOLDSBY, Kenneth A. and HERNÁNDEZ, Paola Malinalli. Química (12a. ed.). Distrito Federal: McGraw-Hill Interamericana, 2017.

CHANG, Raymond; GOLDSBY, Kenneth A. and HERNÁNDEZ, Paola Malinalli. Química (12a. ed.). Distrito Federal: McGraw-Hill Interamericana, 2017.

Chapter 3 Hydrophile-Lipophile Balance of Surfactants. En: Studies in Interface Science. 2000. 146-266 p.

Christian Vargel. Alcohols, Ethers, Thiols and Phenols. Corrosion of Aluminium, 2004.p.473-487.

CLAYTON, William. Clayton's the Theory of emulsions and their technical treatment. 1954.

CSJ, Journals. Bulletin of the Chemical Society of Japan. En: BULLETIN OF THE CHEMICAL SOCIETY OF JAPAN.

DEMETRIADES, K.; COUPLAND, J. N. and MCCLEMENTS, D. J. Physicochemical Properties of Whey Protein-Stabilized Emulsions as affected by Heating and Ionic Strength. En: JOURNAL OF FOOD SCIENCE. May 1. vol. 62, no. 3, p. 462-467

DERKACH, Svetlana R. Rheology of emulsions. En: ADVANCES IN COLLOID AND INTERFACE SCIENCE. vol. 151, no. 1, p. 1-23

DI BIASIO, A. and CAMETTI, C. Dielectric properties of aqueous zwitterionic liposome suspensions. En: BIOELECTROCHEMISTRY. vol. 70, no. 2, p. 328-334

DICKINSON, Eric. Advances in food emulsions and foams. London u.a: Elsevier, 1988. ISBN 9781851662005

DU, Alice W. and STENZEL, Martina H. Drug carriers for the delivery of therapeutic peptides. En: BIOMACROMOLECULES. Apr 14,. vol. 15, no. 4, p. 1097-1114
E. CRIADO. De fases ternarios a los M. A. DEL RIO.

ENGEL, R. H.; FAHRENBACH, M. J. and RIGGI, S. J. Insulin: Intestinal Absorption as Water-in-Oil-in-Water Emulsions. En: NATURE. Aug 24,. vol. 219, no. 5156, p. 856-857

FILLERY-TRAVIS, Annette, et al. Characterization of a depletion-flocculated polydisperse emulsion II. Steady-state rheological investigations. Nov 15.

FLETCHER, Paul D. I. and MORRIS, Jane S. Turbidity of oil-in-water microemulsion droplets stabilized by nonionic surfactants. En: COLLOIDS AND SURFACES A: PHYSICOCHEMICAL AND ENGINEERING ASPECTS. vol. 98, no. 1, p. 147-154

FRANK, Damian, et al. Proton transfer reaction mass spectrometry and time intensity perceptual measurement of flavor release from lipid emulsions using trained human subjects. En: JOURNAL OF AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY. May 11,. vol. 59, no. 9, p. 4891-4903

FURÓ, István. NMR spectroscopy of micelles and related systems. En: JOURNAL OF MOLECULAR LIQUIDS. vol. 117, no. 1, p. 117-137

HU, Wancheng, et al. One-step synthesis of silica hollow particles in a W/O inverse emulsion. En: COLLOID AND POLYMER SCIENCE. Nov.vol. 291, no. 11, p. 2697-2704

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC- 1486- 6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

Introduces ECOSURF(TM) EH Specialty Surfactants. En: U.S. NEWSWIRE. Washington. Mar 6.

J. B. Wilkinson. Cosmetología de Harry. [0]:1990.

JAFARI, Seid Mahdi, et al. Re-coalescence of emulsion droplets during high-energy emulsification. En: FOOD HYDROCOLLOIDS. vol. 22, no. 7, p. 1191-1202

KATIE COADY, Alan Blankenship. Nonylphenol. 2005

KHADZHIEV, Salambek N., et al. Trends in the synthesis of metal oxide nanoparticles through reverse microemulsions in hydrocarbon media. En:

ADVANCES IN COLLOID AND INTERFACE SCIENCE. Sep.vol. 197-198, p. 132-145

KOROLEVA, M.; TOKAREV, A. and YURTOV, E. Simulation of flocculation in W/O emulsions and experimental study. En: COLLOIDS AND SURFACES A: PHYSICOCHEMICAL AND ENGINEERING ASPECTS. Sep 20,. vol. 481, p. 237-243

KRAUEL, Karen, et al. Characterization of colloidal drug delivery systems from the naked eye to Cryo-FESEM. En: MICRON. vol. 38, no. 8, p. 796-803

KUNTSCHE, Judith; HORST, Jennifer C. and BUNJES, Heike. Cryogenic transmission electron microscopy (cryo-TEM) for studying the morphology of colloidal drug delivery systems. En: INTERNATIONAL JOURNAL OF PHARMACEUTICS. vol. 417, no. 1, p. 120-137

LI, Xiangcun, et al. Study on conductivity property and microstructure of TritonX-100/alkanol/n-heptane/water microemulsion. En: COLLOIDS AND SURFACES A: PHYSICOCHEMICAL AND ENGINEERING ASPECTS. vol. 360, no. 1, p. 150-158

LIAN, Yiwei and ZHAO, Kongshuang. Broadband dielectric spectroscopy of micelles and microemulsions formed in a hydrophilic ionic liquid: the relaxation mechanism and interior parameters. En: NEW JOURNAL OF CHEMISTRY. vol. 42, no. 4, p. 2605-2615

LIF, Anna; NYDÉN, Magnus and HOLMBERG, Krister. Water-in-Diesel Microemulsions Studied by NMR Diffusometry. En: JOURNAL OF DISPERSION SCIENCE AND TECHNOLOGY. May 28,. vol. 30, no. 6, p. 881-891

LISSANT, Kenneth J. Emulsions and emulsion technology. New York u.a: Dekker.

LUTZ, Rachel, et al. A Study of the Emulsified Microemulsion by SAXS, Cryo-TEM, SD-NMR, and Electrical Conductivity. En: JOURNAL OF DISPERSION SCIENCE AND TECHNOLOGY. Oct 1. vol. 28, no. 8, p. 1149-1157

M. Villa García; R. Pedroza Islas and G. Rodríguez Gatorno y E. San Martin Martínez. Diagramas de fases y estabilización de microemulsiones agua en aceite y aceite en agua.

M. Villa García; R. Pedroza Islas and G. Rodríguez Gatorno y E. San Martin Martínez. Diagramas de fases y estabilización de microemulsiones agua en aceite y aceite en agua.

MACCLEMENTS, David Julian. Food emulsions. 2. ed. ed. Boca Raton, FL [u.a.]: CRC Press, 2005. ISBN 0849320232

MATSUMOTO, Sachio. Preparation and state of macroemulsions stabilized by small-molecule surfactants. En: FOOD HYDROCOLLOIDS. vol. 3, no. 4, p. 249-261
Mezcla de alcohol graso etoxilado y éster de sorbitán. Emuloil-380E.

MICROEMULSIONES. Inventor(es): DONALD FARNWORTH MICHAEL and ALEXANDER MARTIN. ES2132652TT3. Aug 16.
MODULO DE ENSEÑANZA EN FENOMENOS INTERFACIALES. CUADERNO FIRP S210A.

MORAN, D. P. J. Fats in Spreadable Products

MOTT, Robert L. Mecánica de fluidos (6a. ed.). Naucalpan de Juárez: Pearson Educación, 2006.

MURRAY, Brent S. and DICKINSON, Eric. Interfacial Rheology and the Dynamic Properties of Adsorbed Films of Food Proteins and Surfactants. En: FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY INTERNATIONAL, TOKYO. vol. 2, no. 3, p. 131-145

National Institute of Standards and Technology, (U. S.). Journal of research of the National Institute of Standards and Technology.

NAZIR, Habiba, et al. Uniform-sized silicone oil microemulsions: Preparation, investigation of stability and deposition on hair surface. En: JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE. vol. 364, no. 1, p. 56-64

NOVELO-TORRES, Alma Miriam and GRACIA-FADRIQUE, Jesús. Trayectorias en diagramas ternarios. En: EDUCACIÓN QUÍMICA. Oct.vol. 21, no. 4, p. 300-305.

Peter Chen, et al. Encyclopedia of Food Chemistry: Water. [1]:2018.

PIENIAZEK, P. A., et al. Vibrational spectroscopy and dynamics of water confined inside reverse micelles. En: THE JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY.B. November 12.vol. 113, no. 45, p. 15017-15028

PRÁCTICA 9.- ELABORACIÓN DE MICROEMULSIONES

PRAMANIK, R., et al. Microemulsions with surfactant TX100, cyclohexane, and an ionic liquid investigated by conductance, DLS, FTIR measurements, and study of solvent and rotational relaxation within this microemulsion. En: THE JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY.B. June 10.vol. 114, no. 22, p. 7579-7586

PRAMANIK, Rajib, et al. Solvent and rotational relaxation study in ionic liquid containing reverse micellar system: A picosecond fluorescence spectroscopy study. En: CHEMICAL PHYSICS LETTERS. Aug 25. vol. 512, no. 4-6, p. 217-222

PROSPECTOR, INCI: P PEG M. Kotilen-O/1 VL.
Rapeseed oil fatty acids; methyl esters andethoxylated with approx., 7 EO.
Greenbentin-XES/070.

Real Academia Nacional de Medicina (Spain). Anales de la Real Academia Nacional de Medicina, Madrid.

RESTREPO, Fabio; RESTREPO, Jairo and VARGAS, Leonel. química básica. vol. 1

Ricardo C Pasquali and Gustavo F Helguera. "True" Hydrophilic-Lipophilic Balance of Polyoxyethylene Fatty Acid Esters Nonionic Surfactants. En: JOURNAL OF DISPERSION SCIENCE AND TECHNOLOGY. May 1, vol. 34, no. 5, p. 716

Ricardo C Pasquali and Gustavo F Helguera. "True" Hydrophilic-Lipophilic Balance of Polyoxyethylene Fatty Acid Esters Nonionic Surfactants. En: JOURNAL OF DISPERSION SCIENCE AND TECHNOLOGY. May 1, vol. 34, no. 5, p. 716.

ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. Discussions of the Faraday Society. En: DISCUSSIONS OF THE FARADAY SOCIETY.

SAHA, Ranajay, et al. Microstructure, morphology, and ultrafast dynamics of a novel edible microemulsion. En: LANGMUIR: THE ACS JOURNAL OF SURFACES AND COLLOIDS. Jun 5. vol. 28, no. 22, p. 8309-8317

SALAGER, Jean-Louis, et al. Enhancing solubilization in microemulsions—State of the art and current trends. En: JOURNAL OF SURFACTANTS AND DETERGENTS. Jan.vol. 8, no. 1, p. 3-21

SCHASCHKE, Carl. Aoe dictionary of chemical engineering. 1. ed. ed. Oxford: Oxford Univ. Press, 2014. ISBN 9780199651450

SCHULMAN, J. H. and HOAR, T. P. Transparent Water-in-Oil Dispersions: the Oleopathic Hydro-Micelle. En: NATURE. Jul 24,. vol. 152, no. 3847, p. 102-103

SCHULMAN, Jack H.; STOECKENIUS, Walter and PRINCE, Leon M. Mechanism of Formation and Structure of Micro Emulsions by Electron Microscopy. En: THE JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY. Oct.vol. 63, no. 10, p. 1677-1680

SETH, Debabrata, et al. Interaction of ionic liquid with water with variation of water content in 1-butyl-3-methyl-imidazolium hexafluorophosphate ([bmim][PF6])/TX-100/water ternary microemulsions monitored by solvent and rotational relaxation of coumarin 153 and coumarin 490. En: THE JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS. Jun 14. vol. 126, no. 22, p. 224512

SHINODA, K.; YONEYAMA, T. and TSUTSUMI, H. EVALUATION OF EMULSIFIER BLENDING. En: JOURNAL OF DISPERSION SCIENCE AND TECHNOLOGY. Jan.vol. 1, no. 1, p. 1-12

STAHLA, Michelle L., et al. ¹H NMR studies of aerosol-OT reverse micelles with alkali and magnesium counterions: preparation and analysis of MAOTs. En: LANGMUIR: THE ACS JOURNAL OF SURFACES AND COLLOIDS. Jun 17. vol. 24, no. 12, p. 6027-6035

STAVROUDIS, Chris and DOHERTY, Tiarna. The Modular Cleaning Program in Practice: Application to Acrylic Paintings. En: Anonymous2013. 139 p.

STUBENRAUCH, Cosima, et al. Gelled polymerizable microemulsions. 2. Microstructure. En: LANGMUIR: THE ACS JOURNAL OF SURFACES AND COLLOIDS. Aug 19. vol. 24, no. 16, p. 8473-8482

STUBENRAUCH, Cosima. Microemulsions as Templates for Nanomaterials. En: Anonymous Microemulsions. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2009. 180-210 p. ISBN 9781405167826

TADROS, Tharwat F. Emulsion formation and stability. Weinheim: Wiley-VCH-Verl, 2013. ISBN 9783527319916

The chemistry of phenols. The Hebrew University, Jerusalem, 2003. p. 4-6.

TUINIER, R. and DE KRUIF, C. G. Phase Separation, Creaming, and Network Formation of Oil-in-Water Emulsions Induced by an Exocellular Polysaccharide. En: JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE. Oct 1. vol. 218, no. 1, p. 201-210

WINSOR, P. A. Hydrotropy, solubilization and related emulsification processes. En: TRANSACTIONS OF THE FARADAY SOCIETY. vol. 44, p. 451-471

WIPF, Robert; JAKSCH, Sebastian and STÜHN, Bernd. Dynamics in water-AOT-n-decane microemulsions with poly (ethylene glycol) probed by dielectric spectroscopy. En: COLLOID AND POLYMER SCIENCE. Mar.vol. 288, no. 5, p. 589-601

WOLF, Lukas, et al. Cryo-TEM imaging of a novel microemulsion system of silicone oil with an anionic/nonionic surfactant mixture. Nov 7. vol. 6, no. 21, p. 5367-5374 ZETASIZER NANO Series. ZETASIZER NANO Series. [1]:

ANEXOS

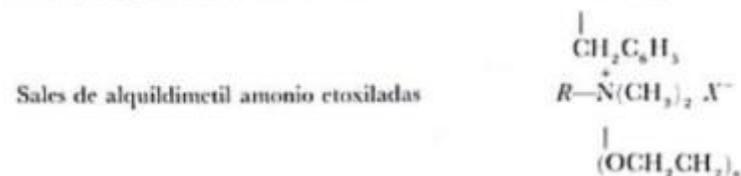
ANEXO A.
Documentación de agentes tensoactivos

Tensoactivos aniónicos

Grupos aniónicos unidos directamente a la unidad hidrófoba	
Jabones de ácidos grasos	$RCOO^- M^+$
Alquil sulfatos	$ROSO_3^- M^+$
Alquil sulfanatos	$RSO_2^- M^+$
Alquil aril sulfonatos	$RC_6H_4SO_3^- M^+$
α -Sulfonil ácidos grasos	$RCHCOO^- M^+$
	$SO_3^- M^+$
Alquil sulfatos secundarios	$RCH(OSO_3^-)R' M^+$
Alquil fosfatos	$ROPO_3^{2-} 2M^+$
Grupos aniónicos unidos por enlaces ésteres	
Sulfatos de monoglicérido	$RCOOCH_2CHOHCH_2OSO_3^- M^+$
Dialquil sulfosuccinatos	$ROCOCH_2$
	$ROCOCHSO_3^- M^+$
(<i>R</i> generalmente C_8-C_{10})	
Poli(etilenglicol éster sulfato	$RCO(OCH_2CH_2)_nOSO_3^- M^+$
Isotionatos	$RCOOCH_2CH_2SO_3^- M^+$
Grupos aniónicos unidos por enlaces éteres	
Alquil éter sulfatos	$R(OCH_2CH_2)_nOSO_3^- M^+$
Fenol éter sulfatos	$RC_6H_4(OCH_2CH_2)_nOSO_3^- M^+$
Alquil éter carboxilatos	$R(OCH_2CH_2)_nOCH_2COO^- M^+$
Grupos aniónicos unidos por enlaces amidas	
Alcanolamida sulfatos	$RCONHCH_2CH_2OSO_3^- M^+$
Taurinas	$RCONHCH_2CH_2SO_3^- M^+$
Sarcosinatos	$RCON(CH_3)CH_2COO^- M^+$
Grupos aniónicos unidos por enlaces amidicos	
Imidazol sulfatos	$ \begin{array}{c} N-CH_2 \\ \quad \\ RC \quad CH_2 \\ \diagdown \quad / \\ N \\ \\ CH_2CH_2OSO_3^- M^+ \end{array} $

Tensoactivos catiónicos

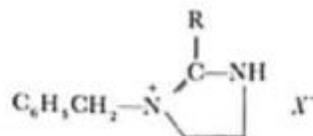
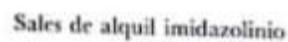
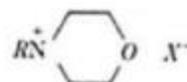
Sales simples de amonio cuaternario en las cuales el nitrógeno está unido directamente a la unidad hidrófoba



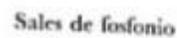
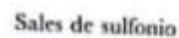
Grupo catiónico separado del grupo hidrófobo



Grupo catiónico localizado en un anillo heterocíclico



Tensioactivos catiónicos no nitrogenados



Tensioactivos dicatiónicos



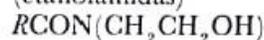
Tensoactivos no iónicos

Alcanolamidas

Alcanolamidas de ácidos grasos

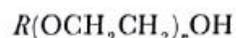


Dialcanolamidas de ácidos grasos

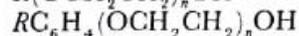


Derivados de polietilenglicol

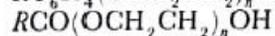
Alquil poliglicol éteres



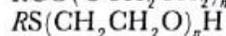
Alquil aril poliglicol éteres



Esteres de poliglicol

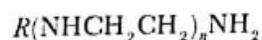


Tioéteres

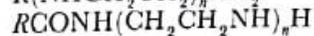


Derivados de polietilenimina

Alquilpolietilenimina



Polietilenimin amidas



Valores calculados de HLB

Nombre	Designación química	Tipo	HLB evaluado
Span 85	Trioleato de sorbitán	No iónico	1.8
Atlas G-1706	Polioxietileno sorbitol	No iónico	2
Emcol PO-50	Derivado de cera de abejas	No iónico	3.4
Span 60	Éster de ácido graso de propilenglicol	No iónico	4.7
Span 40	Monoestearato de sorbitán	No iónico	6.7
Atlas G-2800	Monopalmitato de sorbitán	No iónico	8
Span 20	Dioleato de manitol y polioxipropileno	No iónico	8.6
Brij 30	Monolaurato de Sorbitan	No iónico	9.6
Tween 85	Polioxietileno lauril éter	No iónico	11
Atlas G-2133	Trioleato de polioxietileno sorbitan	No iónico	13.1
Tween 80	Polioxietileno lauril éter	No iónico	15
Tween 40	Mono-oleato de sorbitán polioxietileno	No iónico	16.6

Myrj 51	Monopalmitato de sorbitán polioxietileno	No iónico	16
Myrj 52	Monoestearato de polioxietileno	No iónico	16.9

ANEXO B.

Tablas correspondientes a determinación de viscosidad Aumentando y disminuyendo velocidad para emulsión 1, emulsión 2 y microemulsión.

Determinación de viscosidad aumentando velocidad, emulsión 1

AGUJA S-04			
ASCENDENTE			
	EMULSIÓN 1 (PDMX)		
GRADIENTE DE VELOCIDAD (RPM)	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (cP)
3	7330	7400	7470
4	6850	6900	6950
5	6480	6520	6560
6	6200	6230	6270
10	5600	5620	5640
12	5350	5370	5380
20	4830	4840	4850
30	4473	4480	4487

Determinación de viscosidad disminuyendo velocidad, emulsión 1

AGUJA S-04			
DESCENDENTE			
	EMULSIÓN 1 (PDMX)		
GRADIENTE DE VELOCIDAD (RPM)	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (cP)
30	4507	4513	4520
20	4870	4880	4890
12	5450	5470	5480
10	5680	5700	5720
6	6400	6430	6470
5	6720	6760	6800
4	7100	7150	7200
3	7470	7530	7600

Determinación de viscosidad aumentando velocidad, emulsión 2

AGUJA S-05		
BAJANDO		
	EMULSIÓN 2 (TWEEN 80)	
GRADIENTE DE VELOCIDAD (RPM)	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (cP)
5	9600	9680
6	9470	9530
10	9240	9280
12	9100	9130
20	8800	8820
30	8560	8570

Determinación de viscosidad disminuyendo velocidad, emulsión 2

AGUJA S-05		
SUBIENDO		
	EMULSIÓN 2 (TWEEN 80)	
GRADIENTE DE VELOCIDAD (RPM)	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (cP)
30	8500	8550
20	8740	8760
12	9000	9030
10	9120	9160
6	9270	9330
5	9520	9600

Determinación de la viscosidad aumentando la velocidad, microemulsión

AGUJA S-02			
ASCENDENTE			
	MICROEMULSIÓN		
GRADIENTE DE VELOCIDAD (RPM)	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (cP)
12	357	360	363
20	350	352	354
30	336	337	339

50	320,8	321,6	322,4
60	321,3	322	322,7

Determinación de viscosidad disminuyendo velocidad, microemulsión

AGUJA S-02			
DESCENDENTE			
	MICROEMULSIÓN		
GRADIENTE DE VELOCIDAD (RPM)	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (cP)
60	335	336	336,7
50	329,6	330,4	331,2
30	339	340	341
20	342	344	346
12	350	351	353

ANEXO C.

Tablas correspondientes a determinación de % de torque Aumentando y disminuyendo la velocidad para emulsión 1, la emulsión 2 y la microemulsión.

Determinación porcentaje de torque, aumentando velocidad angular en emulsión 1

AGUJA S-04			
ASCENDENTE			
GRADIENTE DE VELOCIDAD (RPM)	EMULSIÓN 1 (PDMX)		
	% TORQUE	% TORQUE	% TORQUE
3	11	11,1	11,2
4	13,7	13,8	13,9
5	16,2	16,3	16,4
6	18,6	18,7	18,8
10	28	28,1	28,2
12	32,1	32,2	32,3
20	48,3	48,4	48,5
30	67,1	67,2	67,3

Determinación porcentaje de torque, disminuyendo velocidad angular en emulsión 1

AGUJA S-04			
DESCENDENTE			
GRADIENTE DE VELOCIDAD (RPM)	EMULSIÓN 1 (PDMX)		
	% TORQUE	% TORQUE	% TORQUE
30	67,5	67,7	67,8
20	48,7	48,8	48,9
12	32,7	32,8	32,9
10	28,4	28,5	28,6
6	19,2	19,3	19,4
5	16,8	16,9	17
4	14,2	14,3	14,4
3	11,2	11,3	11,4

Determinación porcentaje de torque, aumentando velocidad angular en emulsión 2

AGUJA S-05		
ASCENDENTE		
	EMULSIÓN 2 (TWEEN 80)	
GRADIENTE DE VELOCIDAD (RPM)	% TORQUE	% TORQUE
5	12	12,1
6	14,2	14,3
10	23,1	23,2
12	27,3	27,4
20	44	44,1
30	64,2	64,3

Determinación porcentaje de torque, disminuyendo velocidad angular en emulsión 2

AGUJA S-05		
DESCENDENTE		
	EMULSIÓN 2 (TWEEN 80)	
GRADIENTE DE VELOCIDAD (RPM)	% TORQUE	% TORQUE
30	64	64,1
20	43,7	43,8
12	27	27,1
10	22,8	22,9
6	13,9	14
5	11,9	12

Determinación porcentaje de torque, aumentando velocidad angular en microemulsión

AGUJA S-02			
ASCENDENTE			
GRADIENTE DE VELOCIDAD (RPM)	MICROEMULSIÓN		
	% TORQUE	% TORQUE	% TORQUE
12	10,7	10,8	10,9
20	17,5	17,6	17,7
30	25,2	25,3	25,4
50	40,1	40,2	40,3
60	48,2	48,3	48,4

Determinación porcentaje de torque, disminuyendo velocidad angular en microemulsión

AGUJA S-02			
DESCENDENTE			
GRADIENTE DE VELOCIDAD (RPM)	MICROEMULSIÓN		
	% TORQUE	% TORQUE	% TORQUE
60	50,3	50,4	50,5
50	41,2	41,3	41,4
30	25,4	25,5	25,6
20	17,1	17,2	17,3
12	10,4	10,5	10,6

Factura de consumo de agua, Industrias Químicas Saint Germain Ltda.

FACTURA P-2 MESES

acueducto
AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ
Línea de atención y emergencias 116 Actualinea
www.acueducto.com.co

130 años

Datos del usuario
CL 53 SUR 18C 27 LC 1
INMUEBLE (CORRESPONDENCIA): TALLERITO SAN CARLOS
ESTRATO: 2 CLASE DE USO: Comercial
UNO HABIT/FAMILIAS: 0 UNO NO HABITACIONAL: 1
ZONA: 4 CICLO: G4 RUTA: G44256

Datos del medidor
MARCA: MERCATA NÚMERO: 5419321082 TIPO: VELOUSC DIÁMETRO: 1/2"

CUENTA CONTRATO
Número para cualquier consulta: **10061332**

Factura de Servicios Públicos No. Número para pagos
30785837110

TOTAL A PAGAR
Agua + Alcantarillado + Aseo (ver al respaldo)
+ Cobro a terceros (ver al respaldo)
\$123.220

Fecha de pago oportuno
NOV/07/2018

Fecha límite de pago para evitar suspensión
NOV/13/2018

Datos del consumo
ULTIMA LECTURA: 1967 CONSUMO (m³): 10
LECTURA ANTERIOR: 1947
FACTURADO CON: Consumo Normal Descargar fuente externa 0
Últimos consumos m³:
7: 1948-1952, 8: 1953-1957, 9: 1958-1962, 10: 1963-1967, 9: Promedio m³

Periodo facturado
AGO/05/2018 - OCT/03/2018
FECHA DE EXPEDICIÓN: OCT/24/2018 FECHA ESPERADA DE LA PRÓXIMA FACTURA: DIC/29/2018

Resumen de su cuenta

Descripción	Cantidad	Costo		Subtotal (1) + Aporte	Tasa Unitaria	Valor a Pagar	Otros Cobros	No.	Cuota	Interes	Total	Saldo
		Valor Unitario	Valor Total									
Acueducto												
Cargo fijo residencial												
Consumo residencial básico												
Consumo residencial superior a básico												
Cargo fijo no residencial												
Consumo no residencial (m ³)	10	\$2.531,84	\$25.318,4	\$12.470	\$1.247,00	\$38.008						
Subtotal Acueducto (1)				\$38.311	\$18.156	\$12.467						\$3
Alcantarillado												
Cargo fijo residencial												
Consumo residencial básico												
Consumo residencial superior a básico												
Cargo fijo no residencial												
Consumo no residencial (m ³)	10	\$6.126,05	\$6.127	\$3.063	\$3.063,00	\$1.190						
Subtotal Alcantarillado (2)				\$12.658	\$18.338	\$48.888						
Descuento mínimo vital (12 metros cúbicos sin costo en estrato 1 y 2)						\$0						
TOTAL AGUA, ALCANTARILLADO Y OTROS COBROS (1 + 2 + 3 + 4)						\$106.450						
							CONSUMO MES AGUA + ALCANTARILLADO		\$53.227			
										CONSUMO DÍA AGUA Y ALCANTARILLADO		\$1.774

Factura de silicona industrial



Bogotá, 18 de septiembre de 2018

Ing. Ana María Guevara

Nos permitimos enviar para su consideración la oferta comercial para el siguiente producto:

PRODUCTO	INCI	CONTRATIPO	EMPAQUE	\$/CENTIMETRO CUBICO
Silicona I	SL- INDU	SILICONA 658	EMPAQUE 240 CC	12000+ IVA

Condiciones comerciales:

Producto puesto en Bogotá D.C.

REVISADO
Por Lisbeth Ramirez Ariza 03/09/2018



CIACOMEQ S.A. SEGURO QUE LOS RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE CERTIFICADO SON TOMADOS DE LA INFORMACIÓN SUBMITIDA POR EL ESTRO PROVEEDOR. POR LO TANTO SON CERTIFICADOS A TRAVÉS DE SU TÉCNICO DE ANÁLISIS, ESTA INFORMACIÓN NO DEBE AL COMPRADOR DE REALIZAR SUS PROPIOS ANÁLISIS.

Factura de agente tensoactivo F50



Bogotá, 18 de septiembre de 2018

Ing. Ana María Guevara

Nos permitimos enviar para su consideración la oferta comercial para los siguientes productos:

PRODUCTO	INCI	CONTRATIPO	PAÍS	FABRICANTE	EMPAQUE	\$/KILOGRAMO
De 050	De 50	EHS0			Garrafa 20 kg	\$11.000 + IVA

Condiciones comerciales:

Producto puesto en Bogotá D.C.

Forma de pago:	CRÉDITO A TREINTA (30) DÍAS
Tiempo de entrega:	A CONVENIR
Validez de la oferta:	18 de octubre de 2018

Atentamente,
ING. Gustavo A. Garcia V.
Asesor técnico comercial
Bogotá, Colombia