

Formulación de una Emulsión para Cortes Metalmecánicos Requerida por la Empresa Zumotec
S.A.

Yudid Liliana Anaya Caro, Laura Daniela Cáceres Blanco

Trabajo de Grado Presentado como Requisito para Optar por el Título de:

Ingeniera Química

Director

Ronald Alfonso Mercado Ojeda

Ph.D. En Ingeniería de Productos y Procesos

Codirectora:

Leydy Paola Barrera Lemus

Ingeniera Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

A Dios que por medio de su amor me brindo sabiduría, conocimiento, entendimiento y la fuerza necesaria para no abandonar en los momentos complejos y llenos de incertidumbre durante todo este proceso de formación.

A mi papá Carlos Eduardo Cáceres Medina y a mi mamá Alba Lucia Blanco Jaime, quienes son los merecedores de todo lo que he logrado, por su berraquera, por el esfuerzo tan brutal que hacen día a día para poder brindarme con todo el amor del mundo la dedicación y apoyo tan inmenso que recibo todos los días de mi vida. Por enseñarme que las grandes batallas son para grandes guerreros.

A mis hermanos Vanessa Cáceres Blanco, Oscar Cáceres Blanco y a toda mi familia que, desde la distancia por medio de llamadas, mensajes, oraciones siempre estuvieron ahí con la mejor disposición y entrega para apoyarme en este camino.

A mis amigos, Lina, Micheel, Zabala, Enrique, Brayan, Stefanny, Anita, Guelmi, Oscar, Ludys por su compañía, alegría, ayuda y hacer de esto un mejor recuerdo.

A mi compañera de proyecto Yudid Anaya por su compañía y apoyo.

Laura Daniela Cáceres Blanco

Dedicatoria

A Dios por darme la sabiduría, entendimiento y fuerza durante estos años para lograr salir victoriosa de esta batalla.

A mis padres Luis Alberto Anaya Mesa y Alix Caro Tarazona por el apoyo incondicional durante toda mi vida, han sido el motor para que yo pueda lograr cada cosa que quiero, porque todo el esfuerzo se ha visto reflejado.

A mis hermanas Mónica Adriana Anaya Caro y Sandra Yamile Anaya Caro por su compañía, comprensión y aliento en todo momento; son y serán mi compañía siempre. A mi sobrina Korin Soffia Camacho Anaya por alegrar cada minuto de mi existencia desde su llegada y a mi familia en general por el apoyo.

A mis amigos Deya, Diego, Norita, Evelyn, Dayana y Sergio por acompañarme en este camino y ser alegría en momentos difíciles.

A mi compañera de proyecto Daniela Cáceres por la entrega, dedicación y apoyo para la realización de este.

Yudid Liliana Anaya Caro

Agradecimientos

A la **Universidad Industrial de Santander**, por aportar y contribuir con nuestra formación moral, ética y profesional.

A la empresa **Zumotec S.A**, por creer y brindarnos la oportunidad de realizar el proyecto investigativo dentro de sus instalaciones además del apoyo recibido durante la realización de este.

Al Ph. D. **Ronald Alfonso Mercado Ojeda**, por el acompañamiento, conocimiento, apoyo y compromiso en el desarrollo de esta investigación.

A nuestra codirectora **Leydy Paola Barrera Lemus** y tutor **Camilo Andrés Picón Prada**, por la dedicación y esfuerzo brindado para que se culminara de la mejor forma este proyecto.

Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Objetivos	17
1.1 Objetivo General	17
1.2 Objetivos Específicos	17
2. Metodología	18
2.1 Selección de materias primas	18
2.2 Revisión y selección de surfactantes	19
2.1.1 Sistema aniónico	20
2.1.2 Sistema no iónico	21
2.1.3 Sistema catiónico- no iónico	21
2.2 Formulación de diferentes emulsiones	22
2.2.1 Preparación de las emulsiones	25
2.3 Evaluación de las formulaciones más prometedoras	26
2.3.1 Estabilidad	26
2.3.2 Adecuación de la viscosidad de las formulaciones finales	27
2.3.4 Prueba de corrosión para astillas de acero al carbono 1020	29
3. Resultados	30
3.1 Variación de las proporciones en la mezcla de surfactantes	30
3.2 Variación de la relación agua / aceite (WOR)	33
3.3 Variación de los aditivos	37

3.4 Composiciones finales	41
3.4 Potencial de Hidrógeno (pH)	41
3.5 Estabilidad	42
3.6 Adecuación de la viscosidad de las formulaciones finales	43
3.7 Prueba de corrosión para astillas de acero al carbono 1020	44
4. Conclusiones	47
5. Recomendaciones	48
Referencias	50
Apéndice	53

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Metodología por etapas empleada durante el desarrollo de la investigación.	18
Figura 2. Planteamiento de los tres sistemas de surfactantes a emplear.	20
Figura 3. Preparación de la emulsión.	26
Figura 4. Separación de fases en tres zonas de las emulsiones con el tiempo.	27
Figura 5. Variación de las proporciones en la mezcla de surfactantes del sistema 1.	32
Figura 6. Variación de las proporciones en la mezcla de surfactantes del sistema 2.	32
Figura 7. Variación de las proporciones en la mezcla de surfactantes del sistema 3.	33
Figura 8. Variación de la relación agua / aceite en el sistema 1 con HLB=11,2.	34
Figura 9. Variación de la relación agua / aceite en el sistema 1 con HLB=14,6.	35
Figura 10. Variación de la relación agua / aceite en el sistema 2 con HLB=11,74.	35
Figura 11. Variación de la relación agua / aceite en el sistema 2 con HLB=9,26.	36
Figura 12. Variación de la relación agua / aceite en el sistema 3 con HLB=15,8.	36
Figura 13. Variación de la relación agua / aceite en el sistema 3 con HLB=13,5.	37
Figura 14. Variación de los aditivos del sistema 1.	38
Figura 15. Variación de los aditivos del sistema 2.	39
Figura 17. Composiciones de las emulsiones finales.	41
Figura 18. Estabilidad de las emulsiones en el tiempo.	43
Figura 19. Descripción general de la configuración del método de prueba de corrosión (a) papel de filtro con placa de Petri, (b) fluido de corte vertido en placa de Petri, (c) 4g de chips de acero 1020 en el papel de filtro y (d) unión del fluido con el acero y la caja Petri tapada.	44

Figura 20. Papel de filtro oxidado después de la prueba de corrosión con varias concentraciones de (a) Sistema 1, (b) Sistema 3 con 1% aditivos, (c) sistema 3 con 2% aditivos. 47

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Variación de las proporciones en la mezcla de surfactantes.	23
Tabla 2. Variación de la relación agua/aceite.	23
Tabla 3. Variación de los aditivos para el sistema 1 y 2.	24
Tabla 4. Variación de los aditivos para el sistema 3.	24
Tabla 5. Adecuación de la viscosidad para el sistema 1.	28
Tabla 6. Adecuación de la viscosidad para el sistema 3.	28
Tabla 7. Representación de los grados y porcentajes para la evaluación de la formación de corrosión en el papel filtro.	30
Tabla 8. Calificación de óxido en el papel filtro de los sistemas 1 y 3	46

Lista de Apéndice

	Pág.
Apéndice A. Cálculos sistema aniónico	54
Apéndice B. Variaciones Del Sistema 1	57
Apéndice C. Variaciones Del Sistema 2	61
Apéndice D. Variaciones del sistema 3.	64
Apéndice E. Aditivos Preliminares	67
Apéndice F. Análisis Estadístico	70
Apéndice G. Ficha Técnica Aceite De Ricino	79
Apéndice H. Ficha Técnica Acero Al Carbono AISI / SAE 1020	80
Apéndice I. Designation: D 4627 – 92 (Reapproved 2007) An American National Standard Standard Test Method For Iron Chip Corrosion For Water–Dilutable Metalworking Fluids	83

Resumen

Título: formulación de una emulsión para cortes metalmecánicos requerida por la empresa Zumotec S.A.*

Autores: Yudid Liliana Anaya Caro, Laura Daniela Cáceres Blanco**

Palabras claves: Taladrina, surfactantes, estabilidad, corrosión, lubricación

Descripción

El objetivo principal para esta investigación fue formular una emulsión para cortes metalmecánicos que sea lo suficientemente estable y cumpla con las características de inhibición a la corrosión. Este fluido generalmente es formulado a base de aceites minerales, donde su uso a largo plazo tiene gran impacto negativo en el medio ambiente. De ahí, se plantea la formulación de una emulsión aceite en agua (O/W) a base de aceite vegetal (ricino), con el uso de la trietanolamina (TEA) como inhibidor de corrosión y las isotiazolinonas (Koralone) para evitar la proliferación de microorganismos y así llegar a un producto que sea fisicoquímicamente estable.

De esta manera, se plantearon tres sistemas diferentes de acuerdo con el tipo de surfactantes usados (aniónico, no-iónico y catiónico-no iónico) en los que se tuvieron en cuenta parámetros de evaluación como, proporción de surfactantes, relación agua/aceite (WOR), proporción de aditivos y pH. Mediante un análisis estadístico en Minitab 19 y como parámetro de elección el volumen mayor de emulsión formada entre las muestras a los tres días de preparación, se seleccionaron las formulaciones más prometedoras de cada sistema para luego realizar las pruebas complementarias (corrosión y viscosidad).

La emulsión del sistema aniónico con una formulación de 40% de ácido oleico, 60% oleato de sodio, 0,2 de WOR y aditivos 0,07 Koralone y 0,93 de TEA con un pH de 9,43, resultó ser la más adecuada para ser usada como fluido de corte, ya que mostró el mejor balance entre estabilidad e inhibición a la corrosión, además de mostrar buen ajuste de la viscosidad.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Ronald Alfonso Mercado Ojeda Ph.D. En Ingeniería de Productos y Procesos. Codirectora: Leydy Paola Barrera Lemus Ingeniera Química.

Abstract

Title: emulsion formulation for mechanical cutting applications required by the company Zumotec S.A.*

Authors: Yudid Liliana Anaya Caro, Laura Daniela Cáceres Blanco**

Keywords: Emulsion, Surfactants, Stability, Corrosion, Lubrication

Description

The main objective of this research was to formulate an emulsion for mechanical cutting applications that not only is sufficiently stable, but also meets the corrosion inhibition characteristics. This fluid is generally based on mineral oils, so that its long-term use leads to environmental pollution. For this reason, an alternative oil-in-water (O/W) emulsion was developed by using vegetable oil (castor oil), as well as triethanolamine (TEA) as corrosion inhibitor and isothiazolinones (Koralone) as preservative to get a product both physically and chemically stable.

Accordingly, three different systems were proposed regarding to the type of surfactants used (anionic, no-ionic and cationic- no-ionic) in which evaluation parameters such as surfactant ratio, water/oil ratio (WOR), additives ratio and pH were taken into account. Then a statistical analysis was ran in Minitab 19 taking the volume of emulsion formed among the samples after three days of preparation as a response variable. Then the most promising formulations of each system were selected to make complementary tests (corrosion and viscosity).

The emulsion of the anionic system (40% oleic acid, 60% sodium oleate, 0,2 WOR and 0,07% koralone and 0,93% TEA additives with a pH of 9,43) proved to be most suitable emulsion to be used as a cutting fluid, as it showed not only the best balance between stability and corrosion inhibition, but also good viscosity behavior.

* Degree Work

** Faculty of Physical-Chemical Engineering. Department of Chemical Engineering. Director: Ronald Alfonso Mercado Ojeda Ph.D. In Product and Process Engineering. Co-Director: Leydy Paola Barrera Lemus Chemical Engineer.

Introducción

La transformación social, económica y tecnológica en el siglo XVIII que trajo consigo la revolución industrial aumentó drásticamente la elaboración de maquinarias, herramientas, instrumentos y demás ingenios necesarios para la transformación de materias primas en productos elaborados y/o semielaborados. Es por ello que una de las industrias que más evolucionó fue la industria metalmeccánica, encargada del proceso de corte de metales mediante su manipulación por medio del ensamble de piezas metálicas (Rodríguez Friedrich, 2011).

A finales del siglo XIX la implementación de los motores eléctricos y turbinas de vapor llevó a que la transformación del metal fuese realizada a velocidades más altas, produciendo un aumento en el roce entre la máquina y la pieza. Dicho roce era controlado tradicionalmente mediante el uso de grasas animales o aceites vegetales. Sin embargo, estos generaban malos olores, ranciedad, y problemas dermatológicos, por lo que investigaciones más profundas llevaron años más tarde al surgimiento de los aceites solubles, los cuales permitieron responder a las exigencias tanto de lubricación como de refrigeración propias de los diferentes procesos (Rodríguez Friedrich, 2011).

Dentro de los aceites solubles las emulsiones han generado especial atención, ya que por su composición son muy versátiles y ampliamente usadas para operaciones de corte de altas exigencias (*Insumos*, s. f.), donde la fase oleosa proporciona buena lubricación (capacidad de reducir la fricción), y el agua suministra enfriamiento al tener un alto calor específico y alta conductividad térmica (Al-Sabagh et al., 2012).

En las emulsiones se busca la dispersión de un líquido en otro líquido inmiscible gracias a un tercer compuesto cuya función es la de reducir la tensión interfacial llamado surfactante, el cual puede ser catiónico, aniónico o no iónico según su ionización en el agua. Esta sustancia

aumenta la estabilidad de la emulsión adsorbiéndose en la interfase. La densidad interfacial de surfactante depende de la relación agua/aceite (WOR) y el valor de equilibrio lipofílico-hidrofílico (HLB), que es su afinidad por el agua o por el aceite. Valores de HLB mayores a 11 indican una afinidad a la fase acuosa; menores a 9 serán afines a la fase oleosa, y dentro de este rango tendrán un carácter intermedio (Villareal Pozo, 2019).

Uno de los problemas principales en la formulación de emulsiones, es que estas son producidas usando aceites de origen petroquímico y sintético, los cuales son tóxicos, irritantes, no biodegradables, y generan contaminación durante su fabricación y uso (Villamizar Palomino, 2013). Esto se debe a que contienen material graso, azufre libre, parafina clorada, aceites sulfurados y compuestos de fósforo (Dixit et al., 2012), y al cumplir su ciclo de utilidad pueden contener metales pesados, gases disueltos (NO_2 , CO , CO_2), compuestos orgánicos tóxicos y compuestos aromáticos polinucleares, siendo estos últimos cancerígenos (Villamizar Palomino, 2013). Aunque el volumen de residuos generados es bajo, los riesgos de contaminación son altos y representan del 16 al 20% del costo total de fabricación (Cabello Martín, 2016). Es por ello que la producción de fluidos de corte provenientes de origen vegetal se ha posicionado como una alternativa atractiva tanto ambientalmente, ya que al concluir su vida útil son altamente biodegradables (convertir las moléculas orgánicas en CO_2 y energía residual), tienen baja contaminación del medio y poseen baja toxicidad, como en su aplicabilidad por tener altos puntos de inflamación, mejor rendimiento de corte, altos puntos de vaporización y buena compatibilidad con los aditivos (Cabello Martín, 2016).

Belluco y De Chiffre evaluaron el rendimiento de una amplia gama de aceites minerales y vegetales como fluidos de corte en diferentes operaciones de mecanizado y se encontró que los aceites de base vegetal muestran igual o mejor rendimiento que el aceite de referencia mineral

comercial en todas las operaciones (Cabello Martín, 2016). No obstante, hay diversos factores que deben controlarse con el fin de garantizar el buen desempeño y la estabilidad del fluido de corte. En primer lugar, el potencial de hidrogeno o pH debe permanecer en valores entre 8-10 (*FLUIDOS DE CORTE*, s. f.), ya que valores inferiores pueden provocar rancidez, desarrollo de bacterias, corrosión ferrosa e inestabilidad de la mezcla, mientras que valores superiores incrementan el riesgo de dermatitis e irritaciones en la piel, afectan la corrosividad del fluido y el control de la corrosión de metales no ferrosos (*Introducción a los fluidos de corte*, s. f.).

Otro factor a tener en cuenta es la inhibición de la corrosión, la cual es una característica indispensable en los fluidos de corte dado la presencia de agua en la formulación (Rodríguez Friedrich, 2011). Entre las sustancias más utilizadas se encuentran las etanolaminas que bajo concentraciones adecuadas se ajustan a una gran variedad de aplicaciones cosméticas e industriales, además de ser utilizados como reguladores de pH (Rodríguez Friedrich, 2011). Por otro lado, un último factor que se debe tener en cuenta es el control microbiológico, puesto que la presencia de hongos y bacterias alteran las propiedades fisicoquímicas del fluido produciendo efectos totalmente contrarios a los deseados (Rodríguez Friedrich, 2011). En fluidos de corte, las isotiazolinonas son ampliamente empleadas debido a su gran efectividad a concentraciones bajas (0,02%-0,3%), su bajo costo y su buena compatibilidad con diferentes tipos de formulaciones en rangos variables de pH (Vásquez Chirinos et al., 2016).

De acuerdo con el panorama descrito anteriormente, para ZUMOTEC S.A empresa Santandereana de base tecnológica con casi 20 años de experiencia en investigación e innovación de procesos, permitiéndoles el alcance de sus metas que incluyen el desarrollar, fabricar y comercializar productos industriales, bioseguridad, limpieza y desinfección con altos estándares de calidad, es de gran interés y representa un reto el desarrollo de actividades conducentes a la

producción de un fluido de corte amigable con el medio ambiente, que cumpla con las características de estabilidad y de inhibición de corrosión, con el propósito de responder a las necesidades de la industria nacional.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Formular una emulsión para cortes metalmecánicos que sea lo suficientemente estable y cumpla con las características de inhibición a la corrosión.

1.2 Objetivos Específicos

Establecer los parámetros y materias primas para la formulación de la emulsión de cortes metalmecánicos.

Determinar la formulación óptima para cada uno de los sistemas planteados.

Seleccionar la formulación más adecuada en función de la estabilidad de las emulsiones preparadas con cada sistema.

Evaluar la eficiencia del inhibidor de corrosión en las formulaciones más prometedoras para cada sistema.

2. Metodología

El desarrollo de este proyecto de investigación se llevó a cabo en cuatro etapas: a) selección tanto de materias primas como de los parámetros a evaluar; b) revisión y selección de surfactantes para el planteamiento de los tres sistemas; c) formulación de diferentes emulsiones y d) evaluación de las formulaciones más prometedoras en términos de estabilidad y corrosión.

Figura 1.

Metodología por etapas empleada durante el desarrollo de la investigación.

ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4
<ul style="list-style-type: none"> • Selección de las materias primas y aditivos. • Establecer parámetros a evaluar tales como: pH, composición de aditivos y relación agua/aceite 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de surfactantes para el planteamiento de tres sistemas. <ul style="list-style-type: none"> -Aniónico -No iónico -Catiónico/No iónico 	<ul style="list-style-type: none"> • Formulaciones para cada sistema teniendo en cuenta los parámetros establecidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de las emulsiones más prometedoras. • Estabilidad • Prueba de corrosión.

2.1 Selección de materias primas

Para la selección de materias primas se tiene en cuenta la fase interna, la fase externa y los aditivos correspondientes para la conservación de la emulsión y la inhibición de la corrosión.

Para la fase interna se utilizó aceite de ricino (O) (ver ANEXO 7) ya que presenta una alta proporción de ácidos grasos insaturados constituidos principalmente por ésteres de ácido ricinoleico los cuales le confieren características químicas particulares diferentes a los demás

aceites vegetales (Córdoba Gaona, 2013). Este aceite al tener 30% más lubricidad que otros reduce el coeficiente de fricción entre la herramienta y la pieza disminuyendo el desgaste de éstas, también reduce las emisiones de diversos gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono y de azufre, siendo así reconocido como el aceite verde y la materia prima del futuro (Cabralés R et al., 2014); mientras que en la fase externa se usó agua (W) por sus propiedades como refrigerante económico, alto calor específico (absorber calor), alta conductividad térmica (disipar el calor) y alto calor de vaporización (*Insumos*, s. f.), lo que permite eliminar el elevado calor que produce la operación de mecanizado tanto en la herramienta de corte como en la pieza a cortar.

Como primer aditivo se seleccionó Trietanolamina (TEA) como inhibidor de corrosión, que se usa a concentraciones de entre el 1% y 3% en aplicaciones similares (Noor El-Din et al., 2018). Cabe destacar que la TEA es un buen regulador de pH lo que asegura que el fluido de corte se mantenga dentro de un rango alcalino (Rodríguez Friedrich, 2011). Para la inhibición microbiológica se empleó una mezcla de izotiazolinonas (Koralone Bioclean) compuestas principalmente de 1,125% de MI (2metil-4isotiazolin-3ona) y 0,375% de MCI (5cloro-2metil-4isotiazolinona), que son usadas con frecuencia como biocidas debido a su eficiencia contra hongos, levaduras y bacterias gram positivas y negativas. El rango de concentraciones para ser empleadas es de 0,02 a 0,3% (Vásquez Chirinos et al., 2016).

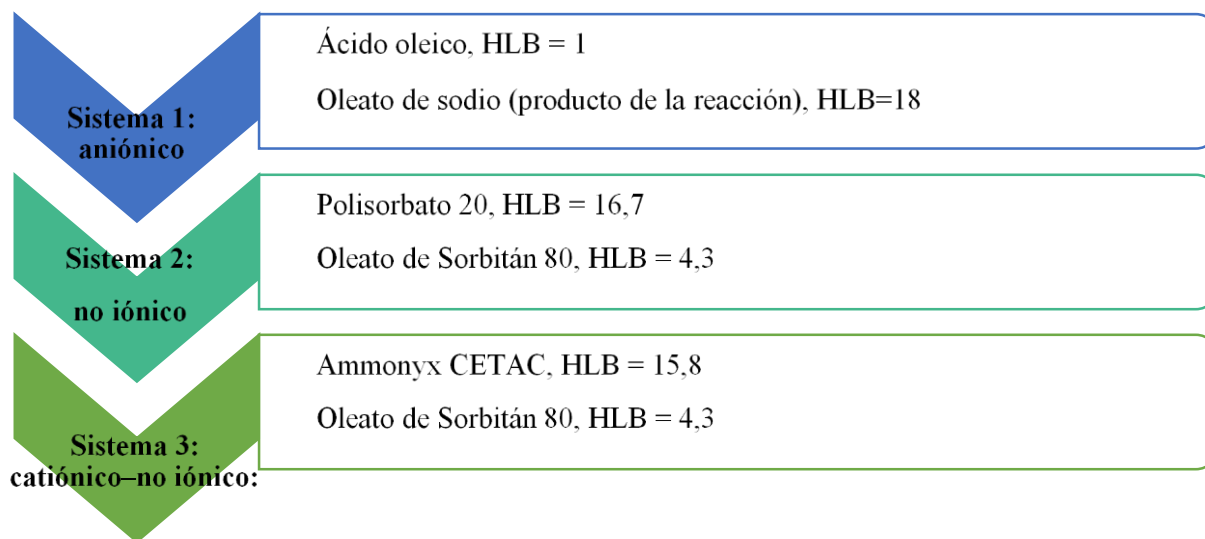
2.2 Revisión y selección de surfactantes

Para la selección de los surfactantes se tuvieron en cuenta dos aspectos, la disposición de estos en la empresa y la capacidad del surfactante para formar una emulsión la cual se expresa en términos del valor del equilibrio hidrofílico-lipofílico (HLB) (Bataller et al., 2004).

Por razones de eficiencia y de costo se usaron emulsionantes compuestos por una mezcla de varios surfactantes (Salager, 1999). En este caso se definieron tres sistemas: El primero compuesto por ácido oleico y su respectiva sal de sodio (sistema aniónico), el segundo por los surfactantes Polisorbato 20 y Oleato de Sorbitán 80 (sistema no iónico) y el tercer sistema por Ammonyx CETAC- Oleato de Sorbitán 80 (sistema catiónico/no iónico). Los tres sistemas planteados se presentan en la figura 2:

Figura 2.

Planteamiento de los tres sistemas de surfactantes a emplear.



2.1.1 Sistema aniónico

El ácido oleico se encuentra en gran cantidad en la mayor parte de los aceites vegetales y grasas animales teniendo gran afinidad lipofílica con un HLB = 1. Los ácidos grasos en particular de origen natural son de gran importancia como materia prima en la industria de jabones y surfactantes ya que permiten estabilidad a la oxidación y a las altas temperaturas (descomposición lenta) (*PROPIEDADES DEL ÁCIDO OLEICO* » *El ácido graso de la naturaleza*, 2019). Además, el ácido oleico en presencia de NaOH produce su sal de sodio conocida como oleato de sodio (ver ANEXO 1) siendo éste el segundo surfactante usado en la mezcla, el uso de este compuesto como emulsionante se basa en su buena solubilidad en agua (HLB =18) (*¿Cómo se usa el oleato de sodio?*, s. f.).

2.1.2 Sistema no iónico

El polisorbato 20 conocido comercialmente como Tween 20 es un emulsificante no iónico formado por la copolimerización del sorbitán anhidro y 20 moles de óxido de etileno. Este tiene gran estabilidad, lo cual le permite ser usado como emulsificante en un gran número de aplicaciones domésticas, científicas y farmacéuticas (Medina R et al., 2008). Posee afinidad a la fase acuosa ya que su HLB=16 y para obtener una mejor eficiencia se usa en combinación con el oleato de sorbitán o Span 80, ya que éste posee afinidad lipofílica con un HLB = 4,3 y la mezcla contribuye a la estabilidad general de las emulsiones O/W.

2.1.3 Sistema catiónico- no iónico

El Ammonyx CETAC es una solución acuosa de cloruro de cetil trimetil amonio que funciona como agente emulsionante siendo además un fluido biodegradable (*AMMONYX® CETAC*, 2015), tiene afinidad a sustancias hidrofílicas ya que cuenta con un $HLB = 15,8$. Asimismo como surfactante lipofílico también se usó Oleato de sorbitán o Span 80 con $HLB = 4,3$.

2.2 Formulación de diferentes emulsiones

Para la formulación de la emulsión se estudiaron inicialmente las proporciones de surfactantes de cada mezcla, seguido de esto la relación agua / aceite (WOR) y finalmente la cantidad adecuada de aditivos.

En la práctica, al formular emulsiones se encuentra que la concentración de emulsionante debe estar en el rango de 0,2 – 3% puesto que, por debajo de esta concentración no hay suficiente emulsionante para estabilizar la emulsión y algunas unidades por encima no se ganará nada aumentando la concentración y lo único que se logrará es perder materia prima (Salager, 1999). Por lo descrito anteriormente y por ensayos preliminares realizados se fijó la concentración de surfactantes en 3% lo que permite disminuir una variable, ya que lograr una buena formulación al combinarlas no es una tarea fácil, puesto que las propiedades no son siempre independientes las unas de las otras y a menudo contribuyen a producir efectos opuestos (Salager, 1999).

De forma similar se estableció un WOR de 1 como valor inicial en donde la cantidad tanto de fase acuosa como de fase orgánica son iguales. Posteriormente, se disminuyó el valor con el propósito de obtener emulsiones estables con tamaños de gota más pequeños (Salager, 1999).

Variación de las proporciones en la mezcla de surfactantes.

Tabla 1.

Variación de las proporciones en la mezcla de surfactantes.

SURFACTANTE 1	100%	80%	60%	40%	20%	0%
SURFACTANTE 2	0%	20%	40%	60%	80%	100%

Se escogen las 2 mejores proporciones de surfactantes para la siguiente fase teniendo en cuenta las que tuvieron mayor volumen de emulsión formado.

La relación agua / aceite (WOR) se varió de la siguiente manera:

Tabla 2.

Variación de la relación agua/aceite.

AGUA	15	10	5	3
ACEITE	15	20	25	27
WOR	1	0.5	0.2	0.11

Se elige el WOR más adecuado para la formulación teniendo en cuenta el volumen de emulsión formada.

Teniendo la proporción de surfactantes y el WOR adecuados para cada sistema se procede a variar en 1% y 2% el total de los aditivos de acuerdo con las tablas que se presentan a continuación. Cabe destacar que no se tomaron valores de TEA cercanos al 3% debido a que

muestras preliminares (ver ANEXO 5) reflejaron inestabilidad de la emulsión en valores por encima del 2%.

Tabla 3.

Variación de los aditivos para el sistema 1 y 2.

% KORALONE	0.3 %	0.2%	0.1 %	0,03 %
% TEA	1.7 %	1.8 %	1.9 %	1,97 %
% KORALONE	0.03 %	0.05 %	0.07 %	0.1%
% TEA	0.97 %	0.95 %	0.93%	0.9%

Tabla 4.

Variación de los aditivos para el sistema 3.

% KORALONE	0.3 %	0.2%	0.1 %	0,03 %	-
% TEA	1.7 %	1.8 %	1.9 %	1,97 %	-
% KORALONE	0,13%	0,15%	0,17%	0,20%	0,30%
% TEA	0,87%	0,85%	0,83%	0,80%	0,70%

Las pruebas desarrolladas anteriormente se realizaron por duplicado y de los datos obtenidos se realizó un análisis estadístico con el fin de estudiar las diferencias significativas en las cantidades de emulsión obtenida usando el programa Minitab 19. Inicialmente, se hizo la prueba de normalidad mediante el método Shapiro-Wilk. Una vez obtenido el estadístico de prueba se realizó un análisis de varianza por medio del ANOVA de un solo factor para datos paramétricos, o el test de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos (ver ANEXO 6).

Finalmente, se eligió una muestra de cada sistema para realizar las pruebas de viscosidad, estabilidad e inhibición a la corrosión.

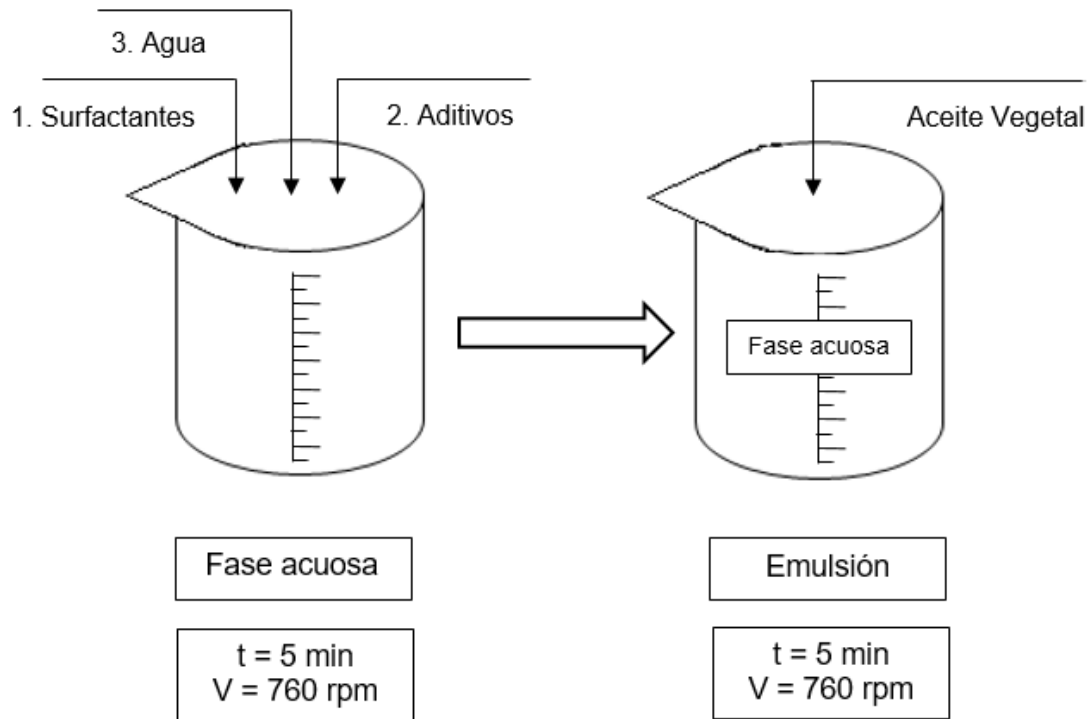
2.2.1 Preparación de las emulsiones

Para las diferentes formulaciones en cada sistema se prepararon 30 ml de emulsión, compuestas por la fase interna, fase externa, surfactantes y aditivos. La preparación de la emulsión se llevó a cabo de la siguiente manera: inicialmente se mezclaron los surfactantes, aditivos y agua en un beaker de 50mL sobre una plancha de agitación magnética (Faithful SH-4 Hotplace Magnetic Stirrer Ceramic Top Plate Heavy Duty HOT) a una velocidad de 760 rpm durante 5 minutos, luego se agregó el aceite de ricino agitándose durante 5 minutos más para formar la emulsión (Lawal et al., 2014). En todos los casos se debe evitar agregar agua al aceite, ya que esto podría dar lugar a la formación de una emulsión inversa, es decir, agua dispersada en aceite (W/O) (Al Sabagh et al., 2006). Además, se midió y registró el pH de cada formulación con un medidor inalámbrico de HALO pH (HI 12302).

Finalmente, se tomaron 10 mL de la emulsión preparada y se depositaron en un tubo de ensayo aforado, el cual permite determinar las cantidades de las fases separadas con el paso del tiempo (prueba de estabilidad). En la Figura 3 se describe el procedimiento de preparación de la emulsión.

Figura 3.

Preparación de la emulsión.



2.3 Evaluación de las formulaciones más prometedoras

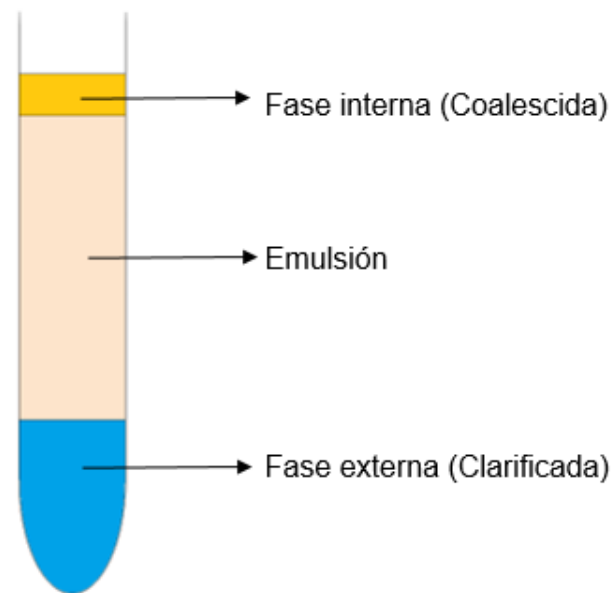
2.3.1 Estabilidad

La estabilidad en una emulsión es la manera en que evoluciona cuando está sometida a condiciones particulares durante un período de tiempo, por esto el criterio que se tuvo en cuenta para la selección de las emulsiones más prometedoras de cada sistema fue el volumen de las fases separadas a lo largo de un tiempo de observación, en este caso, a los 3 días de preparada la emulsión (Bataller et al., 2004; Salager, 1999).

La emulsión después de algún tiempo se separa típicamente en tres zonas: una zona central que contiene una nata o emulsión de alto contenido de fase interna y dos fases separadas: la interna (coalescida) y la externa (clarificada) (Salager, 1999), como se observa en la figura 4.

Figura 4.

Separación de fases en tres zonas de las emulsiones con el tiempo.



2.3.2 Adecuación de la viscosidad de las formulaciones finales

La mayoría de los fluidos simples presentan un comportamiento newtoniano ya que existe una relación lineal entre el esfuerzo y el cizallamiento; en cambio las emulsiones tienden a presentar un comportamiento pseudoplástico, es decir, a medida que aumenta el cizallamiento la viscosidad disminuye (Salager, 1999). También, es deseable que las emulsiones presenten viscosidades similares a la del agua ya que modelos empíricos indican una relación de

proporcionalidad entre la viscosidad de la emulsión y la viscosidad de la fase externa (agua) (Salager, 1999).

Para el estudio reológico se realizaron barridos a diferentes diluciones emulsión/agua de la siguiente manera:

Tabla 5.

Adecuación de la viscosidad para el sistema 1.

SISTEMA 1	
EMULSIÓN	AGUA
90%	10%
80%	20%
70%	30%
60%	40%
50%	50%
40%	60%
30%	70%
20%	80%

Tabla 6.

Adecuación de la viscosidad para el sistema 3.

SISTEMA 3	
EMULSIÓN	AGUA
90%	10%
80%	20%
70%	30%

2.3.4 Prueba de corrosión para astillas de acero al carbono 1020

Las pruebas de corrosión para las emulsiones seleccionadas se realizan según la norma ASTM D 4627 “método estándar de corrosión de virutas de hierro para fluidos de corte a base de agua” (Rodríguez Friedrich, 2011). Sin embargo, el material usado para las pruebas fue el acero al carbono 1020 (ver ANEXO 8), donde las virutas que fueron extraídas por torneado tuvieron una reducción de tamaño aproximado a 1 cm de longitud.

En principio se prepararon 25mL de dilución entre el fluido de corte a estudiar a once concentraciones (0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 7; 10 y 100%) y agua con dureza de 100 ppm. Seguidamente, en una caja de Petri de aproximadamente 8,5 cm de diámetro se coloca el papel filtro. A continuación, se añade la dilución. Finalmente, se pesan 4 gramos de viruta de acero, evitando el contacto de estas con los dedos y se añaden a la caja de Petri haciendo que todas queden sumergidas, es necesario eliminar las burbujas de aire que queden atrapadas debajo del papel de filtro ya que, un gradiente de concentración de oxígeno en la superficie metálica promueve la corrosión (Rodríguez Friedrich, 2011); en seguida se tapa la caja Petri. Después de 20-24 horas, las virutas se lavan, se secan y se enjuaga el papel de filtro.

Se realizan réplicas para cada muestra y así poder ver la reproducibilidad del experimento.

La cantidad de manchas de óxido sobre el papel de filtro da una medida cualitativa de las propiedades anticorrosivas del fluido de corte como ayuda de la identificación del punto de ruptura, definiéndose este como la concentración más débil de fluido de corte probado, que no muestra manchas de óxido en el papel de filtro (Gajrani & Sankar, 2018).

La corrosión se califica por la cantidad de óxido presente en el papel filtro. El grado de corrosión se estima en una escala de 0 a 4 de la siguiente manera (ver tabla 7) (Rodríguez Friedrich, 2011).

0: Sin corrosión, sin sufrir cambio menor al 5% del área del papel.

1: Vestigios de corrosión no mayor a 3 señales de corrosión de no más de 3 mm de grosor o longitud en un 25% del papel.

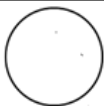
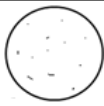
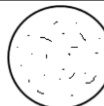
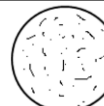

2: Ligera corrosión con una cantidad de manchas no mayor al 45% de la superficie.

3: Corrosión moderada con una cantidad de manchas no mayor al 60% de la superficie.

4: Fuerte corrosión con una cantidad de manchas mayor o igual al 75% de la superficie.

Tabla 7.

Representación de los grados y porcentajes para la evaluación de la formación de corrosión en el papel filtro.

					
GRADOS	0	1	2	3	4
PORCENTAJE	5%	25%	45%	60%	75%

3. Resultados

3.1 Variación de las proporciones en la mezcla de surfactantes

Según el análisis estadístico para el sistema 1 se obtuvo diferencia significativa nula con un valor $P = 0.184$, y por lo tanto es posible elegir cualquiera de las muestras para la siguiente

variación. En la Gráfica 1 se puede observar que el aumento en la concentración del surfactante hidrofílico (oleato de sodio) no tiene mayor efecto dentro de la formulación, ya que en la mayoría de las muestras la formación de emulsión fue similar, siendo mayor en las muestras que contenían 60 y 80% de oleato de sodio con 5,5 ml y 6,8 ml de emulsión formada respectivamente. Sin embargo, para la muestra 1 que únicamente contenía ácido oleico no se presentó formación de emulsión, debido a que el ácido tiene un HLB bajo.

De la misma forma para el sistema 2 con un valor de significancia $P=0,340$, se puede observar que la formación de emulsión fue mínima en las diferentes muestras (Gráfica 2). Sin embargo, aquellas que contenían 40% y 60% de span 80 obtuvieron una mayor formación de emulsión de 1,5 ml y 2 ml respectivamente.

Por otro lado, en el sistema 3 si se pudieron observar diferencias significativas entre las muestras ($P=0,004$), donde a menores proporciones de Span 80 presentaron mejor comportamiento en la formación de emulsión, mientras que cuando estas proporciones se invierten, el comportamiento es totalmente diferente y el volumen de emulsión es mínimo (Gráfica 3). Por lo tanto, las emulsiones escogidas para la siguiente variación fueron aquellas con 0 y 20% de Span 80 formando 5,8 ml y 5.5 ml de emulsión respectivamente.

Figura 5.

Variación de las proporciones en la mezcla de surfactantes del sistema 1.

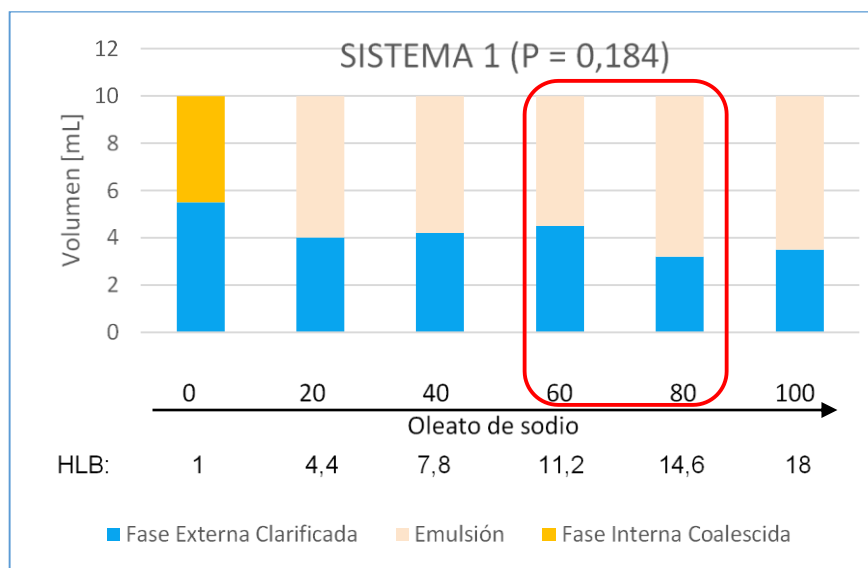


Figura 6.

Variación de las proporciones en la mezcla de surfactantes del sistema 2.

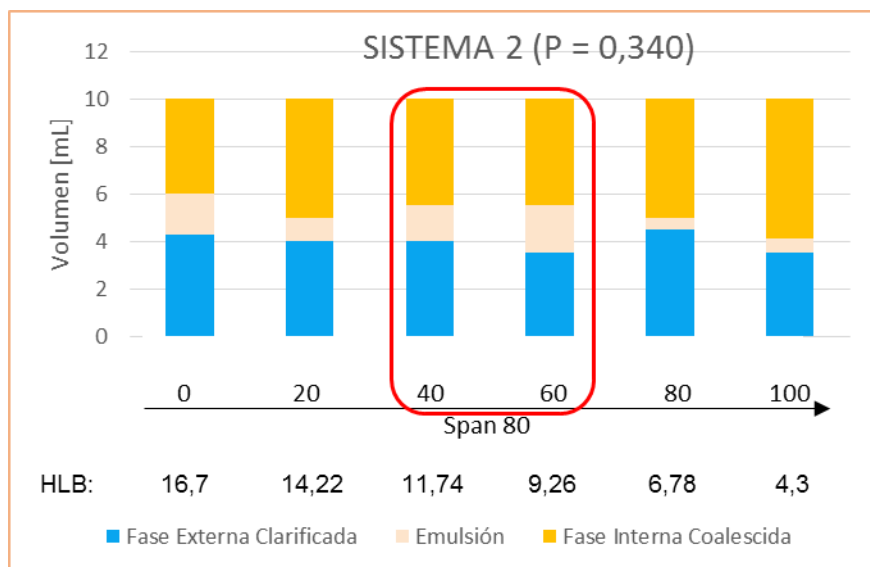
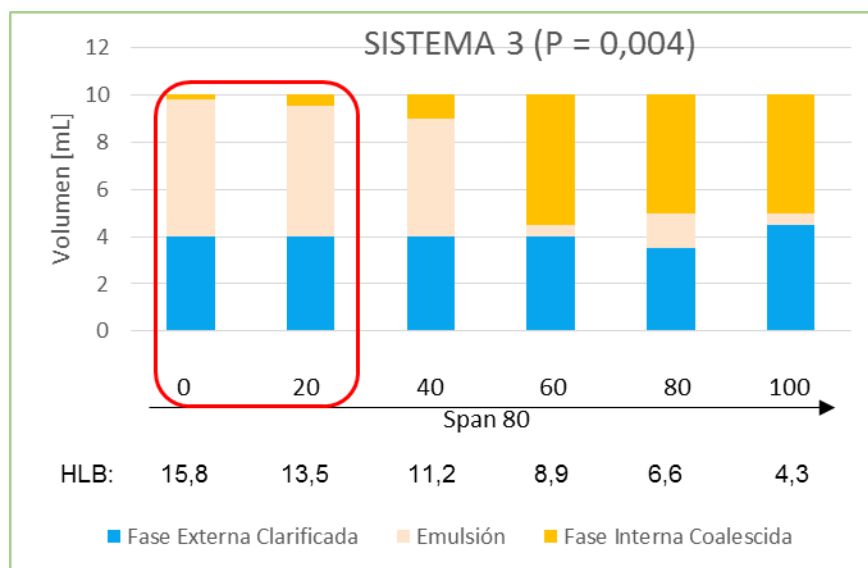


Figura 7.

Variación de las proporciones en la mezcla de surfactantes del sistema 3.

**3.2 Variación de la relación agua / aceite (WOR)**

En esta variación, los tres sistemas mostraron diferencias significativas. Sistema 1 con valor $P = 0,003$, sistema 2 con valor $P = 0,021$ y, por último, sistema 3 con valor $P \leq 0,005$. Asimismo, es posible apreciar que la relación de agua/aceite de 0,2 fue la de mejor rendimiento en cada uno de los sistemas.

De esta manera, en el sistema 1 ($P = 0,003$) observado en las gráficas 4 y 5 se ve que a valores mayores de $WOR = 0,2$ se tuvo una separación de fase acuosa, por el contrario, un WOR con valores menores tendrá separación de fase oleosa. A partir de ahí, la mayor formación de emulsión se dio en la formulación con 60% oleato de sodio y 40% ácido oleico al no mostrar ningún volumen de fase externa.

En las gráficas 6 y 7 para el sistema 2 ($P = 0.021$), las emulsiones con WOR 1 y 0,5 tienen un comportamiento similar presentando separación de fases, a diferencia de las emulsiones con WOR 0,2 y 0,11, que tuvieron mejor estabilidad y por lo tanto mayor volumen de emulsión formada. En este caso, la muestra que fue totalmente estable y no presentó ningún tipo de separación es la que contenía 40% de span 80, 60% de tween 20 y una relación agua-aceite de 0,2.

Por último, el sistema 3 (valor $P \leq 0,005$) en las gráficas 8 y 9 se muestra una tendencia similar al primer sistema, en el que la mayor separación de fase externa se ve con WOR de 1 y 0,5, en cambio, la fase interna presenta una mínima separación en las muestras con WOR de 1 y 0,11. Cabe destacar que la muestra con WOR = 0,2, 80% de Amonnyx cetac y 20% de span 80 no mostró separación de ninguna de las fases.

Figura 8.

Variación de la relación agua / aceite en el sistema 1 con HLB=11,2.

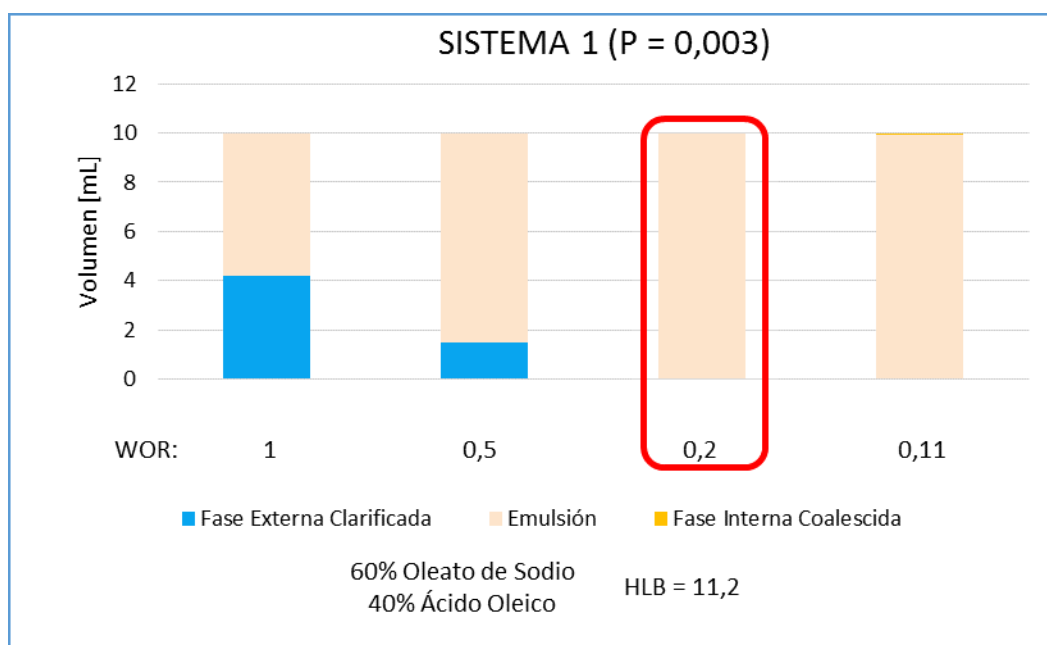


Figura 9.

Variación de la relación agua / aceite en el sistema 1 con HLB=14,6.

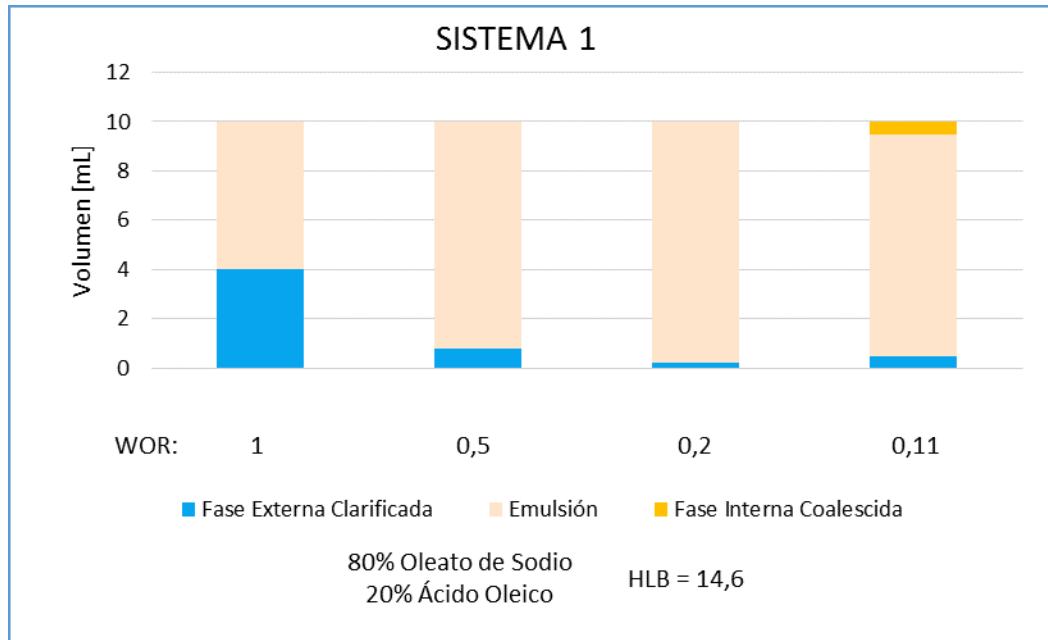


Figura 10.

Variación de la relación agua / aceite en el sistema 2 con HLB=11,74.

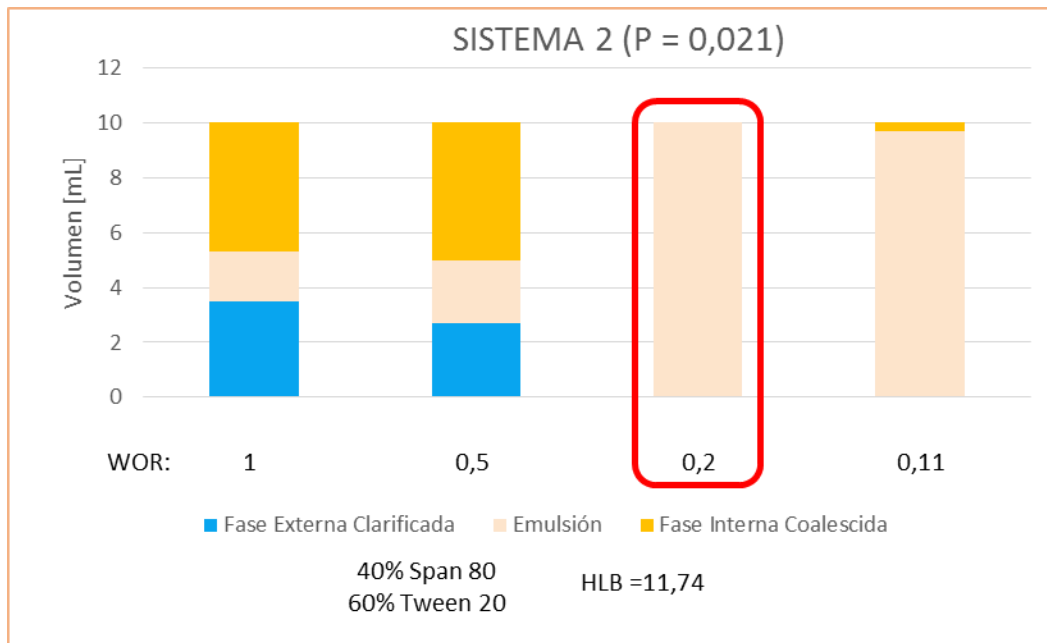


Figura 11.

Variación de la relación agua / aceite en el sistema 2 con HLB=9,26.

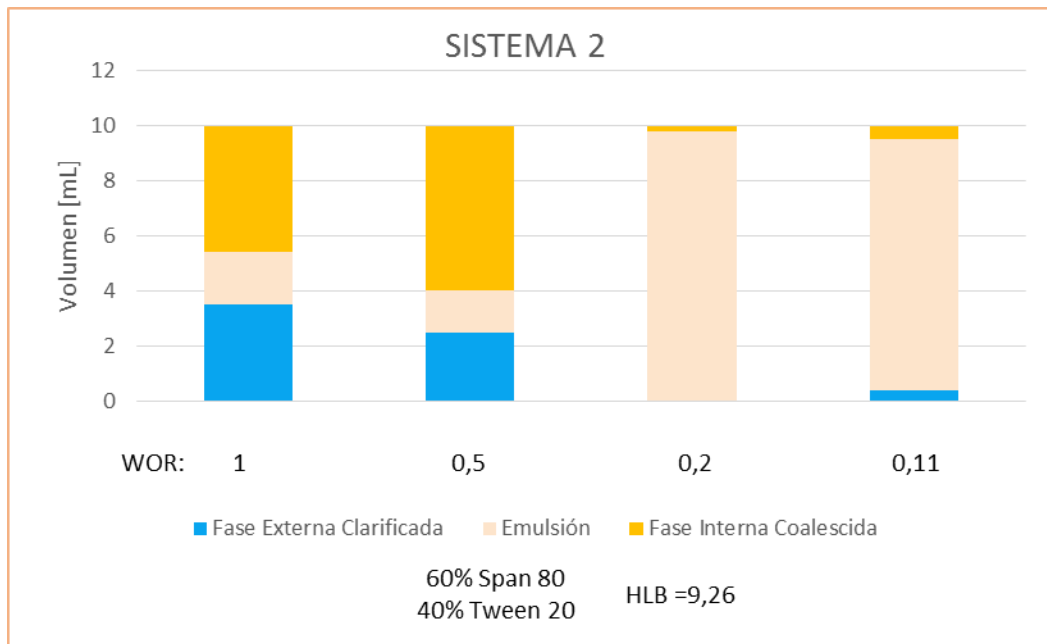


Figura 12.

Variación de la relación agua / aceite en el sistema 3 con HLB=15,8.

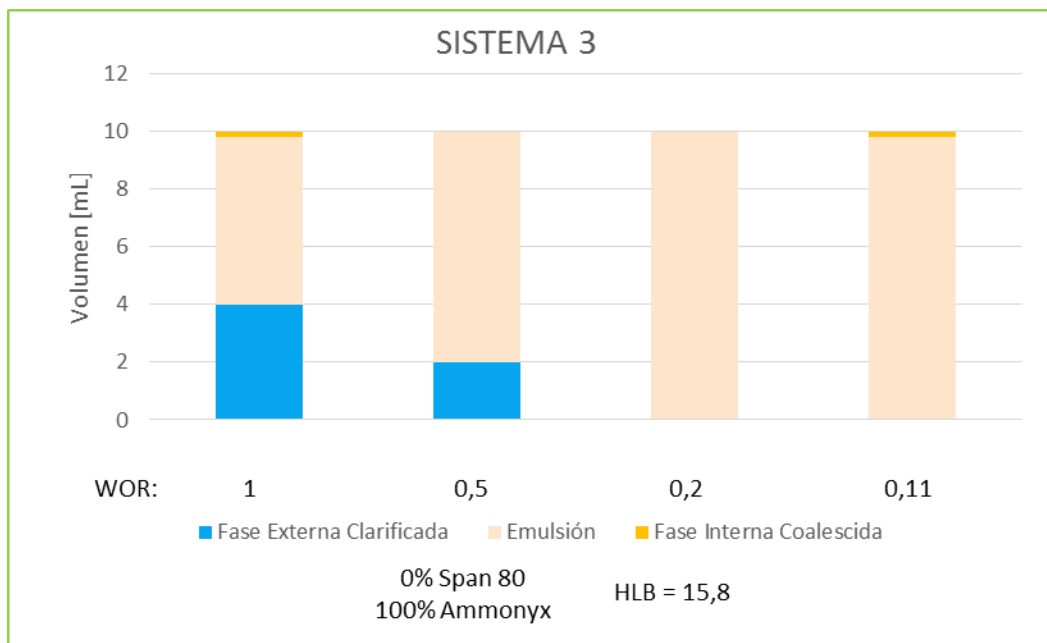
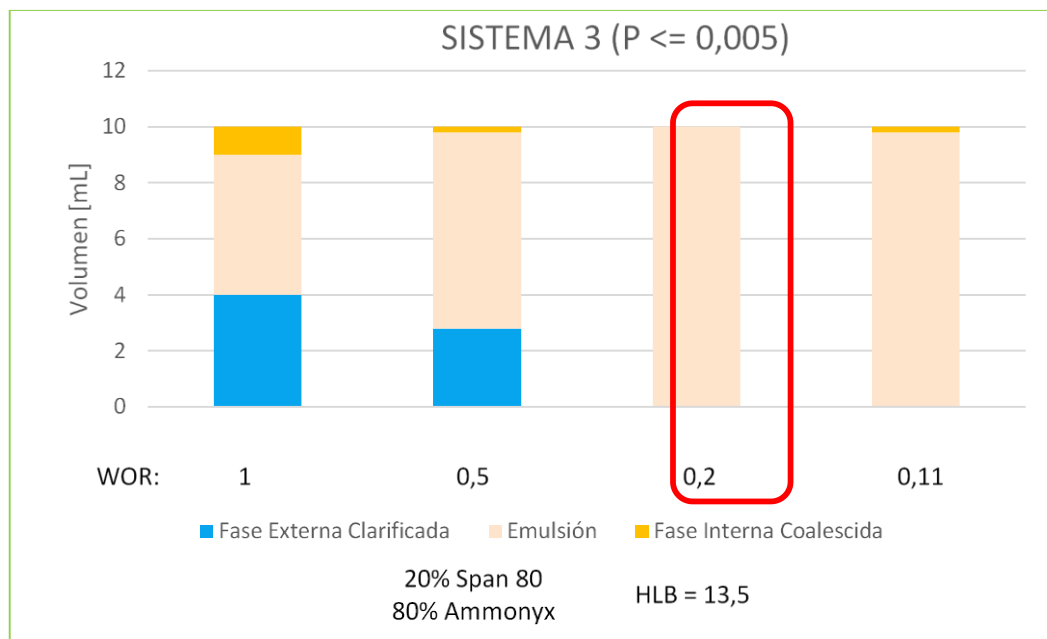


Figura 13.

Variación de la relación agua / aceite en el sistema 3 con HLB=13,5.



3.3 Variación de los aditivos

Para el sistema 1 el valor P fue de 0,338 lo que indica una diferencia significativa nula. Sin embargo, es posible observar una tendencia de las muestras con 2% de aditivos a ser más inestables al aumentar la proporción de TEA. Por otro lado, la formulación que no tuvo ningún tipo de separación de fases durante los 3 días posteriores a su preparación fue la muestra que contenía 1% de aditivos, WOR=0,2 y la proporción en la mezcla de surfactantes fue de 40% de ácido oleico y 60% de oleato de sodio (Gráfica 10).

Con respecto al sistema 2, aunque se encontraron diferencias significativas entre las muestras ($p=0,049$), al adicionar los aditivos no se logró obtener una muestra lo suficientemente estable debido a que los surfactantes no cumplen su función de disminuir la tensión interfacial con estos aditivos, por la razón anteriormente mencionada se decidió no continuar con este sistema para las pruebas finales (Gráfica 11).

Finalmente, el sistema 3 presentó una diferencia significativa de 0.663, tal como se observa en la Gráfica 12. La mayoría de las emulsiones fueron estables a pesar de que presentaron una pequeña separación de aceite del 2%; esto se debe a que la cantidad de surfactante en la mezcla es en su mayoría afín a la fase acuosa lo que hace que exista una mínima separación de aceite. La muestra que mejor estabilidad obtuvo contenía 1% de aditivos, WOR=0,2 y la proporción en la mezcla de surfactantes fue de 80% Ammonyx CETAC y el restante de span 80.

Figura 14.

Variación de los aditivos del sistema 1.

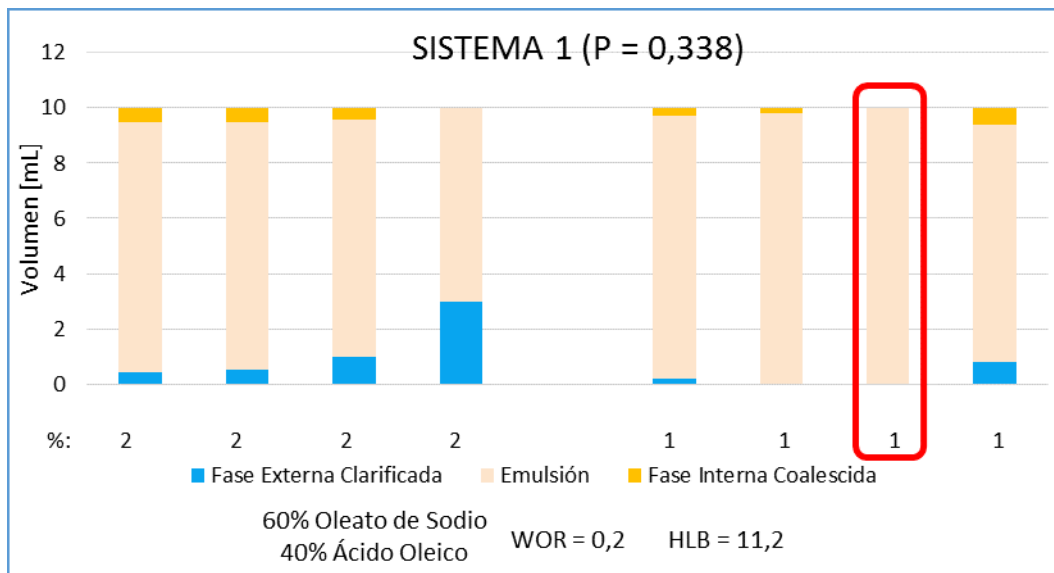


Figura 15.

Variación de los aditivos del sistema 2.

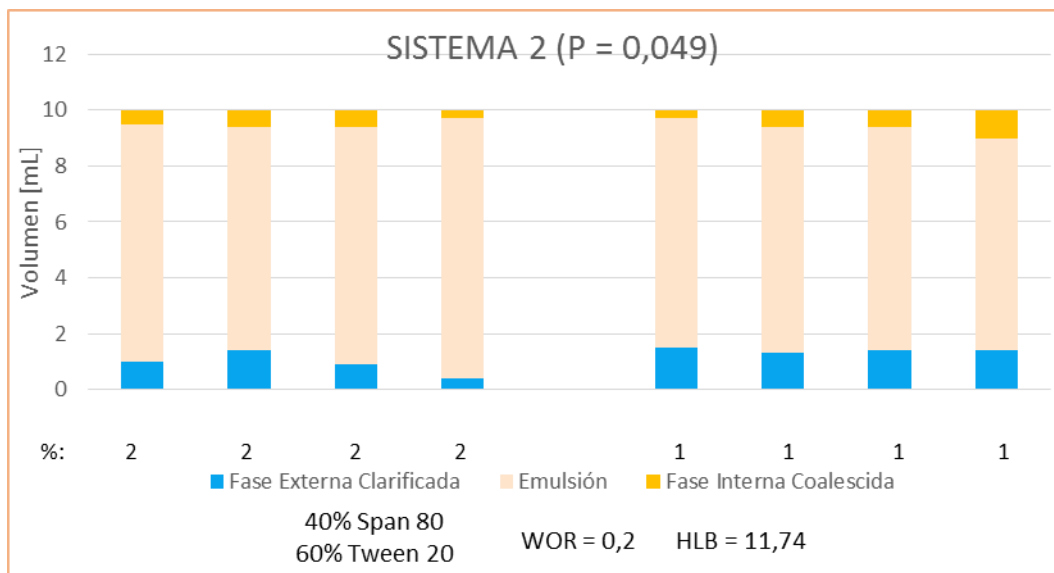
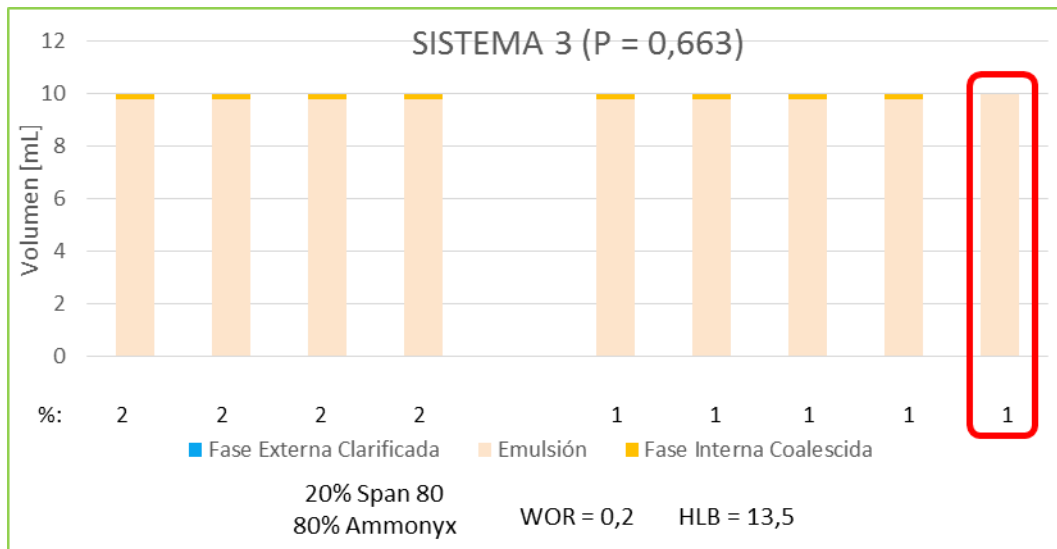


Figura 16.

Variación de los aditivos del sistema 3.



3.4 Composiciones finales

Después de haber realizado las 3 variaciones según la metodología descrita anteriormente se seleccionaron las muestras más estables para realizarles las pruebas finales y corroborar su estabilidad, adecuación de la viscosidad e inhibición a la corrosión.

Figura 17.

Composiciones de las emulsiones finales.

Sistema 1: Aniónico	Sistema 3: Cationico - No iónico
<ul style="list-style-type: none"> • 3% Ácido oleico • 0,47% NaOH • 0,07% Koralone • 0,93% TEA • 15,2% Agua • 80,33% Aceite 	<ul style="list-style-type: none"> • 2,4% Ammonyx cetac • 0,6% Span 80 • 0,3% Koralone • 0,7% TEA • 13,27% Agua • 82,73% Aceite

3.4 Potencial de Hidrógeno (pH)

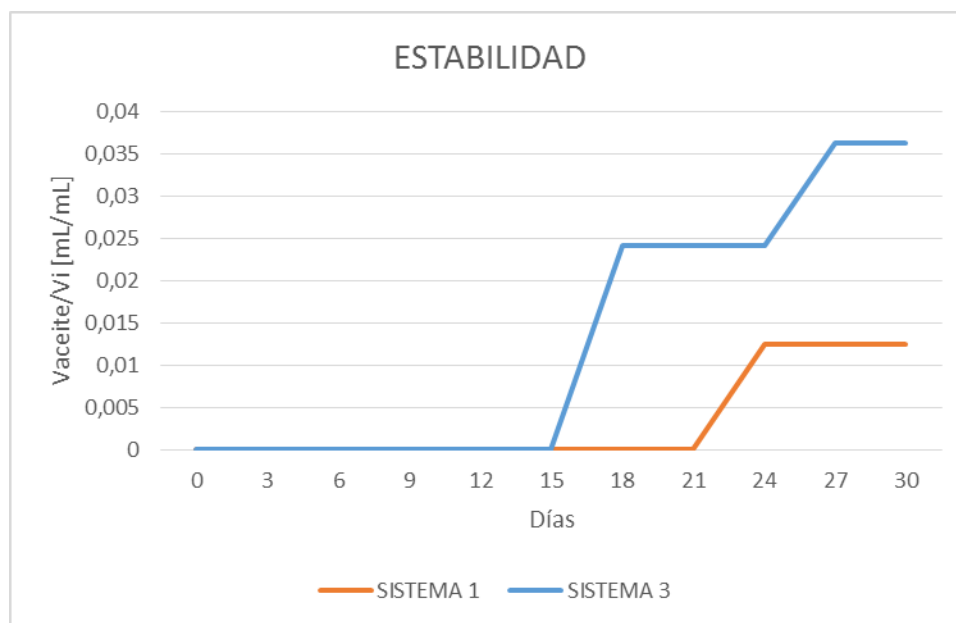
Para el sistema 1 (aniónico) en la variación de la proporción de la mezcla de surfactantes se obtuvo un pH de 10,63, luego con un WOR de 0,2 pasó a tener un pH de 9,77 y por último con 1% de aditivos (Koralone y TEA) un pH de 9,43. Para el sistema 2 (no iónico), inicialmente se midió un pH de 6,24, seguido a la variación del WOR un pH de 6,19, y el pH en la variación de aditivos para este sistema no se midió debido a que ninguna de las formulaciones en esta etapa presentó mejora en la estabilidad. Finalmente, para el sistema 3 (catiónico-no iónico) se

obtuvo un pH de 9,82 en la primera variación, luego de variar el WOR el pH fue de 9,05 y, por último, con aditivos un pH de 8,63.

Cabe resaltar que para los sistemas 1 y 3 el pH durante al análisis fue disminuyendo, manteniéndose alcalino dentro del rango de 8 a 10.

3.5 Estabilidad

De acuerdo con lo mostrado en la Gráfica 13, se observa el comportamiento de la separación de fases para cada formulación de los sistemas 1 y 3 (aniónico y catiónico- no iónico). Inicialmente para el sistema 3 es más rápida la separación respecto al otro sistema. En este caso, luego de 18 días se evidencia una separación del 2,4% que se mantuvo durante los 6 días siguientes, llegando a un 3,6% al cabo de 30 días. Por su parte, el sistema aniónico presentó separación de fases más lenta donde se pudo verificar que durante 21 días la fase interna no coalesce. Sin embargo, al cabo de 3 días siguientes, éste tuvo una separación del 1,2% que estuvo constante hasta el día 30 de evaluación, por lo tanto, fue la formulación más estable.

Figura 18.*Estabilidad de las emulsiones en el tiempo.*

3.6 Adecuación de la viscosidad de las formulaciones finales

De acuerdo con las diluciones realizadas como se mostró en la sección 2.4.2, para el sistema 1 (aniónico) la proporción de dilución adecuada, donde se alcanza una viscosidad cualitativa parecida a la del agua, fue la de 50% agua con 50% emulsión. Por otro lado, en las diluciones para el sistema 3 (catiónico- no iónico) se observó como mejor viscosidad cualitativa la dilución al 30% agua y 70% emulsión.

Además, para las formulaciones anteriormente elegidas (mejores diluciones) de los dos sistemas, el pH se midió durante un periodo de 30 días. El sistema 1 (aniónico) mostró una disminución de pH mínimo de 0,18% y el sistema 3 (catiónico- no iónico) tuvo una variación mayor con disminución del 0,85%. Aunque ambos sistemas conservan su pH alcalino, el sistema 3 tiende rápidamente a salir del rango de pH recomendado para fluidos de corte, lo que hace que

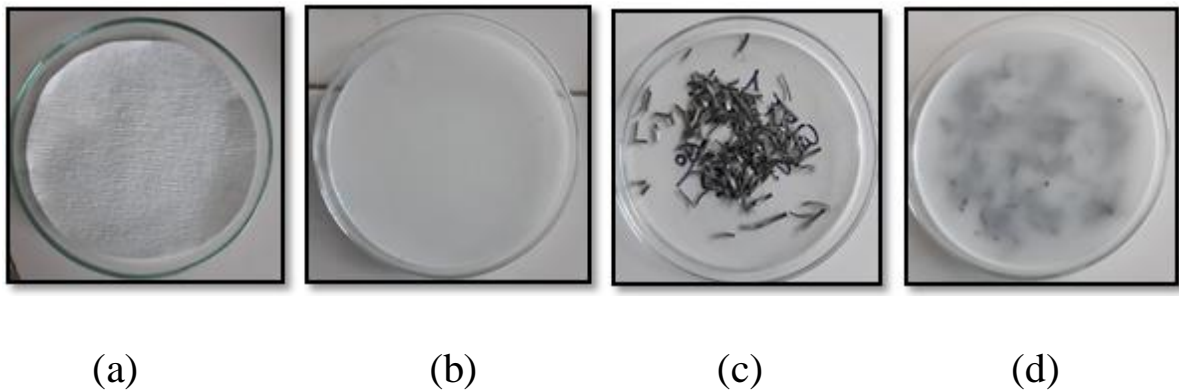
se vuelva ácido y esto pueda generar el crecimiento de microorganismos y mayor tendencia a que se produzca corrosión.

3.7 Prueba de corrosión para astillas de acero al carbono 1020

Siguiendo la metodología descrita en el **ANEXO 9** se prepararon las muestras obteniéndose los siguientes resultados.

Figura 19.

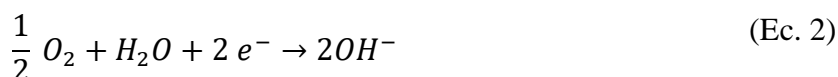
Descripción general de la configuración del método de prueba de corrosión (a) papel de filtro con placa de Petri, (b) fluido de corte vertido en placa de Petri, (c) 4g de chips de acero 1020 en el papel de filtro y (d) unión del fluido con el acero y la caja Petri tapada.



De acuerdo con la calificación por cantidad de óxido en el papel filtro que se propuso en la sección 2.4.2 se calificaron los sistemas 1 y 3 con 1% de aditivos (ver tabla 8) donde los resultados obtenidos en la prueba de corrosión para cada sistema se muestran en la figura 7 (a,b).

En la muestra del sistema 1 (aniónico) con 0,93% de Trietanolamina (TEA) en su formulación, se observa en la figura 7(a) que la cantidad de óxido se reduce con el aumento de la concentración de fluido de corte. En las primeras diluciones se tuvieron grado “3 y4” (ver tabla 8) a causa de la mayor concentración de agua que en las demás, lo que hizo que el inhibidor orgánico usado no pudiera adherirse en la superficie del metal para la formación de la monocapa protectora encargada de minimizar el acceso de iones corrosivos a la superficie del material metálico (Rodríguez Friedrich, 2011). Asimismo, el punto de ruptura se presentó en la dilución con 5% de emulsión, siendo ésta la concentración más débil probada al tener grado “0” de corrosión en el papel de filtro.

Por el contrario, la muestra del sistema 3 (catiónico-no iónico) con 0,7% de TEA en su formulación, no presenta punto de ruptura y el grado “4” de corrosión se mantiene durante las 10 diluciones realizadas excepto la última que presenta grado “0” consecuencia de que ésta es la que contiene la emulsión pura (Figura 7b). Este fenómeno es posible que se deba a que al aplicar la norma y realizarse la dilución, hubo una separación de fases más rápida haciendo que después de algunas horas la emulsión migrara a la parte superior y los chips de acero quedaran expuestos prácticamente solo al agua creándose un medio electrolítico, aumentando el flujo de electrones desde el acero y formando las manchas de óxido como se muestra en las Ec 1, 2 y 3 generales para cualquier tipo de metal (Cabello Martín, 2016).



Teniendo en cuenta que la emulsión elegida del sistema 3 con 1% de aditivos (0,3% koralone y 0,7 TEA) no presenta punto de ruptura, se procede a elegir de este mismo sistema una formulación con un total de 2% de aditivos (0,3% koralone y 1,7 TEA) que es igualmente estable pero que tiene un porcentaje más elevado de inhibidor de corrosión y posteriormente realizar la prueba para estudiar su comportamiento. En la figura 7(c) se puede ver que, aunque se sigue sin tener un punto de ruptura, hubo una disminución en la formación de óxido en las diluciones de 3,4,5,7% de emulsión en un 25% a grado “3” y en la dilución de 10% disminuyó un 50% a grado “2”. Por lo tanto, se toma como mejor formulación en cuanto a su capacidad de inhibición a la corrosión la formulación del sistema 1 (sistema aniónico).

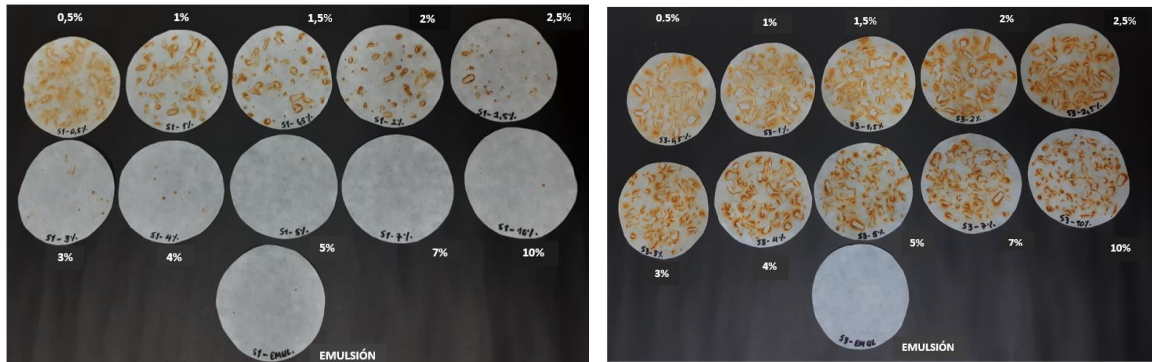
Tabla 8.

Calificación de óxido en el papel filtro de los sistemas 1 y 3

SISTEMA COMPOSICIÓN	GRADO DE CORROSIÓN		
	SISTEMA 1	SISTEMA 3 (1%ADITIVOS)	SISTEMA 3 (2%ADITIVOS)
0,5%	4	4	4
1%	3	4	4
1,5%	3	4	4
2%	3	4	4
2,5%	2	4	4
3%	1	4	3
4%	1	4	3
5%	0	4	3
7%	0	4	3
10%	0	4	2
100%	0	0	0

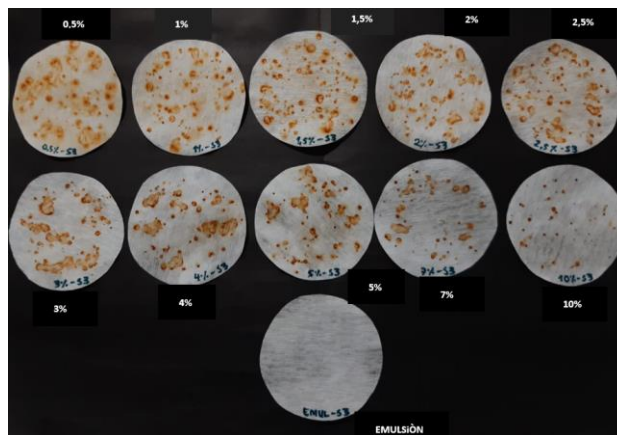
Figura 20.

Papel de filtro oxidado después de la prueba de corrosión con varias concentraciones de (a) Sistema 1, (b) Sistema 3 con 1% aditivos, (c) sistema 3 con 2% aditivos.



(a)

(b)



(c)

4. Conclusiones

De los diferentes sistemas estudiados se encontró que la mejor relación agua/aceite (WOR) fue de 0,2 con un pH de 9,43 y una mezcla de aditivos del 1% compuesta por 0,93% de Trietanolamina (TEA) y 0,07% Koralone usando como aceite base el aceite de ricino que por sus

propiedades fisicoquímicas tuvo un buen comportamiento en la formulación de la emulsión, siendo éste el sistema 1 (aniónico).

Teniendo en cuenta las diferentes variaciones, se encontró que al realizar las formulaciones para el sistema 1 y 3 éstas fueron mejorando su estabilidad. En cambio, el sistema 2 se desestabilizó al agregar los aditivos.

De acuerdo con las formulaciones realizadas se obtuvo que las emulsiones del sistema 1 (aniónico) y sistema 3 (catiónico- no iónico) tuvieron buena estabilidad durante 21 y 15 días respectivamente. El sistema 1 presentó una separación de 1,2% de fase interna coalescida mientras el sistema 3 tuvo separación del 2,4% al finalizar los 30 días de prueba.

Según la norma ASTM 4627, el sistema 3 presentó corrosión grado 4 durante toda la prueba realizada, por otra parte, el sistema 1 al empezar la prueba tuvo grado 4 de corrosión la cual fue mejorando hasta llegar a grado 0 con 5% de emulsión siendo este el punto de ruptura. Por lo tanto, el sistema compuesto por surfactantes aniónicos (sistema 1) es el más adecuado para ser usado como fluido de corte, ya que mostró el mejor balance entre estabilidad e inhibición a la corrosión.

5. Recomendaciones

Para la aplicación de la emulsión, se recomienda agitar la emulsión diluida al momento de ser usada, ya que puede perder estabilidad a medida que pasa el tiempo.

Realizar pruebas microbiológicas para verificar la eficiencia del aditivo.

Evaluar la emulsión con Monoetanolamina (MEA) a ésta misma concentración, ya que la estructura molecular de la Trietanolamina (TEA) posee mayor concentración de grupos $[\text{OH}^-]$

haciendo que no haya una buena interacción entre el grupo animo $[N^+]$ y el metal para la formación de dicha monocapa protectora.

Probar la emulsión final en un proceso de mecanizado para ver su comportamiento lubricante y refrigerante.

Corroborar el análisis reológico en un reómetro ya que se hizo de manera cualitativa y no cuantitativa.

Referencias

- Al Sabagh, A. M., Maysour, N. A., Nasser, N. M., & Sorour, M. R. (2006). Some Cutting Oil Formulations Based on Local Prepared Emulsifiers Part I: Preparation of Some Emulsifiers Based on Local Raw Materials to Stabilize Cutting Oil Emulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 27(2), 239-250. <https://doi.org/10.1080/01932690500267215>
- Al-Sabagh, A. M., Khalil, S. A., Abdelrahman, A., Nasser, N. M., Noor Eldin, M. R., Mishrif, M. R., & El-Shafie, M. (2012). Investigation of oil and emulsion stability of locally prepared metalworking fluids. *Industrial Lubrication and Tribology*, 64(6), 346-358. <https://doi.org/10.1108/00368791211262480>
- AMMONYX® CETAC. (2015, octubre). <https://es.stepan.com/products/Surfactants/AMMONYX%C2%AE/AMMONYX%C2%AE-CETAC.aspx>
- Bataller, H., Lamaallam, S., Lachaise, J., Graciaa, A., & Dicharry, C. (2004). Cutting fluid emulsions produced by dilution of a cutting fluid concentrate containing a cationic/nonionic surfactant mixture. *Journal of Materials Processing Technology*, 152(2), 215-220. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.03.027>
- Cabello Martín, S. (2016). *Gestión y reducción de residuos sólidos en la industria del automóvil*. <https://idus.us.es/handle/11441/52781>
- Cabrales R, R. A., Marrugo, J. L., & Abril Castro, J. L. (2014). *RENDIMIENTOS EN SEMILLA Y CALIDAD DE LOS ACEITES DEL CULTIVO DE HIGUERILLA (RICINUS COMMUNIS L.) EN EL VALLE DEL SINÚ, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA - PDF*

- Descargar libre*. Universidad de cordoba. <https://docplayer.es/71294639-Rendimientos-en-semilla-y-calidad-de-los-aceites-del-cultivo-de-higuerilla-ricinus-communis-l-en-el-valle-del-sinu-departamento-de-cordoba.html>
- ¿Cómo se usa el oleato de sodio?* (s. f.). Recuperado 9 de julio de 2020, de <https://es.erch2014.com/obrazovanie/81260-kak-ispolzuetsya-oleat-natriya.html>
- Córdoba Gaona, O. de J. (2013). *Comportamiento ecofisiológico de variedades de higuerilla (Ricinus communis L.) para la producción sostenible de aceite y biodiesel en diferentes agroecosistemas colombianos* [Phd, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/9145/>
- Dixit, U. S., Sarma, D. K., & Davim, J. P. (2012). *Environmentally Friendly Machining*. Springer Science & Business Media.
- FLUIDOS DE CORTE*. (s. f.). Antena de transferencia de tecnología. Recuperado 9 de julio de 2020, de https://www.academia.edu/23011568/PROYECTO_Fittema_Antena_de_transferencia_de_tecnolog%C3%ADa_Fluidos_de_corte_FLUIDOS_DE_CORTE_QU%C3%89_SON
- Fluidos de corte, más que un simple insumo* (58-63). (s. f.). 6.
- Gajrani, K., & Sankar, M. (2018). *Sustainable Cutting Fluids: Thermal, Rheological, Biodegradation, Anti-Corrosion, Storage Stability Studies and its Machining Performance*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11152-X>
- Introducción a los fluidos de corte*. (s. f.). Boletín informativo.
- Lawal, S. A., Choudhury, I. A., & Nukman, Y. (2014). Evaluation of vegetable and mineral oil-in-water emulsion cutting fluids in turning AISI 4340 steel with coated carbide tools.

- Journal of Cleaner Production*, 66, 610-618.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.066>
- Medina R, E., López M, C. A., Perez R, N. O., & Ferlan, I. (2008). Determinación de Tween-20 en AgsHB por un método espectrofotométrico. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, 39(2), 11-15.
- Noor El-Din, M. R., Mishrif, M. R., Kailas, S., P.S., S., & Mannekote, J. K. (2018). Studying the lubricity of new eco-friendly cutting oil formulation in metal working fluid. *Industrial Lubrication and Tribology*, 70(9), 1569-1579. <https://doi.org/10.1108/ILT-11-2017-0330>
- PROPIEDADES DEL ÁCIDO OLEICO » *El ácido graso de la naturaleza*. (2019, marzo 29). Ácido oleico. <https://www.acidooleico.net/propiedades/>
- Rodríguez Friedrich, A. A. (2011). *FORMULACIÓN DE FLUIDOS DE CORTE SEMISINTÉTICOS Y SINTÉTICOS COMO SUSTITUTOS DE FLUIDOS SOLUBLES*. Universidad Simón Bolívar.
- Salager, J. louis. (1999). *Formulación, composición y fabricación de emulsiones para obtener las propiedades deseadas estado del arte. Parte A - Parte B*. Cuadernos laboratorio FIRP. <https://es.firp-ula.org/s747a-emulsiones-parte-a-formulacion-fisicoquimica/>
- Vásquez Chirinos, M., Villasmil, E., Rivera, Z., López, C., Di Prisco, M. C., & Rivera, I. (2016). Dermatitis alérgica por contacto a isotiazolinonas. *Dermatología Venezolana*, 54(2). <http://svderma.org/revista/index.php/ojs/article/view/1369>
- Villamizar Palomino, I. A. (2013). Evaluación de taladrinas agotadas generadas en la industria metalmeccánica de Bucaramanga y su área metropolitana. *instname:Universidad Pontificia Bolivariana*. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/330>

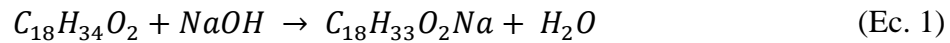
Villareal Pozo, J. B. (2019). *Análisis de la influencia del Balance Hidrofílico-Lipofílico en los surfactantes usados para recuperación mejorada de petróleo.*

<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18141>

Apéndice

Apéndice A. Cálculos sistema aniónico

Se calculó la concentración a la cual debería estar la dilución de NaOH para la estequiometría mostrada en la Ec. 1 teniendo en cuenta los siguientes datos:



$$\rho_{\text{á}} = \text{densidad del ácido oleico} = 895 \frac{Kg}{m^3} = 0,895 \frac{g}{mL}$$

$$PM_{\text{á}} = \text{Peso molecular de ácido oleico} = 282,47 \frac{g}{mol}$$

$$PM_{NaOH} = \text{Peso molecular del NaOH} = 40 \frac{g}{mol}$$

$$\%m/m_{NaOH} = 49,03\%$$

Cambio de %m/m a M del NaOH

$$M_{NaOH} = \frac{\%m/m}{\text{Base de calculo}} \cdot \frac{1}{PM_{NaOH}}$$

$$M_{NaOH} = \frac{49,03 g}{100 ml} \cdot \frac{1}{40 g/mol} \cdot \frac{1000 ml}{1 L}$$

$$M_{NaOH} = 12,2575 \frac{mol}{L}$$

$$M_{NaOH} = 12,2575 mol/L$$

Primero se calcularon las moles de ácido oleico

$$n_{\acute{a}o} = \left(\frac{V \cdot \rho}{PM} \right)_{\acute{a}o}$$

$$n_{\acute{a}o} = \left(\frac{0,9 ml \cdot 0,895 g/ml}{282,47 g/mol} \right)$$

$$n_{\acute{a}o} = 0,00285 moles de \acute{a}cido oleico$$

Con estas moles se calculan las que reaccionan a oleato de sodio

$$n_{oleato} = n_{\acute{a}o} * \% \text{ de mezcla de surf}$$

$$n_{oleato} = 0,00285 moles * 0,2$$

$$n_{oleato} = 0,00057 moles de oleato de sodio$$

Teniendo las moles de oleato de sodio producidas hallamos el volumen de oleato; este volumen será igual al volumen que se debe agregar de NaOH ya que tienen el mismo coeficiente estequiométrico.

$$M_{Oleato} = \frac{n_{Oleato}}{V_{Oleato}}$$

$$V_{Oleato} = \frac{n_{Oleato}}{M_{Oleato}}$$

$$V_{Oleato} = \frac{0,00057 \text{ moles}}{12,2575 \text{ mol/L}}$$

$$V_{Oleato} = 4,65 \times 10^{-5} \text{ L}$$

$$V_{Oleato} = V_{NaOH} = 0,0465 \text{ ml}$$

PROPORCIÓN DE SURFACTANTES

Muestra	1	2	3	4	5	6
Surfactante						
Ácido Oleico	100%	80%	60%	40%	20%	0%
Oleato de sodio	0%	20%	40%	60%	80%	100%

VOLUMEN DE NaOH CALCULADO [mL]

Muestra	1	2	3	4	5	6
Surfactante						
Oleato de sodio = NaOH (mL)	0,0000	0,0465	0,0931	0,1396	0,1861	0,2326

Apéndice B. Variaciones Del Sistema 1

PROPORCIÓN

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]						
Muestra	1	2	3	4	5	6
Surfactante						
Ácido oleico	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
NaOH	0,00	0,05	0,09	0,14	0,19	0,23
Agua	15,00	14,95	14,91	14,86	14,81	14,77
Aceite	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1
Total	30	30	30	30	30	30

WOR

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]		
Muestra	4.1	5.1
Surfactante		
Ácido oleico	0,9	0,9
NaOH	0,14	0,19
Agua	14,86	14,81
Aceite	14,1	14,1
TOTAL	30	30

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]		
Muestra	4.2	5.2
Surfactante		
Ácido oleico	0,9	0,9
NaOH	0,14	0,19
Agua	9,86	9,81
Aceite	19,1	19,1
TOTAL	30	30

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]		
Muestra	4.3	5.3
Surfactante		
Ácido oleico	0,9	0,9
NaOH	0,14	0,19
Agua	4,86	4,81
Aceite	24,1	24,1
TOTAL	30	30

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]			
Muestra	4.4	5.4	
Surfactante			
Ácido oleico	0,9	0,9	
NaOH	0,14	0,19	
Agua	2,86	2,81	
Aceite	26,1	26,1	
TOTAL	30	30	

ADITIVOS

VOLÚMENES CALCULADOS [ml]				
Muestra	4.3.1	4.3.2	4.3.3	4.3.4
Surfactante				
Ácido oleico	0,9	0,9	0,9	0,9
NaOH	0,14	0,14	0,14	0,14
Koralone	0,09	0,06	0,03	0,009
TEA	0,51	0,54	0,57	0,591
Agua	4,26	4,26	4,26	4,26
Aceite	24,10	24,10	24,10	24,10
TOTAL	30	30	30	30

VOLUMENES CALCULADOS [ml]				
Muestra	4.3.5	4.3.6	4.3.7	4.3.8
Surfactante				
Ácido oleico	0,9	0,9	0,9	0,9
NaOH	0,14	0,14	0,14	0,14
Koralone	0,009	0,015	0,021	0,03
TEA	0,291	0,285	0,279	0,27
Agua	4,56	4,56	4,56	4,56
Aceite	24,10	24,10	24,10	24,10
TOTAL	30	30	30	30

Apéndice C. Variaciones Del Sistema 2

PROPORCIÓN

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]						
Muestra	1	2	3	4	5	6
Surfactante						
Tween 20	0,9	0,72	0,54	0,36	0,18	0
Span 80	0	0,18	0,36	0,54	0,72	0,9
Agua	14,1	14,28	14,46	14,64	14,82	15
Aceite	15	14,82	14,64	14,46	14,28	14,1
TOTAL	30	30	30	30	30	30

WOR

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]		
Muestra	3.1	4.1
Surfactante		
Tween 20	0,54	0,36
Span 80	0,36	0,54
Agua	14,46	14,64
Aceite	14,64	14,46
TOTAL	30	30

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]

Muestra	3.2	4.2
Surfactante		
Tween 20	0,54	0,36
Span 80	0,36	0,54
Agua	9,46	9,64
Aceite	19,64	19,46
TOTAL	30	30

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]

Muestra	3.3	4.3
Surfactante		
Tween 20	0,54	0,36
Span 80	0,36	0,54
Agua	4,46	4,64
Aceite	24,64	24,46
TOTAL	30	30

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]

Muestra	3.4	4.4
Surfactante		
Tween 20	0,54	0,36
Span 80	0,36	0,54
Agua	2,46	2,64
Aceite	26,64	26,46
TOTAL	30	30

ADITIVOS

VOLÚMENES CALCULADOS [ml]				
Muestra	3.3.1	3.3.2	3.3.3	3.3.3
Surfactante				
Tween 20	0,54	0,54	0,54	0,54
Span 80	0,36	0,36	0,36	0,36
Koralone	0,09	0,06	0,03	0,009
TEA	0,51	0,54	0,57	0,591
Agua	3,86	3,86	3,86	3,86
Aceite	24,64	24,64	24,64	24,64
TOTAL	30	30	30	30

VOLÚMENES CALCULADOS [ml]				
Muestra	3.3.13	3.3.14	3.3.15	3.3.16
Surfactante				
Tween 20	0,54	0,54	0,54	0,54
Span 80	0,36	0,36	0,36	0,36
Koralone	0,009	0,015	0,021	0,03
TEA	0,291	0,285	0,279	0,27
Agua	4,16	4,16	4,16	4,16
Aceite	24,64	24,64	24,64	24,64
TOTAL	30	30	30	30

Apéndice D. Variaciones del sistema 3.

PROPORCIÓN

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]						
Muestra	1	2	3	4	5	6
Surfactante						
Ammonyx Cetac	0,9	0,72	0,54	0,36	0,18	0
Span 80	0	0,18	0,36	0,54	0,72	0,9
Agua	14,1	14,28	14,46	14,64	14,82	15
Aceite	15	14,82	14,64	14,46	14,28	14,1
TOTAL	30	30	30	30	30	30

WOR

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]		
Muestra	1.1	2.1
Surfactante		
Ammonyx Cetac	0,9	0,72
Span 80	0	0,18
Agua	14,1	14,28
Aceite	15	14,82
TOTAL	30	30

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]

Muestra	1.2	2.2
Surfactante		
Ammonyx Cetac	0,9	0,72
Span 80	0	0,18
Agua	9,1	9,28
Aceite	20	19,82
TOTAL	30	30

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]

Muestra	1.3	2.3
Surfactante		
Ammonyx Cetac	0,9	0,72
Span 80	0	0,18
Agua	4,1	4,28
Aceite	25	24,82
TOTAL	30	30

VOLÚMENES CALCULADOS [mL]

Muestra	1.4	2.4
Surfactante		
Ammonyx Cetac	0,9	0,72
Span 80	0	0,18
Agua	2,1	2,28
Aceite	27	26,82
TOTAL	30	30

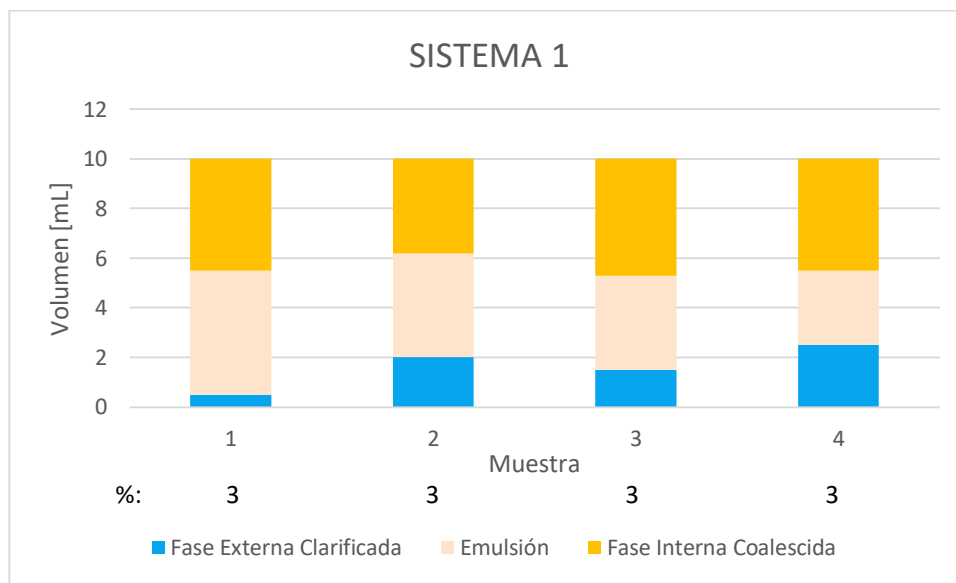
ADITIVOS

VOLÚMENES CALCULADOS [ml]				
Muestra	2.3.1	2.3.2	2.3.3	2.3.4
Surfactante				
Ammonyx Cetac	0,72	0,72	0,72	0,72
Span 80	0,18	0,18	0,18	0,18
Koralone	0,09	0,06	0,03	0,009
TEA	0,51	0,54	0,57	0,591
Agua	3,68	3,68	3,68	3,68
Aceite	24,82	24,82	24,82	24,82
TOTAL	30	30	30	30

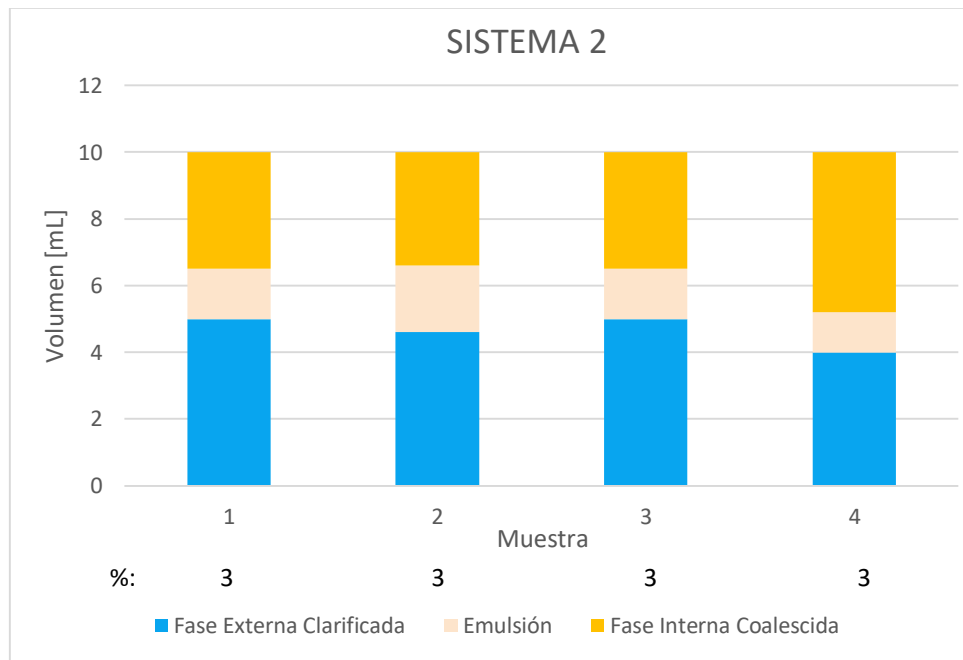
VOLÚMENES CALCULADOS [ml]					
Muestra	2.3.5	2.3.6	2.3.7	2.3.8	2.3.9
Surfactante					
Amonnyx Cetac	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Span 80	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Koralone	0,039	0,045	0,051	0,06	0,09
TEA	0,261	0,255	0,249	0,24	0,21
Agua	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98
Aceite	24,82	24,82	24,82	24,82	24,82
TOTAL	30	30	30	30	30

Apéndice E. Aditivos Preliminares

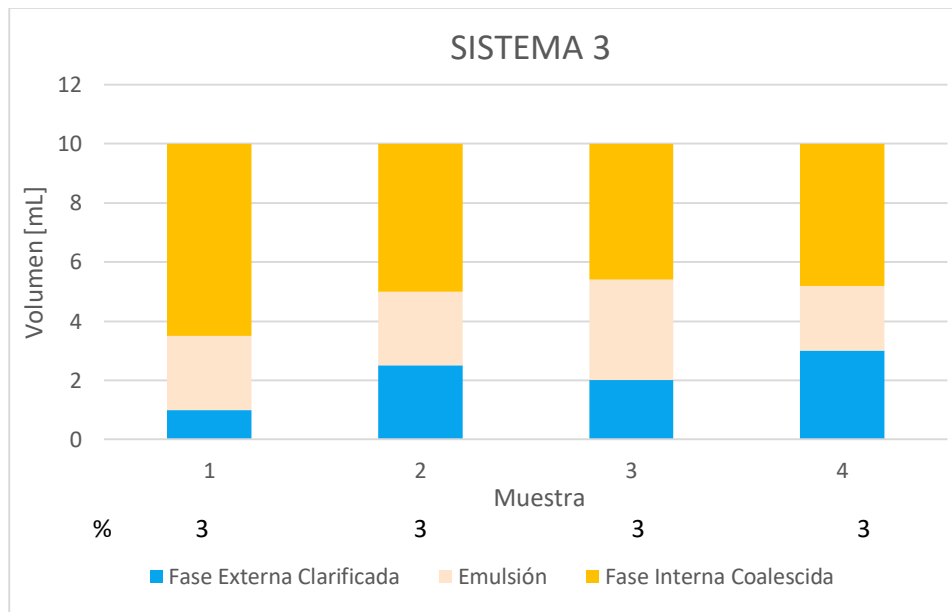
sistema 1			
Muestra	Fase Externa Clarificada	Emulsión	Fase Interna Coalescida
1	0,5	5	4,5
2	2	4,2	3,8
3	1,5	3,8	4,7
4	2,5	3	4,5



sistema 2			
Muestra	Fase Externa Clarificada	Emulsión	Fase Interna Coalescida
1	5	1,5	3,5
2	4,6	2	3,4
3	5	1,5	3,5
4	4	1,2	4,8



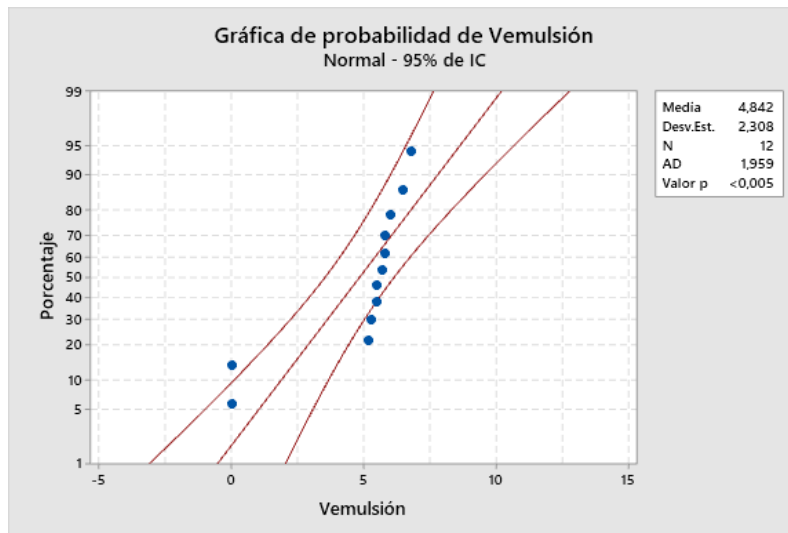
sistema 3			
Muestra	Fase Externa Clarificada	Emulsión	Fase Interna Coalescida
1	1	2,5	6,5
2	2,5	2,5	5
3	2	3,4	4,6
4	3	2,2	4,8



Apéndice F. Análisis Estadístico

VARIACIÓN PROPORCIÓN

SISTEMA 1



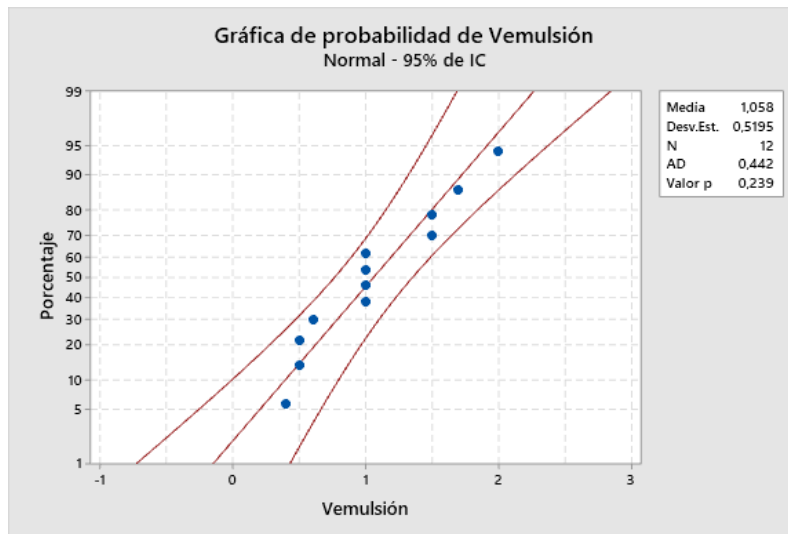
Prueba

Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	5	7,54	0,184
Ajustado para empates	5	7,62	0,179

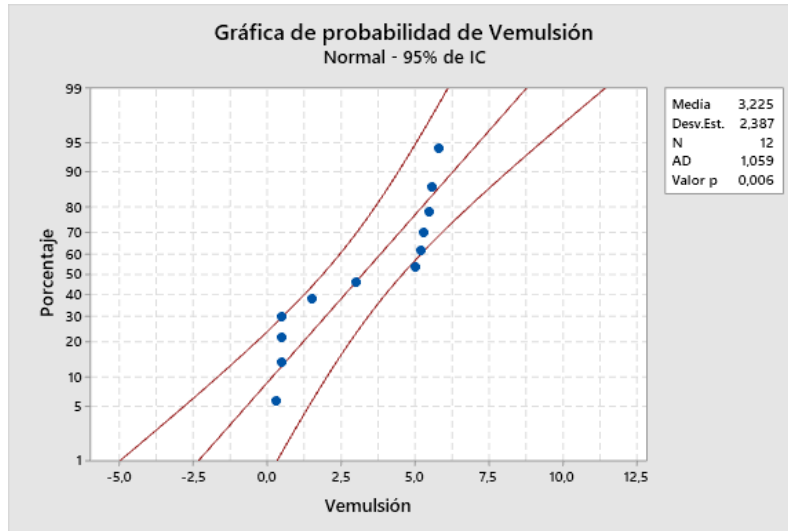
SISTEMA 2



Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
%SPAN 80	5	1,604	0,3208	1,41	0,340
Error	6	1,365	0,2275		
Total	11	2,969			

SISTEMA 3



Prueba

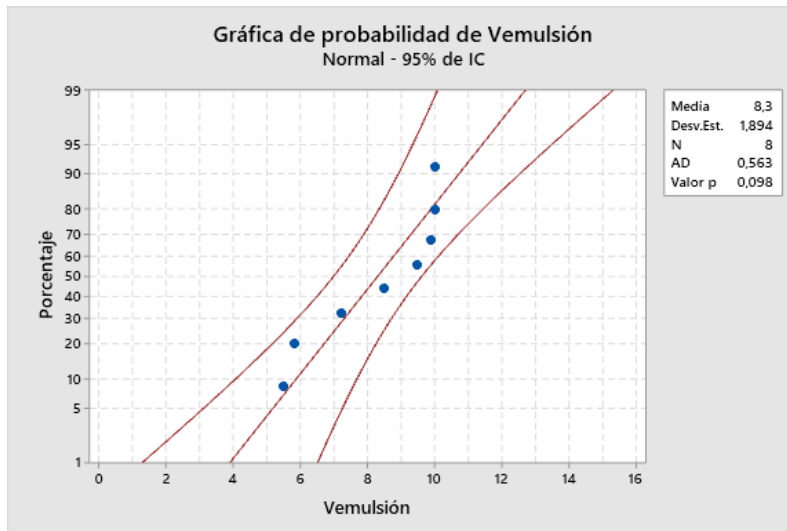
Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor	Valor
		H	p
No ajustado para empates	1	8,31	0,004
Ajustado para empates	1	8,43	0,004

VARIACIÓN RELACIÓN AGUA/ACEITE (WOR)

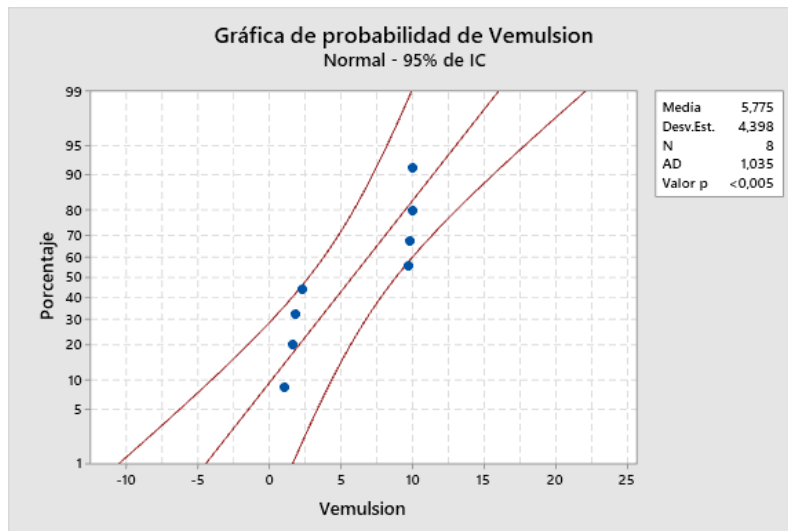
SISTEMA 1



Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	MC	Valor	Valor
		Ajust.	Ajust.	F	p
WOR	3	24,1500	8,0500	33,20	0,003
Error	4	0,9700	0,2425		
Total	7	25,1200			

SISTEMA 2



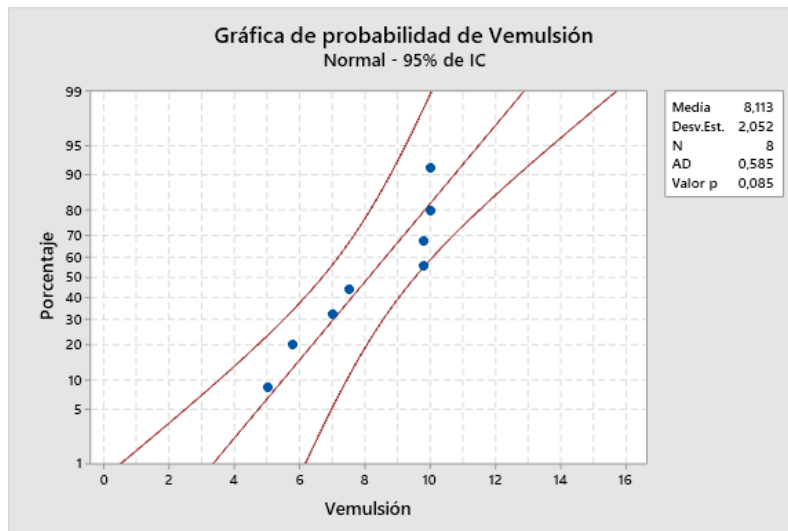
Prueba

Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor	Valor
		H	p
No ajustado para empates	1	5,33	0,021
Ajustado para empates	1	5,40	0,020

SISTEMA 3

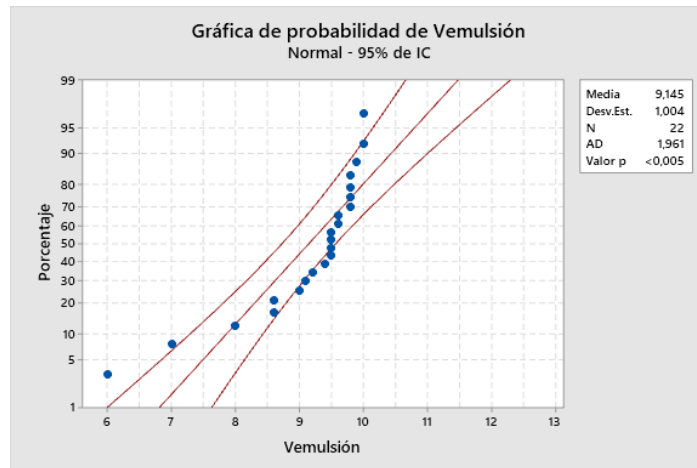


Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	MC	Valor	Valor p
		Ajust.	Ajust.	F	
WOR	3	29,0238	9,6746	86,96	0,000
Error	4	0,4450	0,1112		
Total	7	29,4688			

VARIACIÓN ADITIVOS

SISTEMA 1



Prueba

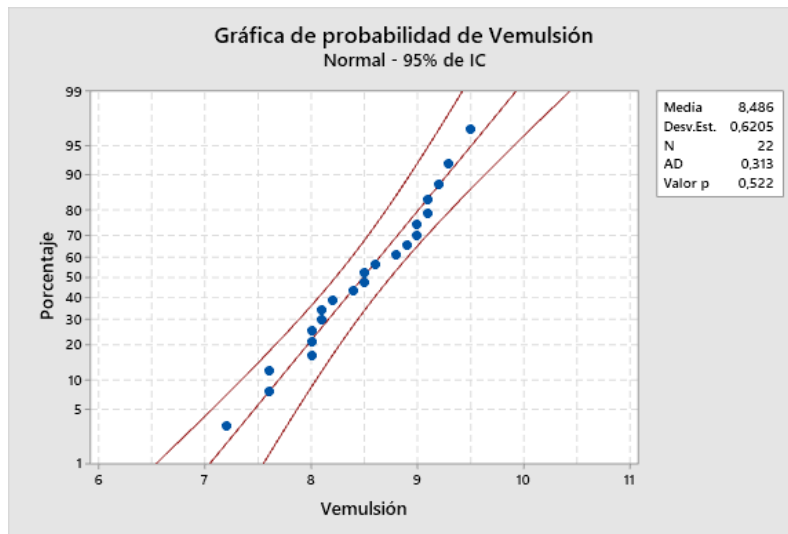
Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	10	11,26	0,338
Ajustado para empates	10	11,41	0,327

La aproximación de chi-cuadrada podría no ser exacta cuando algunos tamaños de muestra sean menores que 5.

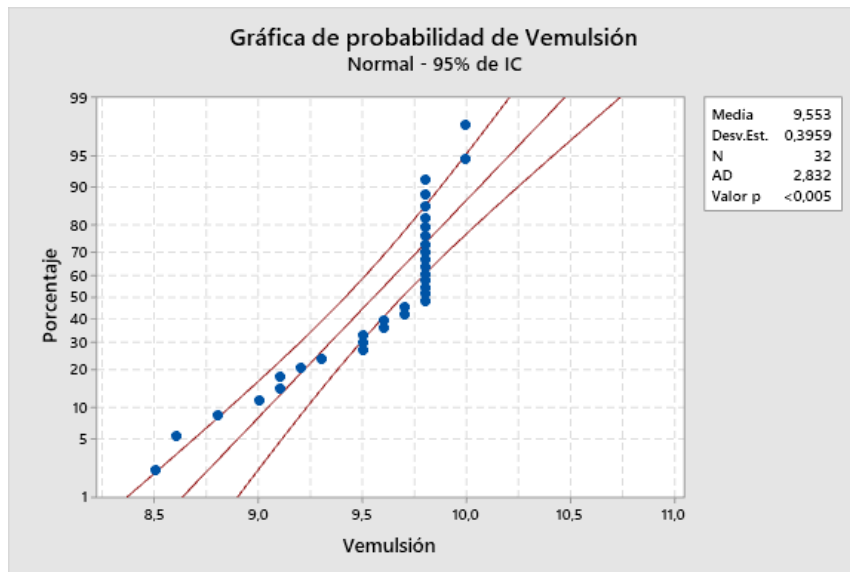
SISTEMA 2



Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	MC	Valor	Valor p
		Ajust.	Ajust.	F	
ADITIVOS	10	5,801	0,5801	2,79	0,049
Error	11	2,285	0,2077		
Total	21	8,086			

SISTEMA 3



Prueba

Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor	Valor p
H			
No ajustado para empates	15	12,22	0,663
Ajustado para empates	15	13,64	0,553

Apéndice G. Ficha Técnica Aceite De Ricino

ACEITE DE CASTOR/RECINO LÍQUIDO

(CASTOR OIL, RICINUS OIL)

CODIGO: 70 1 02 01 006

SINONIMOS: Aceite De Ricino, aceite de palmacristi, aceite tangantangan.

DESCRIPCION: El aceite de Ricino es el aceite fijo obtenido de la semilla de Ricinus communis. Es un **líquido viscoso brillante**, transparente, de color amarillento pálido o casi incoloro, de olor moderado y sabor suave, después ligeramente acre generalmente nauseabundo. Solidifica a -10 °C. El aceite Ricino es miscible en alcohol deshidratado, éter, cloroformo, sulfuro de carbono. Combustible, ligeramente tóxico.

APLICACIONES:

- Lacas nitrocelulósicas: actúa como dispersante de pigmentos y colorantes, en recubrimientos y tintas no acuosas,
- Como plastificante para resinas, plásticos, caucho y ceras.
- En revestimiento de poliuretanos, elastómeros y adhesivos.
- En fluidos hidráulicos y composiciones de aislamiento térmico, líquidos para frenos, aditivo en combustibles para motores de dos tiempos.
- Solubilizador para fenólicos y cresílicos en compuestos germicidas y desinfectantes.
- Como materia prima en la fabricación de ácido sebásico, ácido undecilénico, ácido 12-hidroestearico, cera de castor.

CERTIFICADO DE ANÁLISIS			
ANALISIS	ESTÁNDAR	UDS.	LOTE
			03-2019
Apariencia	Liquid viscoso Amarillo	---	Pasa prueba
Gravedad especifica	0.954-0.965	g/ml	0.9574
M.I.V	0.025 máx.	%	0.11
Índice de refracción	1.470-1.4740	Deg C	1.4717
Valor de yodo	82-90	Deg C	84.37
Valor de saponificación	177-187		180.16
Materia insaponificable	1 máx.	%	0.38
Ácidos grasos libres	1 máx.	%	0.58
Valor ácido	2 máx.	%	1.57
Valor hidroxilo	160-168	---	164.74
Color en Lovibond en celda 5.25	Y20.0-máx. R2.0 máx.	---	15.0 1.5
FECHA DE PRODUCCIÓN			05-MAR-2019
FECHA DE VENCIMIENTO			04-MAR-2021

EMPAQUE ORIGINAL: Tambor metálico x 200 kg.

PROCEDENCIA: India.

NOTA: Los datos anotados son los que aparecen en la ficha técnica y en el certificado de nuestro proveedor.

26-ABRIL-2019

Apéndice H. Ficha Técnica Acero Al Carbono AISI / SAE 1020**Estado de suministro****Formas y color:**

Calibrado con tolerancia ISO 266-2 h11



Torneado

Laminado en caliente (Negro) con tolerancia DIN 1013

Premaquinado

Composición química (% en peso)

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0.15	0.15	0.60	-	-
0.20	0.35	0.90	0.040	0.050

Densidad: 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

Propiedades mecánicas mínimas estimadas según SAE J1397

Tipo de proceso y acabado	Resistencia a la tracción		Límite de Fluencia		Alargamiento en 2" (%)	Reducción de área (%)	Dureza (HB)	Relación de maquinabilidad 1212 EF =100%
	PSI	MPa	PSI	MPa				
Caliente y maquinado	58000	400	32000	220	25	50	116	70
Estirado en frío	64000	440	53600	370	15	40	126	

Tratamientos térmicos recomendados (Valores en °C)

Forjado	Normalizado	Recocido		Templado Cementar	Revenido	°T Crítica aprox.	
		Ablanda/. 850 – 890	Regeneración 850 – 890			Ac1	Ac3
1100-1250	870 - 900	Enfriar al aire	Enfriar en horno	925	150 - 250	724	840

Características

Acero de bajo contenido de carbono, de fácil mecanizado y buena soldabilidad. De baja dureza para usos convencionales de baja exigencia. Cuando se requiere una superficie muy dura pero un centro tenaz, este acero cementado cumple perfectamente. Estirado en frío mejora sus valores de resistencia mecánica y su maquinabilidad.

Aplicaciones

Bases de matrices, soportes, engranajes, flanges, pernos de anclaje, ejes, cadenas, bujes, tornillería corriente y pasadores de baja resistencia. Por su ductilidad es ideal para procesos de transformación en frío como doblar, estampar, recalcar, entre otros.

NOTAS: Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura, pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

**Apéndice I. Designation: D 4627 – 92 (Reapproved 2007) An American National
Standard Standard Test Method For Iron Chip Corrosion For Water–Dilutable
Metalworking Fluids**

Se realizó una adaptación de la norma ASTM 4627 en la que el metal usado fue virutas de hierro fundido ya que no se encontró una norma en la que se trabajara con acero al carbono 1020.

Resumen del método de prueba

Las astillas de hierro fundido se colocan en una placa de Petri que contiene un papel de filtro y un fluido de metalurgia diluido. El plato está cubierto y se deja reposar durante la noche. La cantidad de manchas de óxido en el papel de filtro es una indicación del control de corrosión proporcionado por el fluido.

Significado y uso

Los resultados obtenidos por esta prueba son una guía útil para determinar la capacidad de los fluidos de metalurgia diluidos en agua para prevenir o minimizar la oxidación en condiciones específicas. Por lo general, existe una relación entre los resultados de esta prueba y una capacidad similar del refrigerante en cuestión para evitar la oxidación en partes anidadas o en agujeros perforados que contienen virutas, etc. Sin embargo, debe entenderse que se encuentran las condiciones, los tipos de metales, etc. en la práctica no se correlacionará cuantitativamente con estas condiciones de laboratorio controladas.

Aparatos

- Placas de Petri desechables, plástico de 35 por 10 mm, con tapas No. 8-757-100A.
- Papel de filtro de fibra de vidrio, Whatman No. 934-AH, Diámetro de 3,2 cm.
- Varilla agitadora de vidrio.
- Espátula.
- Pipetas, 5 ml.
- Botella de vidrio, 4 oz. con gorra.
- Balance, exacto a 1 mg.
- Cilindro graduado, 50 ml.
- Matraz volumétrico, 1 L.
- Pinzas.
- Tamiz estándar de EE. UU., Malla 18 (aberturas de tamiz de 1.0 mm), acero inoxidable.

Reactivos y materiales

- Fichas de perforación de hierro fundido gris. 2

NOTA 1: las virutas están hechas de hierro fundido gris Clase 30, como fundición. La estructura es principalmente perlita con pequeñas cantidades de ferrita y grafito tipo A. La dureza Brinell es de 179-217. Las virutas se hacen con un taladro de alta velocidad limpio, libre de aceite, de longitud de 29/64 pulg. De diámetro con 118 ° de punta plana, 29 ° de hélice y 12–15 ° de espacio libre. La velocidad de rotación debe ser de 500 rpm a una velocidad de alimentación de 0.015 in./rev. La alimentación manual no está permitida.

- Los chips se tamizan en tamices de 5 y 18 mallas y los retenidos en el tamiz de 18 mallas se almacenan inmediatamente en botellas de vidrio herméticas. Cada perforación recibe un número de lote. Las etiquetas de las botellas llevan este número de lote y la fecha de llenado.

- Agua dura sintética, solución madre de 20,000 mg / L preparada disolviendo 29.4 g de reactivo grado (estándar ACS) $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en 1 L de agua destilada recién hervida. Es necesario un agua de dureza moderada en esta prueba (100 ppm como CaCO_3 , 71 mg / L como cloruro), y se puede preparar en el momento de la prueba diluyendo el agua dura del stock al 0,5% en agua destilada.

- Fluido de interés para la metalurgia.

Preparación de fluido de metalurgia diluido

1. Prepare 25 ml de fluido en cada concentración deseada en% en peso en el agua de dureza de 100 mg / L descrita anteriormente. Siempre agregue los concentrados de fluidos para metalurgia al agua.

2. Las diluciones probadas serán en% en peso de la siguiente manera:

0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 5; 7 y 10%.

Cada dilución debe prepararse por separado. Emulsiones de stock posteriormente diluido no debe ser utilizado.

3. Tape la botella y agite vigorosamente hasta que se complete la dispersión.

Procedimiento

- Realice la prueba en una habitación libre de humos corrosivos, lejos de la luz solar directa y a una temperatura ambiente de 20 ° C a 25 ° C (68 ° F a 77 ° F)

- Tamice las virutas de hierro fundido en la pantalla de malla 18, rechazando los finos y cualquier viruta que muestre signos de óxido.

NOTA 2: no permita que las astillas entren en contacto con la piel.

NOTA 3: guarde los chips en una botella de vidrio hermética.

- Con unas pinzas, coloque el papel de filtro en la mitad inferior de una placa de Petri limpia y seca. Coloque el lado liso del papel hacia abajo y el lado rugoso hacia arriba para tocar las virutas.

- Mida 25 mL de fluido para trabajo de metales diluido en el plato.

- Pese 4.0 ± 0.1 g de chips de hierro fundido y espolvoree en la placa de Petri. Use la varilla de agitación para asegurarse de que todas las virutas estén sumergidas, se liberen todas las burbujas de aire y que las virutas estén distribuidas uniformemente.

- Cubra el plato con su tapa y déjelo reposar durante 20–24 h.

- Drene el líquido del plato. Invierta el plato sobre su tapa y toque para quitar los chips.

- Enjuague el papel de filtro con agua corriente durante aproximadamente 5 s para eliminar cualquier decoloración debida al fluido.

- Después del enjuague, calcule el porcentaje del área del papel de filtro que se manchó por las virutas oxidadas. Esto se realiza mediante un examen visual (sin aumento) del lado del papel que estaba en contacto con los chips.

- El "punto de ruptura" se define como la concentración más débil probada que no dejó manchas de óxido en el papel de filtro. Este valor puede usarse para comparar las propiedades inhibidoras de la oxidación de varios fluidos.