

FORMULACIÓN DE UNA LÍNEA DE DETERGENTES DE USO INDUSTRIAL-
DOMÉSTICO PARA LA EMPRESA ZUMOTEC S.A.

LINA JULIETH CARO JAIME

DÁMARIS ROJAS PIMIENTO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2018

FORMULACIÓN DE UNA LÍNEA DE DETERGENTES DE USO INDUSTRIAL-
DOMÉSTICO PARA LA EMPRESA ZUMOTEC S.A.

LINA JULIETH CARO JAIME

DÁMARIS ROJAS PIMIENTO

Trabajo de grado para optar por el título de: Ingeniera Química

Directora

DEBORA ALCIDA NABARLATZ

Ph.D. Ingeniería química y de procesos

Codirector

JULIÁN MAURICIO GUERRERO RODRÍGUEZ

Ingeniero químico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2018

DEDICATORIA

A Dios por cuidarme siempre, darme fortaleza y permitirme alcanzar este logro

Dedico este trabajo de grado a mi querida madre Lucila Pimiento Briseño quien me dio la vida, todo su amor, esfuerzo y dedicación, ella es mi heroína y mi fuerza, por eso mi éxito se lo debo a ella.

A mi hermana Raquel Rojas P. por apoyarme y respaldar mi estudio, por acompañarme en ese camino llamado vida y por estar pendiente de mí.

A mi compañera de grado, Lina Julieth Caro J., que estuvo todo este tiempo a mi lado, brindándome una linda amistad y trabajando conmigo en pro de este proyecto.

A mis amigos del colegio Jessica Rojas B., Lenin Enrique Santos y Marcela Arévalo y a mis amigos de universidad Karina M., Jeniffer C., Andrés R., Jhon D., Obdulio P. Isacc H., Fabián P., Diego S. y Juan Camilo P, quienes fueron un gran apoyo emocional durante el tiempo en que desarrollaba el proyecto.

A mis maestros de colegio y universidad quienes en las aulas me enseñaron no solo el saber sino a ser mejor persona.

A todos los que me apoyaron en esta tesis, para ellos es esta dedicatoria, pues es a ellos a quienes les debo su apoyo incondicional.

Dámaris Rojas Pimiento

DEDICATORIA

A Dios por este este triunfo, por acompañarme y levantarme en cada tropiezo de la vida.

A mi hermosa madre y mejor amiga Florelba Jaime Lizarazo, por darme la vida, por el apoyo incondicional, por tantos consejos, por luchar junto a mí, por ser tan guerrera y nunca decaer en circunstancias tan duras. Por todo el amor que me brinda día a día, por esto y mucho más este logro es para ella.

A mi Padre Luis Caro, por amarme tanto y por su apoyo incondicional, a mi hermano David Caro por ser un ejemplo a seguir y apoyarme en este proceso. A mi abuelito Rubén Caro por su apoyo, comprensión y cariño.

A mi abuelito Víctor Jaime, aunque ya no estés aquí, esto es por ti y para ti. Gracias por haber sido un hombre luchador y por haber creído en mí.

A Kevin Andrey Molina Cuadros por su amor, paciencia, compañía, apoyo incondicional y por tan lindos momentos compartidos a lo largo de mi carrera.

A Dámaris Rojas Pimiento, por su paciencia, por su comprensión, porque además de ser mi compañera en la realización de este proyecto es mi amiga de alegrías y tristezas. Gracias, por tanto.

A todas las personas que se cruzaron por mi camino, gracias por aportar en mi crecimiento personal y profesional.

Lina Julieth Caro.

AGRADECIMIENTOS

A nuestra hermosa **Universidad Industrial de Santander**, la cual llevaremos en nuestro corazón, por abrirnos las puertas del conocimiento y habernos permitido formarnos en ella.

A nuestra gran facultad de ingeniería química, donde nos encontramos con personas que al igual que nosotras decidieron estudiar esta maravillosa carrera, a la cual estamos orgullosas de pertenecer y que representaremos con amor y respeto, a todos los profesores y técnicos de la facultad de ingeniería química, por sus aportes en nuestra formación como ingenieras y por cada una de las enseñanzas dadas, que nos permitieron crecer como personas integra y profesionales, además por prestarnos la instalaciones e instrumentos necesarios para el desarrollo del presente proyecto.

A la profesora Débora Álcida Nabarlatz por su apoyo y orientación en el desarrollo de este proyecto.

Al ingeniero Julián Mauricio Guerrero por su apoyo incondicional, consejos y motivación, a lo largo de todo el proyecto.

A la empresa Zumotec S.A, en especial al ingeniero José Gabriel por el apoyo económico, el aporte de conocimientos y por brindarnos la oportunidad de desarrollar este proyecto.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|-------------|
| INTRODUCCIÓN | 25 |
| 1. OBJETIVOS | 27 |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL..... | 27 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 27 |
| 2. ESTADO DEL ARTE | 28 |
| 3. MARCO TEÓRICO..... | 32 |
| 3.1 DETERGENTES | 32 |
| 3.1.1 Desengrasante. | 32 |
| 3.1.2 Desincrustante. | 32 |
| 3.2 SUSTANCIAS USADAS EN FORMULACIÓN DE DETERGENTES..... | 33 |
| 3.2.1 Sustancias básicas y ácidas. | 33 |
| 3.2.1 Tensoactivos..... | 33 |
| 3.2.3 Quelantes..... | 36 |
| 3.2.4 Aditivos. | 36 |
| 3.3 MECANISMO DE LIMPIEZA..... | 37 |
| 3.3.1 Saponificación. | 37 |
| 3.3.2 Mecanismo detergente de los tensoactivos..... | 37 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4. | METODOLOGÍA..... | 39 |
| 4.1 | REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 39 |
| 4.2 | SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS..... | 44 |
| 4.3 | DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLA..... | 45 |
| 4.4 | EVALUACIÓN DE EFECTIVIDAD DE LOS DETERGENTES..... | 46 |
| 4.4.1 | Preparación y contaminación de las láminas de acero inoxidable..... | 46 |
| 4.4.2 | Preparación del detergente..... | 47 |
| 4.4.3 | Limpieza de contaminantes en las láminas..... | 48 |
| 4.5 | ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS..... | 50 |
| 4.6 | FORMULACIÓN Y COSTO DE PRODUCCIÓN..... | 50 |
| 4.7 | MANUAL DEL PRODUCTO Y FICHA DE SEGURIDAD..... | 50 |
| 5. | RESULTADOS Y ANÁLISIS..... | 51 |
| 5.1 | FACTOR DE EFICACIA DE LIMPIEZA DE LOS DETERGENTES..... | 51 |
| 5.1.1 | Detergente básico:..... | 51 |
| 5.1.2 | Desincrustante ácido..... | 55 |
| 5.1.3 | Desengrasante neutro..... | 58 |
| 5.2 | ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 61 |
| 5.2.1 | Prueba de normalidad..... | 61 |
| 5.2.2 | Obtención del modelo matemático y maximización..... | 61 |
| 5.3 | CONCENTRACIONES OPTIMAS DE CADA DETERGENTE FOMULADO..... | 66 |
| 5.4 | FORMULACIÓN Y COSTOS DE PRODUCCIÓN:..... | 67 |

| | | |
|----|-----------------------|----|
| 6. | CONCLUSIONES..... | 69 |
| 7. | RECOMENDACIONES | 71 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 72 |
| | ANEXOS..... | 75 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Sustancias seleccionadas para cada detergente | 45 |
| Tabla 2. Niveles de los factores del diseño Box-Behnken | 46 |
| Tabla 3. Modelos matemáticos y R ajustado | 63 |
| Tabla 4. Maximización de los detergentes | 66 |
| Tabla 5. Formulación de cada producto | 67 |
| Tabla 6. Costo de producción de cada producto formulado | 68 |
| Tabla 7. Costo de las materias primas del desengrasante neutro..... | 82 |
| Tabla 8 Diseño experimental del desengrasante alcalino, cada tratamiento es preparado con 0.5%v/v de etanol | 88 |
| Tabla 9. Diseño experimental para el desincrustante ácido, cada tratamiento es preparado con 1%v/v de etanol y 0.05% Dequest 2010 | 89 |
| Tabla 10. Diseño experimental para el desengrasante neutro, cada tratamiento es preparado con 0.5%v/v de etanol, y Tween 80 en relación 2:1 v/v respecto al Limoneno. | 89 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 11. Cálculo del CEF para los experimentos utilizando el desengrasante básico | 100 |
| Tabla 12. Cálculo del CEF para los experimentos utilizando el desincrustante ácido | 100 |
| Tabla 13. Cálculo del CEF para los experimentos utilizando el desengrasante neutro | 101 |
| Tabla 14. Resultado ANOVA para desengrasante básico..... | 137 |
| Tabla 15. Resultado ANOVA para desincrustante ácido..... | 137 |
| Tabla 16. Resultado ANOVA para desengrasante neutro..... | 138 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Representación de una micela..... | 34 |
| Figura 2. Proceso saponificación | 37 |
| Figura 3. Efecto de los agentes tensoactivos..... | 38 |
| Figura 4. Diagrama de descripción global de la metodología a realizar | 39 |
| Figura 5. Preparación de muestras de cada producto | 48 |
| Figura 6. Condiciones de limpieza | 49 |
| Figura 7. Evaluación del %CEF variando la concentración de los diferentes componentes del desengrasante básico..... | 51 |
| Figura 8. Efecto de los diferentes compuestos sobre el %CEF para el desengrasante básico. En cada gráfica se mantienen 3 factores constantes y se | |

varía el factor señalado. Los valores constantes en cada caso son: NaOH= 2.25%v/v, Tw 80= 1.75%v/v, Ecosurf= 1.75%v/v y Metasilicato de sodio= 3%p/v. 53

Figura 9. Reacción de saponificación54

Figura 10. Evaluación del %CEF variando la concentración de los diferentes componentes del desincrustante ácido.....55

Figura 11. Efecto de los diferentes compuestos sobre el %CEF para el desincrustante ácido. En cada gráfica se mantienen 2 factores constantes y se varía el factor señalado. Los valores constantes en cada caso son Tween 20 =1.75%v/v, Ác. Oxálico= 5.5 %p/v y Ác. glicólico=7.5%v/v.56

Figura 12. Reacción entre el hierro y el ion oxalato (ácido oxálico).57

Figura 13. Evaluación del %CEF variando la concentración de los diferentes componentes del desengrasante neutro.....58

Figura 14. Efecto de los diferentes compuestos sobre el %CEF para el desengrasante neutro. En cada gráfica se mantienen 2 factores constantes y se varía el factor señalado. Los valores constantes en cada caso son: Limoneno= 3.75 %v/v, Butilglicol= 2.25 %v/v y LES= 2.25 %v/v.59

Figura 15. Maximización del modelo mostrando el efecto de los diferentes compuestos sobre el %CEF para el desengrasante básico. En cada gráfica se mantienen 3 factores constantes y se varía el factor señalado. Los valores constantes en cada caso son: NaOH= 2.25%v/v, Tw 80= 1.75%v/v, Ecosurf= 1.75%v/v y Metasilicato de sodio= 3%p/v, y los valores óptimos de las concentraciones de cada sustancia con el %CEF calculado.64

Figura 16. Maximización del modelo mostrando el efecto de los diferentes compuestos sobre el %CEF para el desincrustante ácido. En cada gráfica se mantienen 2 factores constantes y se varía el factor señalado. Los valores constantes en cada caso son Tween 20 =1.75%v/v, A. Oxálico= 5.5 %p/v y A. glicólico=7.5%v/v y los valores óptimos de las concentraciones de cada sustancia con el %CEF calculado.64

Figura 17. Maximización del modelo el efecto de los diferentes compuestos sobre el %CEF para el desengrasante neutro. En cada gráfica se mantienen 3 factores constantes y se varía el factor señalado. Los valores constantes en cada caso son: NaOH= 2.25%v/v, Tw 80= 1.75%v/v, Ecosurf= 1.75%v/v y Metasilicato de sodio= 3%p/v y los valores óptimos de las concentraciones de cada sustancia con el %CEF calculado.65

Figura 18. Combinación de los tensoactivos Tween 80 - Tween 20 y variación de la proporción de los mismos para evaluar estabilidad, compatibilidad y apariencia del formulado después de 24 h de mezcla.75

Figura 19. Combinación de los tensoactivos Tween 80 -Ecosurf y variación de la concentración de NaOH, para evaluar estabilidad, compatibilidad y apariencia del formulado después de 24 h de mezcla.76

Figura 20. Combinación de los tensoactivos Tween 20 - Ecosurf y Tween 80 Ecosurf con variación de la concentración de NaOH, para evaluar estabilidad, compatibilidad y apariencia del formulado después de 24 h de mezcla77

Figura 21.Combinación y variación de la proporción de los tensoactivos y Tween 80 - Ecosurf con variación de la concentración de NaOH, para evaluar estabilidad, compatibilidad y apariencia del formulado después de 24 h de mezcla.78

Figura 22. Combinación de los tensoactivos Tween 80 – Tween 20, con variación de la concentración de los Ácidos oxálico y glicólico, para evaluar estabilidad, compatibilidad y apariencia del formulado después de 24 h de mezcla.79

Figura 23. Combinación de los tensoactivos Tween 80 – Tween 20, con variación de la concentración de los Ácidos oxálico y glicólico, para evaluar estabilidad, compatibilidad y apariencia del formulado después de 24 h de mezcla.79

| | |
|---|----|
| Figura 24. Variación de la concentración del Tween 20, manteniendo constante la concentración de los Ácidos oxálico y glicólico, para evaluar estabilidad, compatibilidad y apariencia del formulado después de 24 h de mezcla. | 80 |
| Figura 25. Comparación en la apariencia y estabilidad al mezclar tensoactivo, Butilglicol, limoneno y agua, en diferente orden..... | 82 |
| Figura 26. Prueba del cambio en la apariencia al reemplazar el tensoactivo LES por Tween 80 y agregar el LES al final de mezclar la fase acuosa y oleosa. | 83 |
| Figura 27. Mezcla de Tween 80, Butilglicol, Limoneno, Etanol, Agua y LES, para evaluar el cambio en la apariencia al aumentar la concentración de cada sustancia, tomando como mezcla inicial Tween 80: 1.5%v/v, Butilglicol: 0.5%v/v, Limoneno: 0.5%v/v, Etanol:0.5%v/v y LES:0.5%v/v | 83 |
| Figura 28. Mezcla de Tween 80, Butilglicol, Limoneno, Etanol, Agua y LES, para evaluar el cambio en la apariencia al aumentar la concentración de cada sustancia, manteniendo constante la concentración de limoneno, tomando como mezcla inicial Tween 80: 1.5 %v/v, Butilglicol: 0.5%v/v, Limoneno: 3 %v/v, Etanol:0.5%v/v y LES:0.5%v/v | 84 |

Figura 29. Mezcla de Tween 80, Butilglicol, Limoneno, Etanol, Agua y LES, para evaluar el cambio en la apariencia al aumentar la concentración de cada sustancia, manteniendo constante la concentración de limoneno Y les, tomando como mezcla inicial Tween 80: 3 %v/v, Butilglicol: 0.5%v/v, Limoneno: 3 %v/v, Etanol:0.5%v/v y LES:0.5%v/v85

Figura 30 . Análisis del efecto de la variación en la concentración de NaOH (entre 0.5 y 4 %v/v) en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (11-2, 8-5, 1-23, 17-9, 15-24, 25-22) manteniendo constante la concentración de Metasilicato de sodio, Tween 80 y Ecosurf..... 102

Figura 31. Análisis del efecto de la variación en la concentración de Metasilicato de sodio (entre 2 y 4 %p/v) en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (15-11, 3-10, 24-2, 21-15, 7-12 y 13-19) manteniendo constante la concentración de NaOH, Tween 80 y Ecosurf. 102

Figura 32. Análisis del efecto de la variación en la concentración de Ecosurf (entre 0.5 y 3 %p/v) en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (8-25, 4-14, 10-12, 3-7, 5-22, 6-20) manteniendo constante la concentración de NaOH, Tween 80 y Metasilicato de sodio. 103

Figura 33. Análisis del efecto de la variación en la concentración de Tween 80 (entre 0.5 y 3 %p/v) en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (6-4, 20-14, 17-

1, 21-13, 23-9, 18-19) manteniendo constante la concentración de NaOH, Ecosurf y Metasilicato de sodio. 104

Figura 34. Análisis del efecto de la variación en la concentración de Tween 20 (entre 0.5 y 3 %p/v) en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (4-12, 13-8, 3-11, 1-10) manteniendo constante la concentración del ácido glicólico y ácido oxálico 116

Figura 35. Análisis del efecto de la variación en la concentración de ácido glicólico entre 5 y 10 %v/v en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (8-10, 2-7, 13-1, 6-9) manteniendo constante la concentración de Tween 20 y Ácido oxálico 116

Figura 36. Análisis del efecto de la variación en la concentración de ácido oxálico entre 2 y 9 %v/v en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (2-9, 4-11, 3-12 y 7-6) manteniendo constante la concentración de Tween 20 y Ácido glicólico. 117

Figura 37. Prueba cualitativa para observar el efecto desoxidante y desincrustante 123

Figura 38 Análisis del efecto de la variación en la concentración de Limoneno entre 0.5 y 7 %v/v en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (2-5, 6-3, 13-8 y 9-10) manteniendo constante la concentración de LES y Butilglicol.....127

Figura 39 Análisis del efecto de la variación en la concentración de Butilglicol entre 0.5 y 4 %v/v en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (4-1, 5-10, 2-5 y 12-7) manteniendo constante la concentración de LES y Limoneno.127

Figura 40 Análisis del efecto de la variación en la concentración de LES entre 0.5 y 4 %v/v en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (1-7, 8-3, 4-12 y 13-6) manteniendo constante la concentración de Butilglicol y Limoneno.128

Figura 41. Gráfica de normalidad de los residuales del desengrasante básico ..135

Figura 42. Gráfica de normalidad de los residuales del desengrasante neutro...135

Figura 43. Gráfica de normalidad de los residuales del desincrustante ácido136

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|--|-------------|
| ANEXO A. Pruebas preliminares para la elección de los tensoactivos a utilizar ... | 75 |
| ANEXO B. Diseño experimental para cada producto generado desde Minitab 2018, usando el método box Behnken..... | 88 |
| ANEXO C. Normas ASTM G121 y G122 | 90 |
| ANEXO D. Procedimiento preparación de muestras | 98 |
| ANEXO E. Resultados de la evaluación de efectividad. | 100 |
| ANEXO F. Evaluación del efecto de cada componente en el desengrasante básico | 102 |
| ANEXO G. Prueba t student para dos muestras..... | 106 |
| ANEXO H. Evaluación del efecto de cada componente en el desincrustante ácido | 116 |
| ANEXO I. Pruebas de diferencia significativa para el desincrustante ácido | 118 |
| ANEXO J. Prueba cualitativa del desincrustante ácido..... | 123 |

| | |
|--|-----|
| ANEXO K. Evaluación del efecto de cada componente en el desengrasante neutro | 127 |
| ANEXO L. Pruebas de diferencia significativa para el desengrasante neutro | 130 |
| ANEXO M. Gráficas pruebas de normalidad | 135 |
| ANEXO N. Resultados del ANOVA..... | 137 |
| ANEXO O. Fotografías obtenidas usando producto comercial del ácido obtenidas – producto comercial | 139 |
| ANEXO P. Manual y ficha técnica de los formulados | 140 |

RESUMEN

TÍTULO: FORMULACIÓN DE UNA LÍNEA DE DETERGENTES DE USO INDUSTRIAL-DOMÉSTICO *

AUTORES: LINA JULIETH CARO JAIME, DAMARIS ROJAS PIMIENTO**

PALABRAS CLAVES: FORMULACIÓN, DESENGRASANTE, FACTOR DE EFICACIA DE LIMPIEZA, DESINCRUSTANTE, MODELO MATEMÁTICO.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto, tiene como principal objetivo formular tres productos, siendo dos de ellos desengrasantes, básico y neutro y un desincrustante ácido, para fortalecer el portafolio de productos de la empresa Zumotec S.A ofrecidos a la industria y al sector doméstico. Para ello inicialmente se seleccionaron las materias primas y sus rangos de concentración mediante una consulta en diferentes fuentes de información, y se escogió un diseño de experimentos de tipo Box Behnken, con tres repeticiones, variando las concentraciones de los componentes más importantes de cada formulación. Posterior a esto, para probar la efectividad de los desengrasantes los mismos fueron testeados bajo las normas ASTM G121 y G122, teniendo en cuenta el modo de uso de productos comerciales y contaminantes de interés. De las pruebas se obtuvo un porcentaje de factor de eficacia de limpieza (%CEF) máximo de 5.0% para el desengrasante básico, de 29.0% para el desincrustante ácido y del 64.1% para el desengrasante neutro. Usando la herramienta informática Minitab se obtiene un modelo matemático para cada producto y se maximiza obteniéndose la siguiente formulación: para el desengrasante básico, 4%v/v soda cáustica, 4%p/v Metasilicato, 0.5%v/v Ecosurf y 0.5%v/v Tween 80 con un %CEF del 8.8%, para el desincrustante ácido, 10%v/v Ác. Glicólico ,2%p/v Ác. Oxálico, 3%v/v Tween 20 con un %CEF del 29.9% y para el desengrasante neutro 0.5%v/v Limoneno ,4%v/v Butilglicol, 0.5%v/v LES con un %CEF del 65.8%.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química.
Directora: Débora Álcida Nabarlatz, Ingeniera Química, PhD.

ABSTRACT

TITLE: FORMULATION OF A LINE OF DETERGENTS OF INDUSTRIAL-
DOMESTIC USE *

AUTHORS: LINA JULIETH CARO JAIME, DAMARIS ROJAS PIMIENTO **

KEYWORDS: FORMULATION, DEGREASER, CLEANING EFFECTIVENESS
FACTOR, DESINCELLANT, MATHEMATICAL MODEL

DESCRIPTION:

The main objective of this project is to formulate three products, two of them are degreasers, basic and neutral and an acid descaling, in order to strengthen the portfolio of products of the company Zumotec S.A offered to industry and the domestic sector. Initially, the raw materials and their concentration ranges were selected and a design of Box Behnken type experiments was chosen, with three repetitions, varying the concentrations of the most important components of each formulation. After this, to prove the effectiveness of the degreasers they were tested under the ASTM G121 and G122 standards, considering the way of using commercial products and contaminants of interest. From the tests, a percentage of cleaning efficiency factor (%CEF) of 5.0% was obtained for the basic degreaser, 29.0% for the acid descaling and 64.1% for the neutral degreaser. Using the Minitab computer tool, a mathematical model is obtained for each product and it is maximized obtaining the following formulation: for the basic degreaser, 4% v/v caustic soda, 4% p/v Metasilicate, 0.5% v v Ecosurf and 0.5%v/v Tween 80 with a %CEF of 8.8%, for the acid descaling, 10% v/v Glycolic Acid, 2%p/v Oxalic Acid, 3%v/v Tween 20 with a %CEF of 29.9% and for the neutral degreaser 0.5%v/v Limonene, 4%v/v Butylglycol, 0.5%v/v LES with a %CEF of 65.8%

* Final project

** Physical-Chemical Engineering Department, Chemical Engineering School.
Director: Débora Álcida Nabarlatz, Chemical Engineer, PhD.

INTRODUCCIÓN

La función que ejerce la limpieza en los diferentes sectores de la economía ha pasado de ser un simple requisito, a establecerse como una necesidad. Ya sea en un ambiente laboral o doméstico, su importancia abarca desde la salud e higiene de las personas, hasta la preservación de la calidad de los productos fabricados por innumerables empresas¹. La limpieza constante y periódica ayuda a prevenir el mal funcionamiento de equipos y evita posibles daños en instrumentos y su material de fabricación, debido a que en el ámbito industrial, institucional y doméstico se manejan diferentes fluidos como grasas vegetales y animales, derivados del petróleo, agua y otros, que por sus características físico-químicas generan suciedad difícil de remover, contaminación e incrustaciones, siendo estas últimas las causantes de problemas como recalentamiento de los equipos y/o disminución en su eficiencia².

En la actualidad las empresas encargadas de producir detergentes y sustancias químicas tienen productos que satisfacen esta necesidad, pero algunos de estos son formulados a partir de sustancias que pueden ser nocivas para la salud y contaminar el medio ambiente. Por esta razón, las instituciones encargadas de la regulación y vigilancia de productos de limpieza y desinfección han propuesto normas ambientales más exigentes que sean aplicadas a estos productos. Por lo

¹ GARCÍA LÓPEZ, José Luis y BERGA MONGE, Alberto. Unidad didáctica 3. pre-requisitos del APPCC. [En línea] Curso de seguridad alimentaria. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. 2007. (Recuperado en 16 de marzo 2018.) Disponible en <http://ocw.upm.es/tecnologia-de-alimentos/seguridad-alimentaria/contenidos/Lecciones-y-Test/Lec-3.1.pdf>

² PANCORBO FLORISTÁN, Francisco. Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación. Barcelona: Marcombo ediciones técnicas, 2011.p.138. ISBN 978-84-267-1576-0. Disponible en <https://books.google.com.co/books?id=ULYPNbQISxoC&pg=PA138&dq=el+agua+es+incrustante?&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjZgpmc0KzXAhXEYiYKHSSZDfsQ6AEIPzAF#v=onepage&q=el%20agua%20es%20incrustante%3F&f=false>

anterior, las empresas se han visto en la obligación de no solo enfocarse en el desarrollo de productos acordes a las necesidades de los consumidores, si no de dirigir sus esfuerzos en la preservación y cuidado del medio ambiente. De esta manera, ZUMOTEC S.A, empresa santandereana con más de 17 años de experiencia en la investigación e innovación en procesos, que desarrolla, fabrica y comercializa productos biodegradables para la limpieza higiene y desinfección, con altos estándares de calidad y seguros para la salud y el medio ambiente, decide desarrollar una nueva línea de detergentes para su uso a nivel industrial y/o doméstico.

Este trabajo con modalidad de práctica empresarial busca formular una línea de detergentes (desengrasantes y desincrustante) que complementan el portafolio de productos de la empresa ZUMOTEC S.A amigables con el medio ambiente y que se adapten a las necesidades de sus clientes, utilizando sustancias permitidas según la normativa ambiental NTC 5131³.

³INSTITUTO TÉCNICO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. (2011). Etiquetas Ambientales Tipo I. Sello Ambiental Colombiano. Criterios Para Productos Limpiadores Institucionales, Industriales Y Para Uso Doméstico. NTC 5131(571). Bogotá, D.C.: El instituto, 2011. 69p. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Sello_ambiental_colombiano/NTC_5131_Etiquetas_ambientales_tipo_I.pdf

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Formular detergentes de tipo ácido, alcalino y neutro dirigidos al sector industrial-doméstico, uno por cada tipo, con el fin de complementar el portafolio de productos de la empresa ZUMOTEC S.A.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar las materias primas y establecer las diferentes mezclas de ácidos, bases, solventes, coadyuvantes y/o excipientes involucradas en la formulación de cada detergente, con sus respectivos rangos de concentración, considerando aspectos económicos, medioambientales y disponibilidad de los mismos.
- Evaluar la efectividad de los detergentes formulados de tipo ácido, alcalino y neutro teniendo en cuenta las normas ASTM G121 y G122.
- Establecer las concentraciones óptimas de cada compuesto mediante la maximización del modelo matemático obtenido y determinar el costo de producción de cada producto formulado.

2. ESTADO DEL ARTE

Varios autores mencionan que dentro de los compuestos que contienen las formulaciones de los detergentes se encuentran sustancias con efectos negativos sobre el medio ambiente como: nonilfenol etoxilado, usado como tensoactivo; ciertos derivados de hidrocarburos alifáticos, aromáticos y halogenados, empleados como disolventes; ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y ciertos fosfatos, utilizados como quelantes^{4 5 6 7}. Verschoor y Reijnders⁸, exponen en sus trabajos que algunas sustancias en estas formulaciones para detergentes son perjudiciales para la salud humana; sostienen que el TCE (tricloroetileno) es cancerígeno y mutágeno. A raíz de estos descubrimientos se crearon leyes como la Directiva 1999/13/CE, donde se ordena la búsqueda de compuestos alternativos para la formulación de los detergentes, estableciendo rangos de tolerancia permitidos y exigiendo la prohibición de algunos compuestos.

⁴ COGNIS CORPORATION. Graffiti remover, Paint stripper, degreaser. Inventors: S. GROSS, M. BARABASH and F. HESSEL. Int. CL.: C11D 7/50. Fecha de solicitud: 22, agosto, 2000. Estados Unidos, patente de investigación. US 6824623 B1. 30, noviembre, 2004. Disponible en <https://patents.google.com/patent/US7449437>

⁵ BUCKEYE INTERNATIONAL. Cleaner/degreaser compositions with surfactant combination. Inventor: G. SCHERUBEL. Int. CL.: C11D 17/00. Fecha de solicitud: 14, agosto, 2002. Estados Unidos, patente de investigación. US 6716804 B2. 6, abril, 2004. Disponible en <https://patents.google.com/patent/US6716804>

⁶ SCODA AMERICA. Oil degreaser with absorbent and method. Inventors; W. WILBUR. and D. WILBUR. Int. CL.: C11D 1/70. Fecha de solicitud: 20, noviembre, 2000. Estados Unidos, patente de investigación. US 6511954 B1. 28, junio, 2004. Disponible en <https://patents.google.com/patent/US6511954>

⁷ MWJ, L.L.C. Liquid cleaning, degreasing, and disinfecting concentrate and methods of use. Invector: M. SANCHEZ. Int. CL. C11D 3/22. Fecha de solicitud: 9, marzo, 2001. Estados Unidos, patente de investigación. US 6300300 B1. 9, octubre, 2001. Disponible en <https://patents.google.com/patent/US6511954>

⁸VERSCHOOR, Atie H. and REIJNDERS, Lucas. Toxics reduction in processes. Some practical examples. Journal of Cleaner Production. 2001. Vol. 9, no. 3, p. 277–286. Disponible en: 10.1016/S0959-6526(00)00072-X

Tradicionalmente para la limpieza se han utilizado tensoactivos debido a que influyen en las propiedades del detergente, gracias a su carácter anfifílico; característica que le confiere la propiedad reductora de la tensión superficial del agua, aumentando la mojabilidad del formulado y removiendo así los contaminantes. Entre los tensoactivos se destacan los aniónicos, no iónicos o la mezcla de estos ⁹. Por otra parte, diversos solventes naturales como el limoneno, el cual es usado como un agente de limpieza, fue reemplazando a compuestos como los derivados del petróleo y fosfatos los cuales son un medio para el crecimiento de bacterias contaminantes¹⁰.

En la industria de los detergentes, las empresas fabrican desengrasantes y/o desincrustantes. Los desengrasantes son formulados a base de derivados de petróleo y carbón, utilizados en la remoción de grasas animales y metalmecánicas para la limpieza de equipos e instalaciones ¹¹. Los desincrustantes son productos que han permitido la eliminación de incrustaciones como los carbonatos metálicos y sedimentos minerales, encontrados en los sistemas de refrigeración, tuberías de agua, evaporadores, condensadores, máquinas de hielo, etc. Las sustancias usadas en la mayoría de los desincrustantes son el ácido clorhídrico, fosfórico, sulfámico, cítrico y láctico además de otros componentes tales como inhibidores de

⁹ RAKOWSKA, Joanna, RADWAN, Katarzyna, PORYCKA, Bożenna and PROCHASKA, Krystyna. Experimental study on surface activity of surfactants on their ability to cleaning oil contaminations. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 144, p. 437–447. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.158>

¹⁰ QUIROZ, Andrea. (2009). Utilización de residuos de cáscara de naranja para la preparación de un desengrasante doméstico e industrial. Trabajo de fin de carrera previo a la obtención del Título de Ingeniera Ambiental. Ecuador.: Universidad Internacional SEK. Facultad de Ciencias Ambientales, 2009. p. 13-57 Disponible en: <http://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/407/1/Utilizaci%C3%B3n%20de%20residuos%20de%20c%C3%A1scara%20de%20naranja%20para%20la%20preparaci%C3%B3n%20de%20un%20desengrasante%20dom%C3%A9stico%20e%20industrial>.

¹¹ COGNIS CORPORATION, Op. cit., p. 2

corrosión, surfactantes, ácidos orgánicos, sales e indicadores de color, donde alguno de estos compuestos puede ser contaminantes ¹².

Se han realizado diversos estudios sobre el uso de sustancias que sean amigables con el medio ambiente ^{13 14 15 16}. Entre ellos se destaca el realizado por Bernard y Gregory¹⁷ sobre la formulación de un fluido desengrasante, exento de compuestos orgánicos volátiles, los cuales son tóxicos, cancerígenos y contribuyen a la formación de smog. Este desengrasante consta de un componente principal el cual es el paradiclorobenzotrifluoruro cuya concentración se encuentra entre 97.4 al 100% en volumen, posee baja toxicidad, se evapora rápidamente, no es cancerígeno, no daña la capa de ozono y tiene la capacidad de eliminar la grasa sin dañar el material a limpiar. En otro estudio, Quiroz ¹⁸ trabajó en la elaboración de un desengrasante a base de un residuo orgánico como la cáscara de naranja, de la cual se extraen sus principios activos obteniendo como resultado un extracto que funciona como desengrasante, para posteriormente incorporar aditivos como la glicerina y betaína para mejorar su funcionamiento. En varias de estas investigaciones no se cuentan con las concentraciones para cada una de las sustancias debido al secreto industrial.

¹² BRACKEN, James, GUST, Nick, ROSS, Jeff and COUTTS, Ashley. An assessment of the efficacy of chemical descalers for managing non-indigenous marine species within vessel internal seawater systems and niche areas. *Management of Biological Invasions*. 2016. Vol. 7, no. 3, p. 241–256. Disponible en http://www.reabic.net/journals/mbi/2016/3/MBI_2016_Bracken_etal.pdf

¹³ COGNIS CORPORATION, Op. cit., p. 1-6

¹⁴ BUCKEYE INTERNATIONAL, Op. cit., p. 1-8

¹⁵ SCODA AMERICA, Op. cit., p. 1-7

¹⁶ MWJ, L.L.C, Op. cit., p 1-7

¹⁷ Spray-based degreasing fluid. Inventors; B. ZYSMAN and G. ROBINSON. Int. CL.: C11D 3/24. Fecha de solicitud: 16, marzo, 2010. Estados Unidos, patente de investigación. US 20100240572. 23, septiembre, 2010. Disponible en <http://www.patentsencyclopedia.com/app/20100240572>

¹⁸ QUIROZ, Andrea, Op. cit.,1-114

En Colombia se estableció la norma NTC-5131, la cual determina diversas sustancias que han sido prohibidas para la formulación de productos detergentes de limpieza, características de envase, evaluación, verificación y determinación de la ecotoxicidad, entre otros ítems ¹⁹. Por otro lado, existen normas internacionales como las normas ASTM G121 y G122, las cuales son una guía para evaluar la efectividad de agentes limpiadores mediante pruebas gravimétricas.

¹⁹ INSTITUTO TÉCNICO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, Op. cit., p. 1-69

3. MARCO TEÓRICO

3.1 DETERGENTES

Los detergentes son sustancias o formulados basados en tensoactivos y compuestos complementarios, (ácidos, bases, solventes, coadyuvantes y/o excipientes). Disuelven la suciedad gracias a sus propiedades deterativas, emulsificantes y humectantes, adoptando desde formas sólidas hasta líquidas.²⁰

3.1.1 Desengrasante. Se define como un producto de naturaleza alcalina, ácida o neutra, con la capacidad de disolver grasas y aceites naturales o derivados del petróleo.²¹

3.1.2 Desincrustante. Es un producto formulado a base de ácidos con el fin de eliminar las incrustaciones, suciedades orgánicas como óxidos y depósitos de sales minerales, presentes en las paredes de los equipos, tuberías, herramientas, entre otros.

²⁰ Ibid., p. 3

²¹ EQUIPO VÉRTICE . Manipulación de productos químicos y de limpieza. España: Editorial vértice, 2011.p.86. ISBN 978-84-9931-287-3. Disponible en <https://books.google.com.co/books?id=Umm8f1HB8jEC&pg=PA86&dq=efecto%20de%20usar%20producto%20de%20limpieza&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjB7vGSh4fcAhWFmIkKHe-YCGIQ6AEIMDAC#v=onepage&q=efecto%20de%20usar%20producto%20de%20limpieza&f=true>

3.2 SUSTANCIAS USADAS EN FORMULACIÓN DE DETERGENTES

3.2.1 Sustancias básicas y ácidas. Se refiere a compuestos con un pH mayor a 7 y menor a 7 respectivamente; los cuales reaccionan con los contaminantes permitiendo la limpieza.

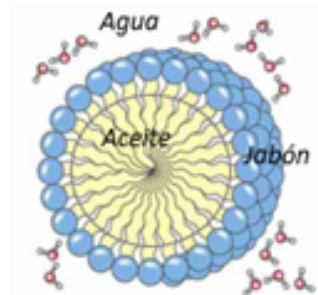
3.2.1 Tensoactivos. Son compuestos químicos orgánicos y/o sintéticos que reducen la tensión superficial. Su molécula está conformada por una parte hidrofóbica (cola) y otra parte hidrofílica (cabeza), es por esto que al entrar en contacto con sistemas de dos fases se orientan en la interfase dependiendo de su afinidad ²².

Estas moléculas se organizan formando agregados macromoleculares llamados micelas, en los que las partes hidrofílicas se orientan hacia el exterior, y las partes hidrofóbicas hacia un centro común en el interior ²³, ver **Figura 1**

²² GIL MUÍÑO, Ana. Análisis y caracterización de agentes tensoactivos, polímeros y química fina en un laboratorio de control. Trabajo de Máster en Ciencias, Tecnologías y Gestión Ambiental. Coruña. Universidad de Coruña. Artxo química S.L.U, 2014. p. 17-19. Disponible en https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/13628/GilMuino_Ana_TFM_2014.pdf?sequence=2&isAllowed=y

²³ CABANES, Antonio Solé. Tensoactivos en la industria textil: Surfactants in textiles. 3C-Tecnología. 2014. Vol. 3, p. 137–151. Disponible en: <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2014/09/TENSOACTIVOS-EN-LA-IND%C3%A9ASTRIA-TEXTIL.pdf>

Figura 1. Representación de una micela



Fuente: G, Eduardo. Micela. Wisdom School. [En línea]. (Recuperado en 13 de junio de 2018.) Disponible en: <http://www.educa.madrid.org/web/cc.nsdelasabiduria.madrid/Ejercicios/2b/Biologia/Lipidos/micelas.htm>

Los tensoactivos son usados en una amplia gama de productos tales como champús, cosméticos, productos farmacéuticos, geles, suavizantes, antibacterianos, entre otros, debido a que poseen propiedades como poder mojante, emulgente, dispersante, espumante, detergente y humectante. ²⁴

La clasificación de los tensoactivos se debe al poder de disociación del grupo hidrofílico y propiedades fisicoquímicas teniéndose los siguientes:

- **Iónicos:** el grupo hidrofílico tiene una carga positiva o negativa, poseen gran afinidad por el agua debido a su atracción electrostática hacia los dipolos de esta; se clasifican en tres tipos: aniónicos, catiónicos y anfóteros ²⁵

²⁴ LÓPEZ, José Luis. Tensoactivos. [En línea] ASC Engineering Industrial. Catalunya: Asociación Lengin de Ingeniería Industrial de Catalunya. 2013. p. 10-14. (Recuperado en 16 de marzo 2018.) Disponible en <http://ocw.upm.es/tecnologia-de-alimentos/seguridad-alimentaria/contenidos/Lecciones-y-Test/Lec-3.1..pdf>

²⁵ PEREZ GONZALES. Tensoactivos. [En línea] Curso de capacitación en sitios contaminados. Viera: Universidad de Viera. 2013. (Recuperado en 15 de mayo 2018.). Disponible en http://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/lectures/SEMARNAT/SEMARNAT-E-Clasificacion_de_Tensoactivos.pdf

- Aniónicos: El grupo hidrófobo de la molécula lo constituye una carga negativa. Son los más utilizados en detergentes en polvo por su acción espumante, productos líquidos para el lavado de ropa, vajillas y otros materiales.²⁶

- Catiónicos: El grupo hidrófobo de la molécula lo constituye una carga positiva. Estos son poco usados en la limpieza debido a que las superficies por lo general están cargadas negativamente, y los cationes se adhieren a la suciedad en vez de solubilizar. Son utilizados como suavizantes de textiles, inhibidores del crecimiento de organismos unicelulares e inhibidor de la corrosión de metales.²⁷

- Anfóteros: Actúan como tensoactivos aniónicos o catiónicos dependiendo del pH del medio. A valores de pH básicos son aniónicos y pH ácidos son catiónicos.²⁸

- No iónicos: son los tensoactivos que sin ionizarse solubilizan la suciedad. En su mayoría biodegradables, humectantes y muy eficientes para la eliminación

²⁶ GIL MUÍÑO, Ana, Op. cit., p. 18

²⁷ Ibid., p. 18-19

²⁸ Ibid., p. 19

de la grasa. Su naturaleza química los hace compatibles con los tensoactivos aniónicos y catiónicos. ²⁹

3.2.3 Quelantes. Estas sustancias tienen la habilidad de formar estructuras en forma de anillo atrapando cationes metálicos (Fe^{2+3} , Al^{+3} , Pb^{+2} , Ca^{+2} , etc..), formando compuestos complejos solubles o insolubles en agua, impidiendo que el metal se precipite, cristalice o reaccione. Son importantes en la formulación de detergentes, debido a que su poder mojante disminuye por la presencia de sales que causan la dureza del agua, reduciendo el tamaño promedio de las micelas y afectando su efectividad. ³⁰

3.2.4 Aditivos. Son sustancias que se utilizan para mejorar las propiedades organolépticas de los productos. Entre los aditivos se encuentran los conservantes, utilizados para evitar la proliferación de microorganismos; viscosantes que aumentan la viscosidad; estabilizantes, permiten mantener las emulsiones estables; colorantes, tintes y pigmentos, que ayudan a modificar la apariencia del producto; hidratantes, usados para el cuidado de la piel, entre otras³¹.

²⁹ Ibid., p. 19

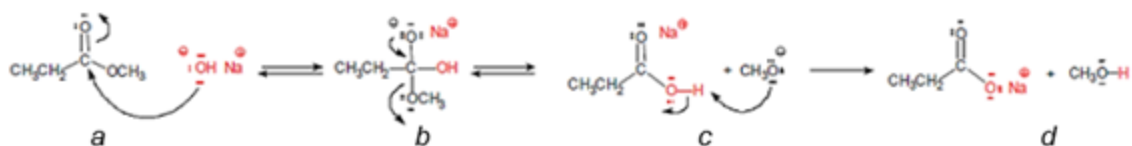
³⁰ QUÍMICOS ESIOD S.A. Agentes Quelantes. [En línea] Jabones y detergentes. Buenos Aires. 2015. (Recuperado en 20 de mayo 2018.) Disponible en <http://www.essiod.com.ar/Imagenes/ProductosdeLimpieza.pdf>

³¹ QUIROZ, Andrea. Op. cit., p 48, 78-85

3.3 MECANISMO DE LIMPIEZA

3.3.1 Saponificación. Inicialmente al poner en contacto una base fuerte como el NaOH con agua, esta se disocia en iones (OH^- y Na^+), que en contacto con el contaminante, el ion hidróxido (OH^-) ataca al carbono del carboxilo del glicérido, desplazando un par de e^- al oxígeno (Figura 2a), donde se forma un intermediario tetraédrico (Figura 2b), el cual evoluciona y se separa en un ion alcóxido y un ácido carboxílico (Figura 2c), este ión alcóxido por ser una base fuerte reacciona con el ácido carboxílico y le arrebató un protón (H^+), formando un alcohol, finalmente el ion carboxilato reacciona con el ion de sodio (Na^+) y forma la sal de ácido graso, que es soluble en agua (Figura 2d)³².

Figura 2. Proceso saponificación

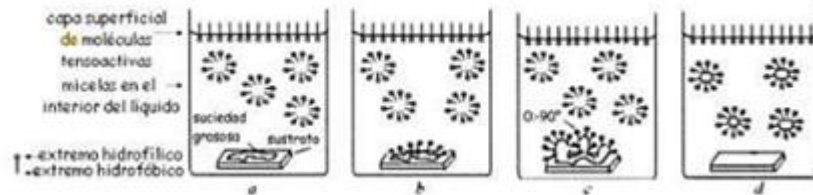


Fuente: Saponificación: mecanismo de reacción. I. E. Ciudad de Asís. [En línea]. (Recuperado en 13 de junio de 2018). Disponible en: <http://www.ieciudaddeasis.edu.co/ova/ova/acidoscarboxilicos/siete/saponificacion.html>

3.3.2 Mecanismo deteritivo de los tensoactivos. En los productos de limpieza además de poseer la habilidad de modificar la tensión superficial, poseen acción deteritiva, debido a la diferente polaridad de la molécula.

³² BOURDREUX, Sebastien. Saponification. Les savons : mode d'action et preparation a partir des triglycerides. Francia. Universite Blaise Pascal - Clermont-Ferrand . 2002. p3-6 Disponible en: http://www.lerepairedessciences.fr/sciences/agregation_fichiers/LECONS/CHIMIE/lc17.pdf

Figura 3. Efecto de los agentes tensoactivos



Fuente: GIL MUÍÑO, Ana. Análisis y caracterización de agentes tensoactivos, polímeros y química fina en un laboratorio de control. Trabajo de Máster en Ciencias, Tecnologías y Gestión Ambiental. Coruña. Universidad de Coruña. Artxeo química S.L.U, 2014. p. 17-19. Disponible en https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/13628/GilMuino_Ana_TFM_2014.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Como se ilustra en la **Figura 3**, se tiene una solución de agua y tensoactivo, donde el tensoactivo entra en contacto con la grasa de tal forma que la parte hidrofóbica (cola) interactúa con ella, donde el ángulo formado entre la grasa y la superficie aumenta gracias a esa interacción, que al incluir agitación desprende la grasa en pequeñas partículas formando micelas, en la cual en el centro se encuentra la grasa unida a la parte hidrofóbica (cola) del surfactante y hacia el exterior se ubica la parte hidrofílica (cabeza), de esta forma la grasa queda en suspensión ³³.

³³ GIL MUÍÑO, Ana, Op. cit., p. 17-18

4. METODOLOGÍA

La metodología que se llevará a cabo se presenta en la **Figura 4**.

Figura 4. Diagrama de descripción global de la metodología a realizar



4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para el desarrollo de cada uno de los detergentes a formular, se tuvo en cuenta tipos de contaminantes encontrados en las labores de limpieza de equipos en la industria, se tienen grasas de tipo animal, vegetal y mineral, así como el cemento y el óxido. Dentro de las sustancias más usadas para la eliminación o remoción de este tipo de contaminantes se encuentran las básicas o ácidas.

Teniendo en cuenta que, para disolver la grasa de tipo animal se utilizan desengrasantes básicos formulados a base de varias sustancias, incluyendo sustancias básicas, como lo son, el hidróxido de potasio (KOH) o hidróxido de sodio (NaOH) ³⁴, que aunque son muy utilizadas para el desplazamiento de la suciedad gracias a que son solubles en agua, versátiles y de fácil adquisición, el NaOH tiene

³⁴ ERCO WORLDWIDE. Usos soda caustica. [En línea] Soda cáustica. Toronto. 2018. (Recuperado en 30 de agosto 2018.) Disponible en <http://www.ercoworldwide.com/index.php/products/caustic/?lang=es>

la ventaja de saponificar las grasas (aunque esta reacción ocurre en un grado bajo), usando menor cantidad en comparación con KOH, haciendo de esta mejor opción teniendo en cuenta el costo-beneficio.

En el caso de los contaminantes como el cemento y el óxido se usan desincrustantes ácidos para disolverlos, usando sustancias como lo son el ácido glicólico, ácido fosfórico, ácido oxálico y ácido clorhídrico, entre otras. Por su parte el ácido fosfórico, aunque es efectivo en la remoción del óxido, afecta en gran medida la vida acuática y humana, a su vez el ácido clorhídrico ³⁵ es efectivo en la eliminación del óxido y depósitos de carbonato de calcio, pero es muy corrosivo lo que puede afectar la superficie a limpiar, además estos ácidos se encuentran regulados por la legislación colombiana, por lo cual se descartan de la formulación.

Por otro lado el ácido glicólico ³⁶ posee propiedades favorables en comparación con los ácidos anteriormente mencionados, debido a que presenta baja corrosividad, bajo olor, fácil biodegradabilidad, además de esto disuelve el sarro, el carbonato de calcio y se emplea en la remoción de la caseína (proteína de la leche), y de manera semejante se encuentra el ácido oxálico ³⁷ usado en la quelación de iones Ca^{++} y Fe^{++} o Fe^{+++} (entre otros metales) por lo que es utilizado para la limpieza de metales,

³⁵ MUÑOZ CAMACHO, Eugenio y GRAU RIOS, Mario. Ingeniería Química. Ácido clorhídrico. Madrid: Editorial Uned, 2013. ISBN 978-84-362-6642-9. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=EES6nXZJbaMC&pg=PT332&dq=%C3%A1cido+clorh%C3%ADrico+es&hl=es&sa=X#v=onepage&q=%C3%A1cido%20clorh%C3%ADrico%20es&f=false>

³⁶ CIACOMEQ.S.A.S. Nuevas tendencias productos de limpieza libre de fosfatos. [En línea] Colombia. 2017.(Recuperado 20 de agosto 2018.) Disponible en: <http://www.ciacomeq.com/2017/>

³⁷ MUÑETONES, David; LONDOÑO, Viviana; FERNANDEZ, Camilo; TORRES, Clara y MEJIA, Oscar. (2007). Ácido Oxálico. Trabajo asignación. Colombia: Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Disponible en: https://www.academia.edu/23953855/Acido_oxalico.

calderas, placas de acero y remoción de óxido por lo dicho se escogen dentro de la formulación.

Adicionalmente para eliminar grasa de origen vegetal, se utilizan desengrasantes neutros formulados a partir de solventes como benceno, cloroformo y metil étil cetona los cuales generan graves problemas de salud ³⁸ Por ello se buscan alternativas de estos compuestos que sean biodegradables y amigables con el medio ambiente, entre ellos se encuentra el limoneno ³⁹ que, a pesar de su alto costo, se obtiene un gran beneficio al ser una sustancia natural usada como desengrasante, otro compuesto es el Butilglicol ⁴⁰ que posee alta compatibilidad con el agua y una gran capacidad de solvencia, siendo estos los seleccionados para la formulación del mismo.

Con el fin de mejorar la acción del formulado, se buscan sustancias que aporten propiedades para disminuir la tensión interfacial, deterativas y emulsionantes, llamados tensoactivos, los cuales varían en función de sus características. Para el desengrasante básico y desincrustante ácido, se buscan tensoactivos que no generen gran cantidad de espuma, para evitar un consumo excesivo de agua en el proceso de limpieza, para este caso los más utilizados son los tensoactivos no

³⁸ PISCOYA ARBAÑI, Julio. Toxicidad de los solventes como riesgo ocupacional. [En línea]. 2000. Revista Boletín de la Sociedad Peruana de Medicina Interna, Vol. 13 N°1. (Recuperado en 06 septiembre 2018). Disponible en <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/spmi/v13n1/toxicidad.htm>

³⁹ QUIMINET. El D-limoneno o Terpenos de Naranja. [En línea] QuimiNet. México D.F. 2017. (Recuperado 30 de agosto 2018.) Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/el-d-limoneno-o-terpenos-de-naranja-36744.htm>

⁴⁰ Chemical Safety Facts. Disolventes. [En línea] Estados Unidos. 2018. (Recuperado en 13 de agosto 2018.) Disponible en <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/disolventes/>

iónicos, donde se encuentra la Cocoamida ⁴¹, descartada debido a la posibilidad del compuesto a ser cancerígeno, mientras que los polisorbatos como Tween 20, Tween 80 ⁴²y Ecosurf ⁴³son compuestos que se degradan fácilmente y poseen baja toxicidad para el ser humano. Los polisorbatos son agentes emulgentes estables y humectantes, solubles en agua y etanol, funcionan en pH de 2 a 12 y son usados en alimentos, farmacia y para emulsificar aceites. Así mismo, el Ecosurf es excelente humectante y eliminador de grasas.

Para el desengrasante neutro se buscó un tensoactivo de tipo aniónico, debido a que estos presentan propiedades emulsificantes y espumantes, dentro de los cuales se encuentra el Lauril éter sulfato de sodio (LES) y ácido sulfónico. Aunque el ácido sulfónico es ampliamente utilizado en detergentes y es soluble en agua, es un compuesto inestable, muy corrosivo y su capacidad de biodegradación es menor respecto a otros compuestos, por lo que este tensoactivo es descartado⁴⁴. Por ello se escogió el tensoactivo LES debido a que es un compuesto fácilmente

⁴¹ PROPOSITION65. Cocamide DEA. [En línea] Science for a Healthy California. 2017. (Recuperado en 18 de septiembre 2018.) Disponible en: <https://www.p65warnings.ca.gov/fact-sheets/cocamide-diethanolamine-cocamide-dea-coconut-oil-diethanolamine-condensate/>

⁴² Dirección General de Medicamentos Insumos y Drogas. (2018). Ficha técnica Polisorbato-80. Peru. Ministerio de Salud, 2012. p8. Disponible en: http://www.digemid.minsa.gob.pe/UpLoad/UpLoaded/PDF/EURacMed/TrabSalud/ReuTec/RTM_Marzo_2009/8_FICHAS_TECNICAS_TALLER.pdf

⁴³ The Dow Chemical Company. Surfactantes de especialidad ECOSURF. [En línea] Ecosurf. EE.UU. 2018. (Recuperado en 18 de septiembre 2018.) Disponible en: http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_0259/0901b80380259be2.pdf?filepath=surfactants/pdfs/noreg/119-02252.pdf&fromPage=GetDoc

⁴⁴ Grupo Transmerquim. Ácido Sulfónico. [En línea] GTM Ficha de datos de seguridad. Brasil. 2016. (Recuperado en 18 de septiembre 2018.) Disponible en: <http://www.gtm.net/images/industrial/a/%C3%81CIDO%20SULF%C3%93NICO.pdf>

biodegradable, no corrosivo, químicamente estable y más económico en comparación al nonilfenol y el ácido sulfónico ⁴⁵.

Otras sustancias importantes en la formulación de detergentes, son los agentes quelantes, debido que reducen la dureza del agua permitiendo que aumente la efectividad del formulado. Analizando la bibliografía, se encontró que el EDTA es el agente quelante más usado debido a su alta efectividad, pero es una sustancia altamente contaminante por lo cual se encuentra prohibida por la norma NTC 5131, por lo cual se buscó otra opción como lo es el Metasilicato de sodio ⁴⁶, que cumple su función de quelante y, amortigua el pH, al mismo tiempo con el dequest 2010⁴⁷ evitan la corrosión del material, la redeposición de la suciedad y permiten que el material lavado se enjuague fácilmente.

Para la elección de las sustancias pertenecientes a cada formulado y teniendo en cuenta lo anterior, se realizaron pruebas preliminares con los tensoactivos para seleccionar las parejas en cada formulado (**ANEXO A**).

⁴⁵ Grupo Transmerquim. Eter Lauril Sulfato de Sodio. [En línea] GTM Ficha de datos de seguridad. Brasil. 2017. (Recuperado en 18 de septiembre 2018.) Disponible en: <http://www.gtm.net/images/industrial/e/ETER%20LAURIL%20SULFATO%20DE%20SODIO%20.pdf>

⁴⁶ LAFUENTE, Santiago; BURGUETE, Isabel y ALTAVA, Benito. Introducción a la química orgánica. Metasilicatos de sodio. España: Editorial Universidad Jaume, ed. IV. p.245. 1997. ISBN 84-8021-160-1. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=b3FTKVVWYjP4C&pg=PA245&dq=silicato+sodico+usos&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiqiKaqsjdAhXQxVkkKHcYqCvkQ6AEIUzAl#v=onepage&q=silicato%20sodico%20usos&f=true>

⁴⁷ Global Sources. Ácido 1-Diphosphonic. [En línea] Dequest. China. 2018. (Recuperado en 18 de septiembre 2018.) Disponible en: <http://spanish.globalsources.com/si/AS/Zhengzhou-Hoo/6008850344394/pdtl/HEDP-1-Hydroxyethylidene-1/1141603479.htm>

4.2 SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Para la selección de las materias primas que conforman cada una de las formulaciones de los productos doméstico-industriales, se buscó sustancias que cumplieran las necesidades de la empresa ZUMOTEC S.A teniendo en cuenta características como la biodegradabilidad, costo-beneficio, efecto sobre la salud, disponibilidad y toxicidad.

En la **Tabla 1** se pueden ver las materias primas, suministradas por proveedores certificados de la empresa ZUMOTEC S.A, con los rangos de composición seleccionados, según revisión bibliográfica, libros, catálogos y las pruebas preliminares. Para algunas sustancias se eligió un valor de concentración constante, debido a que no poseen tanta influencia en la efectividad del formulado, sino que permiten mejorar la apariencia, la estabilidad y solubilidad como el Tween 80 con el desengrasante neutro y el alcohol. En el formulado del desengrasante básico y el desincrustante ácido se agregó etanol en concentraciones de 0.5%v/v y 1%v/v respectivamente, valores suministrados por la empresa, debido a que mejora la solubilidad de los tensoactivos en el agua ⁴⁸. Para el desincrustante se encontró que el Dequest 2010 es usado en una concentración de 0.05%v/v ⁴⁹, por lo que se decide trabajar con esta. En el caso del desengrasante neutro el etanol se deja constante en una concentración de 0.5%v/v, ya que permite la disolución del surfactante en la fase oleosa y ayuda a la formación de la micela inversa. Otra variable que se dejó

⁴⁸ PRODUCTOS OPERATIVOS DE LA COMPAÑÍA PARA INDUSTRIAS QUÍMICAS SEPPIC. Nuevo agente hidrótopo, su uso para solubilizar tensoactivos no iónicos, composiciones que los comprenden. Invector: M. GAYRAL; S. KERVERDO; J. GUILBOT y H. ROLLAND. Int. C07H 15/04. Fecha de solicitud: 14, noviembre, 2011. España, patente de investigación. 2 532 215. 7, enero, 2015. Disponible en http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/53/22/ES-2532215_T3.pdf

⁴⁹Global Sources. Ácido 1-Diphosphonic. [En línea] Dequest. China. 2018. (Recuperado en 18 de septiembre 2018.) Disponible en: <http://spanish.globalsources.com/si/AS/Zhengzhou-Hoo/6008850344394/pdtl/HEDP-1-Hydroxyethylidene-1/1141603479.htm>

constante fue la concentración del Tween 80 ⁵⁰, la cual se varía con respecto al limoneno en relación 2 a 1 %v/v, determinada mediante pruebas preliminares (**ANEXO A**), para mejorar la apariencia y la estabilidad de la emulsión aceite (Limoneno) en agua ⁵¹.

Tabla 1. Sustancias seleccionadas para cada detergente

| | Función | Compuestos | Rango de composición | |
|-----------------------------|-----------------------|--|----------------------|-----|
| Desengrasante Básico | Tensoactivos | Monooleato de polioxietilen (20) sorbitano (Tween 80) | 0.5% - 3% | v/v |
| | | Ecosurf™ | 0.5% - 3% | v/v |
| | Agente Quita grasa | Hidróxido de sodio (Soda caustica) | 0.5% - 4% | v/v |
| | Quelante | Metasilicato de sodio | 2%-4% | p/v |
| | Solvente | Agua | 96 % – 85.5% | v/v |
| Etanol (Alcohol industrial) | | 0.5% | v/v | |
| Desincrustante Ácido | Tensoactivos | Monolaurato de polioxietilen (20) sorbitano (Tween 20) | 0.5% - 3% | v/v |
| | Agente desincrustante | Ácido etanodioico (Ácido Oxálico) | 2% - 9% | p/v |
| | | Ácido 2-hidroxietanoico (Ácido Glicólico) | 5% - 10% | v/v |
| | Quelante | Ácido 1-hidroxietiliden-1,1-difosfónico(Dequest 2010) | 0.05% | v/v |
| | Solvente | Agua | 92% - 77.5% | v/v |
| Etanol (Alcohol industrial) | | 0.5% | v/v | |
| Desengrasante Neutro | Tensoactivos | 2-(2-dodeciloxietoxi) etil sulfato de sodio (Lauril Éter sulfato sódico) | 0.5% - 4% | v/v |
| | | Monooleato de polioxietilen (20) sorbitano (Tween 80) | 1% - 14% | v/v |
| | Solvente Quita grasa | 1-metil-4- (1-metiletenil) -ciclohexeno (D-limoneno) | 0.5% - 7% | v/v |
| | | 2-Butoxietanol (Butilglicol) | 0.5% - 4% | v/v |
| | Solvente | Etanol (Alcohol industrial) | 0.5% | v/v |
| Agua | | 97% – 70.5% | v/v | |

4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLA

Para el diseño experimental se tuvo en cuenta la cantidad de experimentos a realizar, acotados por tiempo de montaje de cada muestra y disponibilidad de

⁵⁰ VILLACRÉS POVEDA, Clara. Obtención de un hidrolizado enzimático de alta funcionalidad a partir del CHOCHO. Trabajo de Máster en Ciencias de alimentos. Ecuador. Universidad Politécnica Nacional. 2001. p 42-45. Disponible en <https://books.google.com.co/books?id=yIAzAQAAMAAJ&pg=PA42&lpg=PA42&dq=emulsiones+traslucidas&source=bl&ots=yNx268S19O&sig=IHCiX3YO9m4y91XvFPYb93rXIIU&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjxMOY08jdAhXktkKHU9jCY0Q6AEwC3oECAMQAQ#v=onepage&q=emulsiones%20traslucidas&f=true>

⁵¹ Shandong IRO Water Treatment Co. 1-hidroxi etiliden-1,1-difosfónico (HEDP). [En línea] Iro specialty chemicals. Estados Unidos. 2018. (Recuperado en 11 de septiembre 2018.) Disponible en: <https://www.irowater.com/span/hedp/>

material de laboratorio. Se realizó un diseño de mezclas de tipo *Box Behnken*, el cual arrojó puntos de diseño en combinaciones de 3 niveles (altos, medios y bajos) de los factores en los rangos especificados. Para generar las diferentes combinaciones para las pruebas se usó el programa estadístico Minitab 2018, **ANEXO B**. En la **Tabla 2** se observan las sustancias que van a variar en la formulación de cada producto y los valores de los niveles bajo, medio y alto.

Tabla 2. Niveles de los factores del diseño Box-Behnken

| Factores | | bajo | medio | alto | Fijo |
|----------------------|----------------------------------|------|-------|------|-----------------------------|
| Desengrasante Básico | Tween 80 | 0.5% | 1.75% | 3% | Etanol 0.5% |
| | Ecosurf™ | 0.5% | 1.75% | 3% | |
| | Soda caustica | 0.5% | 2.25% | 4% | |
| | Metasilicato de sodio | 2% | 3% | 4% | |
| Desincrustante Ácido | Tween 20 | 0.5% | 1.75% | 3% | Etanol 1% |
| | Ácido Oxálico | 2% | 5.5% | 9% | Dequest 2010 0.05% |
| | Ácido Glicólico | 5% | 7.5% | 10% | |
| Desengrasante Neutro | Lauril Éter sulfato sódico (LES) | 0.5% | 2.25% | 4% | Tween 80 relación 2 a 1 v/v |
| | D-limoneno | 0.5% | 3.75% | 7% | |
| | Butilglicol | 0.5% | 2.25% | 4% | |

4.4 EVALUACIÓN DE EFECTIVIDAD DE LOS DETERGENTES

Para la evaluación de efectividad se determinó el coeficiente de efectividad, según los protocolos establecidos en las normas ASTM G121 Y G122 (**ANEXO C**) modificadas. Para esto se llevaron a cabo las siguientes etapas:

4.4.1 Preparación y contaminación de las láminas de acero inoxidable. Para los experimentos de evaluación de efectividad de los detergentes se utilizaron láminas de acero inoxidable de 8x4 cm y 0.7 mm de espesor, Inicialmente a cada una de las láminas se les realizó un lavado ultrasónico con agua desionizada, a continuación, fueron secadas, enumeradas y pesadas para obtener el peso de la lámina sin contaminantes (MX1).

Después de la limpieza de las láminas, la superficie de estas fue impregnada con el contaminante seleccionado, procurando que todas quedaran con la misma cantidad de este. Para ello se utilizaron sebo o grasa cruda bovina (para desengrasante alcalino), aceite de cocina usado en fritura (para desengrasante neutro) y cemento gris para construcción (para desincrustante ácido), obtenidos en carnicerías, cafeterías y ferreterías respectivamente, ubicados en Bucaramanga, Santander. Los productos comerciales utilizados para la comparación entre el desengrasante básico y el desincrustante ácido formulados fueron LARK FOAM HD y LARK CLEAN INOX respectivamente, ambos fabricados por la compañía LARKIN, mientras que para el desengrasante neutro se eligió el Easy-off Bang fabricado por Virumec s.a.

En función a las características de los contaminantes, cada uno se distribuyó de la manera más homogénea posible en su respectiva lámina. Debido a que la grasa de sebo bovino es sólida a temperatura ambiente, la misma se calentó a una temperatura de 50°C y se impregnó por ambos lados de la lámina. Por otro lado, el cemento, se preparó en agua en relación (3:1 p/v); el aceite de cocina de fritura se utilizó tal como se recolectó. En ambos casos, fueron impregnados en un solo lado de la lámina. Las láminas conteniendo la muestra contaminante se dejaron secar a temperatura ambiente por 24 horas y finalmente se tomó el peso de la lámina contaminada (MX2) en una Balanza Radweg Mod. AS220.R2 de 4 cifras de precisión.

4.4.2 Preparación del detergente

Cada muestra de detergente se preparó con un volumen total de 100 mL a temperatura ambiente. El orden de adición es un factor importante que afecta la presentación visual del producto. En la **Figura 5** se muestra el orden de mezclado y la velocidad de agitación usada para cada muestra. Debido a que los reactivos

Metasilicato de sodio y ácido oxálico son sólidos, se agita la muestra hasta disolución y homogeneización de dichos compuestos. Para mayor comprensión en el **ANEXO D** se encuentra la descripción de la **Figura 5**.

Figura 5. Preparación de muestras de cada producto

| Producto | Desengrasante básico | Desincrustante ácido | Desengrasante neutro |
|-------------------------------|--|--|--|
| Orden de mezclado Mezcla 1 | Tween 80 Alcohol industrial Ecosurf  | Tween 20 Alcohol industrial  | Limoneno Alcohol industrial Butilglicol Tween 80  |
| Velocidad de agitación | 100 rpm - 1 min | 100 rpm -1 min | 500 rpm - 1 min |
| Agregar | Metasilicato de sodio | Ácido oxálico | LES |
| Velocidad de agitación | 500 rpm | 500 rpm | 500 rpm – 30 s |
| Agregar | Soda caustica | Ácido glicólico – Dequest | -- |
| Velocidad de agitación | 500 rpm – 3 min | 500 rpm – 2 min | -- |

El orden de mezcla de cada detergente se debe a que se desea obtener un producto traslucido, que no tenga precipitados, separación de fases o se torne de apariencia lechosa.

4.4.3 Limpieza de contaminantes en las láminas. Para definir el modo de limpieza, se analizaron las diferentes condiciones de aplicación utilizadas por productos comerciales, como porcentaje o relación de dilución, método y el tiempo de aplicación para cada producto. En la Figura 6 se muestra el proceso de limpieza para cada lámina con su respectivo producto, relación de dilución, modo y tipo de limpieza. Adicionalmente se muestra la forma de enjuague o remoción del producto.

Finalmente, cada lámina se secó a temperatura ambiente por 24 horas y se pesó para obtener el peso de la lámina después de la limpieza (MX3).

Figura 6. Condiciones de limpieza

| Producto | Desengrasante básico | Desincrustante ácido | | Desengrasante neutro |
|---|---|---|---|---|
| Modo de limpieza | Inmersión | Inmersión | Spray | Aplicación en spray |
| Relación v/p* | 44 mL/0.35 g | 50 mL/1.1 g | --- | 3 mL/0.3 g |
| Cantidad en gramos del contaminante adherido y relación producto - agua |  Aprox. 0.35 g 1:10 |  Aprox. 1.1 g 1:2 |  Porciones del codo oxidado 4 x 4 cm Puro 5 ml |  Aprox. 0.3 g Puro 3 ml |
| Tiempo de limpieza | 20 min | 15 min | 10 min | 10 min |
| Enjuague o Remoción del producto | Agua - 20 s | Cepillo y agua | Paño y agua | Suspender lámina 1 min |

*Detergente/contaminante, v/p

Todos los experimentos se realizan por triplicado en días diferentes. Como control positivo se utilizaron los productos comerciales ya mencionados.

Adicional a la prueba con la lámina contaminada con cemento, se analizó la acción desoxidante del desincrustante ácido, mediante la realización de una prueba cualitativa, la cual se basó en dividir un codo de una formaleta metálica, que contenía óxido y trazas de cemento en secciones cuadradas del mismo tamaño y probar en ella las muestras de detergente preparadas como indica la **Figura 6**.

La variable de respuesta evaluada en todos los casos es el factor de eficacia de limpieza (CEF, Cleaning Efficiency Factor por sus siglas en inglés)⁵², el cual indica la fracción de contaminante que se eliminó durante la limpieza (Ecuación 1):

⁵² AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. (2015). Standard test method for evaluating the effectiveness of cleaning agents. ASTM G122-96, West Conshohocken, Pensilvania and Estados Unidos. 2015. 1-4p. Disponible en: <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2242/download/G122.31418.pdf>

$$\% \text{CEF} = \frac{MX2 - MX3}{MX2 - MX1} * 100$$

Ecuación 1. Factor de Eficacia de limpieza (CEF)

MX1 = peso de la lámina sin contaminantes
 MX2 = peso de la lámina contaminada
 MX3 = peso de la lámina después de la limpieza
 MX2-MX3= masa del contaminante eliminada.
 MX2-MX1= masa del contaminante aplicada.

4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Al recopilar los valores de la variable respuesta (%CEF) de cada uno de los detergentes, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), teniendo en cuenta un nivel de confianza del 95% para determinar los compuestos y composiciones que influyen significativamente en el %CEF. A partir del análisis ANOVA se obtiene y optimiza un modelo matemático para determinar una concentración ideal de cada compuesto donde el producto alcanzará la máxima efectividad.

4.6 FORMULACIÓN Y COSTO DE PRODUCCIÓN

Después de realizar el tratamiento a los datos obtenidos de la prueba de efectividad, se evaluó la mezcla óptima obtenida por modelo matemático, realizando el procedimiento descrito en el numeral 4.4 Evaluación de efectividad de los detergentes. Además, se realizó el análisis de costos de producción del producto sin empaque en el cual se evalúan: costo de la materia prima, servicios, aseo y desinfección, mano de obra, costo de pruebas fisicoquímicas y microbiológicas; obteniendo el costo de producción por litro de cada producto.

4.7 MANUAL DEL PRODUCTO Y FICHA DE SEGURIDAD

Adicionalmente se realizó un manual y una ficha de seguridad para cada producto teniendo en cuenta sus propiedades físico químicas del mismo por lo cual se determinó la densidad (con picnómetro), viscosidad (viscosímetro digital), toxicidad (tomando como referencia la materia prima más tóxica del formulado) y propiedades organolépticas. (Ver **ANEXO P**).

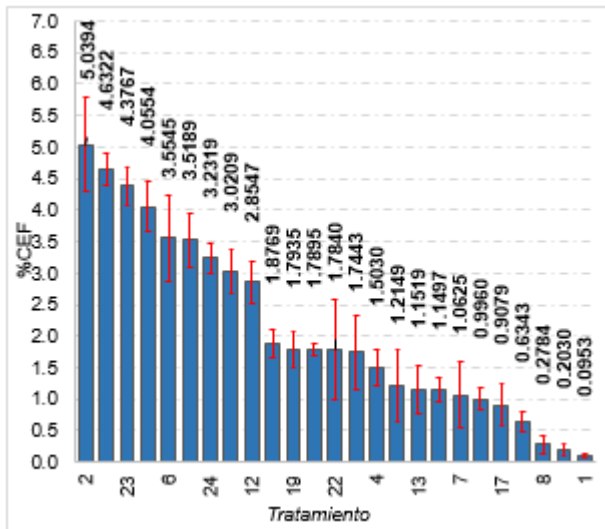
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 FACTOR DE EFICACIA DE LIMPIEZA DE LOS DETERGENTES

Luego de realizada la evaluación de efectividad de los detergentes usando el método gravimétrico; se calculó el valor de %CEF para cada tratamiento usando la **Ecuación 1**. Los resultados de los 3 experimentos para cada producto se encuentran en el **ANEXO E**. Todos los experimentos mostraron un %CEF > 0 lo que indica que existe remoción de los contaminantes.

5.1.1 Detergente básico:

Figura 7. Evaluación del %CEF variando la concentración de los diferentes componentes del desengrasante básico.



| Tto. | Soda caustica [%v/v] | Tween 80 [%v/v] | Ecosurf [%v/v] | Metasilicato [%p/v] |
|------|----------------------|-----------------|----------------|---------------------|
| 2 | 4 | 1.75 | 1.75 | 4 |
| 5 | 4 | 1.75 | 0.5 | 3 |
| 23 | 4 | 0.5 | 1.75 | 3 |
| 18 | 2.25 | 0.5 | 1.75 | 4 |
| 6 | 2.25 | 0.5 | 0.5 | 3 |
| 9 | 4 | 3 | 1.75 | 3 |
| 24 | 4 | 1.75 | 1.75 | 2 |
| 10 | 2.25 | 1.75 | 0.5 | 4 |
| 12 | 2.25 | 1.75 | 3 | 4 |
| 21 | 2.25 | 0.5 | 1.75 | 2 |
| 19 | 2.25 | 3 | 1.75 | 4 |
| 14 | 2.25 | 3 | 3 | 3 |
| 22 | 4 | 1.75 | 3 | 3 |
| 20 | 2.25 | 0.5 | 3 | 3 |
| 4 | 2.25 | 3 | 0.5 | 3 |
| 3 | 2.25 | 1.75 | 0.5 | 2 |
| 13 | 2.25 | 3 | 1.75 | 2 |
| 11 | 0.5 | 1.75 | 1.75 | 4 |
| 7 | 2.25 | 1.75 | 3 | 2 |
| 16 | 2.25 | 1.75 | 1.75 | 3 |
| 17 | 0.5 | 3 | 1.75 | 3 |
| 25 | 0.5 | 1.75 | 3 | 3 |
| 8 | 0.5 | 1.75 | 0.5 | 3 |
| 15 | 0.5 | 1.75 | 1.75 | 2 |
| 1 | 0.5 | 0.5 | 1.75 | 3 |

En la **Figura 7** se observa que los tres tratamientos que permiten la mayor efectividad obteniendo el mayor %CEF (5%, 4.6% y 4.3%) corresponden a la composición de soda cáustica 4%v/v (nivel alto), mientras al compararse con los últimos 5 tratamientos cuyo %CEF es mucho menor (0.09% - 1%), se observa que

estos corresponden al menor porcentaje de soda 0.5%v/v (nivel bajo). De esta manera, se evidencia una dependencia que relaciona directamente la composición de soda cáustica con la eficiencia de remoción, donde al aumentar la cantidad de soda cáustica aumenta la efectividad del producto.

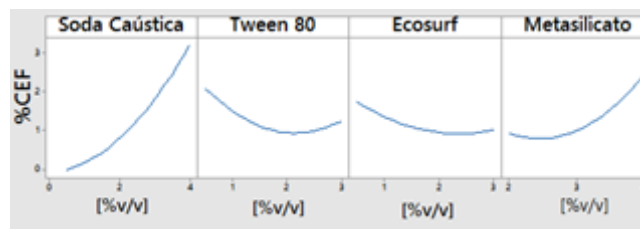
En la **Figura 7** no se observa una tendencia definida en la variación de la concentración del Metasilicato de sodio con respecto a la remoción de la suciedad. Sin embargo, al comparar los resultados de los tratamientos en los que sólo se varía la concentración del Metasilicato, (Ver **ANEXO F, Figura 31**), se puede observar que a medida que aumenta la cantidad de Metasilicato el %CEF puede aumentar de 0.6 % hasta 2.2%.

En el caso de los tensoactivos, aparentemente se observa que al aumentar la concentración de Ecosurf y Tween 80 de 0.5 %v/v a 3 %v/v disminuye el CEF en la mayoría de los casos. Este comportamiento se corrobora al comparar los tratamientos donde sólo se varía la concentración de cada tensoactivo (Ver **ANEXO F, Figura 32 y Figura 33**), por lo que el aumentar la cantidad de tensoactivo no se mejora la limpieza.

Para lo anterior se realizaron comparaciones por parejas de tratamientos en los que se valida gráficamente la diferencia obtenida en la variable respuesta, manteniendo 3 factores constantes y un factor variable (**ANEXO F**). También se aplicó a cada pareja el test paramétrico prueba T de student, con el propósito de verificar si existe diferencia significativa entre estas con una confianza del 95%. En el caso del NaOH y el Metasilicato de sodio (**ANEXO G**), se observó que existen diferencias estadísticamente significativas en las parejas de tratamientos dado que el estadístico $p < 0.05$, lo que nos sugiere que tanto el NaOH como el Metasilicato de

sodio tiene un efecto positivo en el %CEF. Por otra parte, en las parejas de tratamientos donde sólo se varía la concentración de los tensoactivos Tween 80 o Ecosurf (**ANEXO G**), mostraron que, en la mayoría de los casos, no había diferencia significativa entre los tratamientos dado que el estadístico $p > 0.05$, con lo cual se afirma que, al aumentar la concentración de los tensoactivos, estos no aumentan el %CEF.

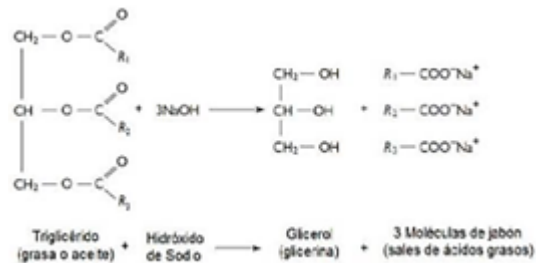
Figura 8. Efecto de los diferentes compuestos sobre el %CEF para el desengrasante básico. En cada gráfica se mantienen 3 factores constantes y se varía el factor señalado. Los valores constantes en cada caso son: NaOH= 2.25%v/v, Tw 80= 1.75%v/v, Ecosurf= 1.75%v/v y Metasilicato de sodio= 3%p/v.



En la **Figura 8** se observa que a medida que aumenta la concentración de NaOH el coeficiente de efectividad aumenta en forma casi lineal. De manera similar, a medida que aumenta la concentración de Metasilicato de sodio, el coeficiente de efectividad también aumenta, aunque un efecto menos pronunciado. Este efecto puede deberse a que en el desengrasante básico está compuesto por una base fuerte, (NaOH), el cual al entrar en contacto con el contaminante (triglicéridos como aceites vegetales y/o grasas animales) reaccionando con este para producir sales de ácidos grasos (**Figura 9**), las cuales son solubles en agua (saponificación), generando una emulsión y permitiendo que la grasa se disgregue⁵³.

⁵³ STEGER, Eva; GUTIERREZ, Joseph; ZAMBRANO, Marielis; GIL, Yisleydy y FIGUEROA, Luigi. Soft & Pure. [En línea] Producción de Jabón. Venezuela. Universidad de los Andes. 2012.

Figura 9. Reacción de saponificación



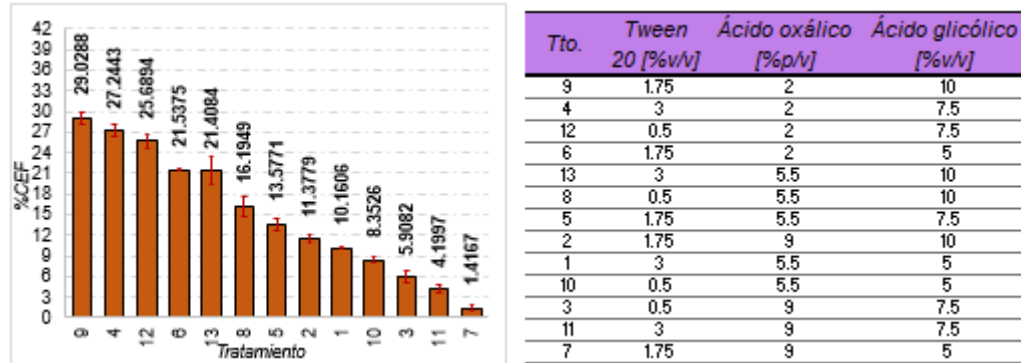
Fuente: R, Michelle. Aplicaciones: saponificación. [En línea]. (Recuperado en 13 de junio de 2018.) Disponible en: <https://grasas-y-aceites-vegetales.webnode.com.co/aplicaciones/>

Por otro lado, como se observa en la **Figura 8**, aumentar la concentración de los tensoactivos como Tween 80 y Ecosurf, no varía significativamente el %CEF, esto puede deberse al tipo de contaminante a limpiar y/o mecanismo de limpieza. Sin embargo, su presencia es necesaria para disminuir la tensión superficial, emulsionar y evitar la redeposición de las partículas de grasas. Análogamente, la presencia del Metasilicato de sodio en la formulación ayuda a mejorar la efectividad del producto, debido a que atrapa los iones Ca y Mg presentes en el agua permitiendo que no haya un redeposición de estos en la superficie así poder eliminar la suciedad con mayor efectividad

(Recuperado en 30 de septiembre 2018.) <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/marquezronald/wp-content/uploads/proyecto-final.pdf>

5.1.2 Desincrustante ácido

Figura 10. Evaluación del %CEF variando la concentración de los diferentes componentes del desincrustante ácido.



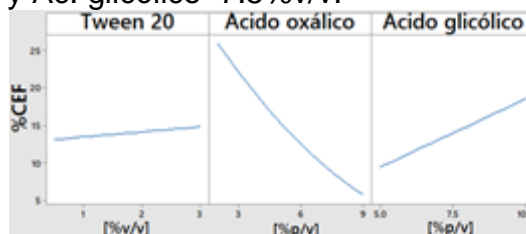
La evaluación de la capacidad de limpieza del desincrustante ácido se evaluó utilizando cemento como agente contaminante. Como se observa en la **Figura 10**, en los primeros 4 tratamientos cuando la cantidad de Ác. glicólico disminuye y con ello el %CEF, por lo que indica que cuando aumenta la concentración del Ác. glicólico aumenta el %CEF. Por otro lado, se observa que cuando el Ác. oxálico está presente al 2%p/v (nivel bajo) se observa un mayor %CEF, mientras que cuando la cantidad de Ác. oxálico es 9%p/v (nivel alto), se obtiene un %CEF bajo. Esto indicaría que un aumento en esta variable disminuye el %CEF. Por otro lado, en los tratamientos donde sólo se varía la concentración de Tween 20 (Ver **ANEXO H, Figura 34**), cuando la concentración del tensoactivo aumenta de 0.5 a 3 %v/v el %CEF aumenta.

Para validar lo anteriormente enunciado se realizaron comparaciones por parejas de tratamientos, manteniendo 2 factores constantes y un factor variable, en los que se pudiera evidenciar la diferencia obtenida en la variable respuesta (**ANEXO H**). Cada pareja de tratamientos se validó con el test paramétrico prueba T student, para verificar la existencia de diferencias significativas. Para el Ác. oxálico y glicólico

(**ANEXO I**), se observó que existen diferencias estadísticamente significativas en todos los tratamientos, ya que se obtuvo un valor $p < 0.05$, confirmando que el aumento en la concentración de ácido oxálico disminuye el %CEF, y aumentar la concentración del ácido glicólico aumenta la efectividad del formulado. Por otra parte, en las parejas de tratamientos donde se compara el efecto de la concentración del tensoactivo Tween 20, (**ANEXO I**), este mostró que no es concluyente la relación entre el aumento en la concentración y el %CEF.

Se comprobó la eficacia del desincrustante ácido para eliminar óxidos metálicos además de cemento. Para ello se realizó la prueba cualitativa explicada en el **ANEXO J**, donde se encontró que la remoción de óxido era mayor a una concentración de 5.5 %p/v del Ác. oxálico. Sin embargo, se evidencio que cuando se presentaba mayor remoción de óxido y de cemento el Ác. oxálico tenía una concentración de 2%p/v, y se desea formular un producto que posea ambas cualidades por ello es conveniente dejar este compuesto en este valor.

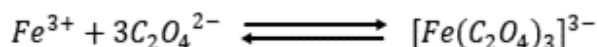
Figura 11. Efecto de los diferentes compuestos sobre el %CEF para el desincrustante ácido. En cada gráfica se mantienen 2 factores constantes y se varía el factor señalado. Los valores constantes en cada caso son Tween 20 =1.75%v/v, Ác. Oxálico= 5.5 %p/v y Ác. glicólico=7.5%v/v.



En la **Figura 11** se observa que a medida que aumenta la concentración del ácido glicólico el coeficiente de efectividad aumenta significativamente de forma lineal. El incremento en la concentración de tensoactivo Tween 20 también incrementa

levemente la eficiencia del proceso de limpieza. Por otro lado, cuando se aumenta la concentración del ácido oxálico disminuye el %CEF, por lo que se decide utilizar la concentración más bajo dentro del rango establecido. Este efecto puede deberse a que el ácido oxálico al entrar en contacto con la superficie metálica reacciona el óxido de hierro, óxido de cromo, óxido de estaño y ciertos iones como calcio, magnesio, potasio, formando complejos solubles en agua (**Figura 12**). Su uso se encuentra más aplicado a la remoción de óxido, es por ello que en la remoción del cemento no es tan efectivo ⁵⁴.

Figura 12. Reacción entre el hierro y el ion oxalato (ácido oxálico).



Por otro lado, el ácido glicólico reacciona con superficies oxidadas (óxido de hierro (Fe2O3)), cemento (óxido de calcio CaO), dióxido de silicio (SiO2), óxido de aluminio Al2O3) o incrustaciones como carbonato de calcio e hidróxido de magnesio, formando complejos con los metales calcio, hierro y magnesio o sales facilitando así la limpieza ^{55 56}.

⁵⁴ROSE, Enrique. Analisis química cualitativa. Madrid: Catedrático de medicina legal y de toxicología. Universidad Complutense. 1851.p.265. Disponible en https://books.google.com.co/books?id=vC0PjNj0f8gC&pg=PA267&lpg=PA267&dq=sales+solubilizas+por+el+%C3%A1cido+ox%C3%A1lico&source=bl&ots=wCBQzMoKed&sig=8H7dJO_nqIKS1P6AAgeIQBibnJE&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjA-PngwvjidAhWvo1kKHb8ACC4Q6AEwCnoECAUQAQ#v=onepage&q&f=false

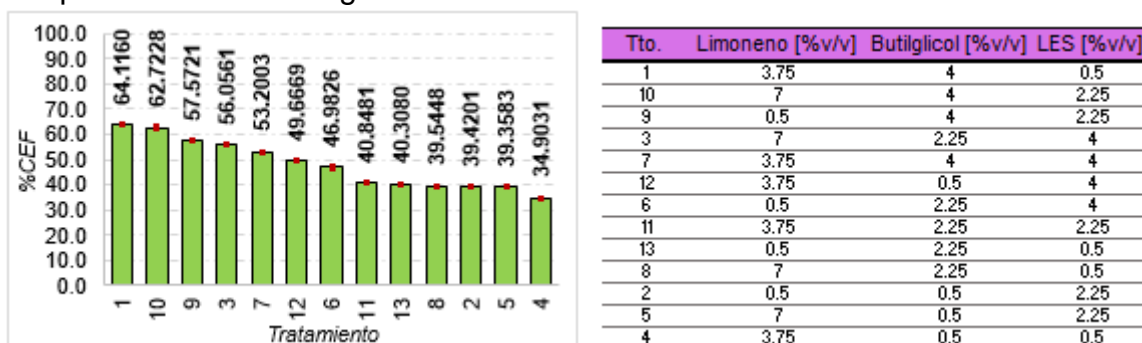
⁵⁵ CHEMOURS. Aplicaciones de fabricación de productos químicos industriales. [En línea] Acido glicólico. 2017. (Recuperado en 20 de septiembre 2018.) Disponible en: https://www.chemours.com/Glycolic_Acid/es_MX/uses_apps/industrial/ind_pgs/ind_mfg.html

⁵⁶ WILLIS, Christopher. Resolucion de problemas de química genera. Universidad de Western Ontario. Barcelona: Editorial Reverté S.A, 1995. p.439. ISBN 84-291-7526-1. Disponible en https://books.google.com.co/books?id=Ll3d3VW7srYC&pg=PA439&dq=formacion+formar+un+ion+complejo+de+oxalato+de+hierro&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwid9pX__o_cAhVjxFkKHfDWBUEQ6AEIJzAA#v=onepage&q=formacion%20formar%20un%20ion%20complejo%20de%20oxalato%20de%20hierro&f=true

Adicionalmente, como se muestra en la **Figura 11**, se observa un aumento en el %CEF a medida que se incrementa la concentración del tensoactivo Tween 20. Esto se debe a su poder humectante dado que permite que el agua, la cual contiene las sustancias del formulado, se distribuya a lo largo de una superficie

5.1.3 Desengrasante neutro

Figura 13. Evaluación del %CEF variando la concentración de los diferentes componentes del desengrasante neutro.



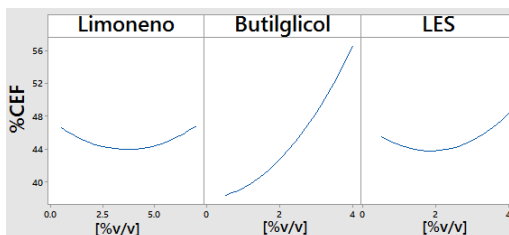
Como se puede ver en la **Figura 13**, los tratamientos que poseen la mayor cantidad de Butilglicol presente en la mezcla al 4%v/v (nivel alto), presentan el mayor %CEF, mientras que las muestras conteniendo la menor cantidad de Butilglicol de 0.5%v/v (nivel bajo), presentan el menor %CEF. Esto indica que, al aumentar la cantidad de Butilglicol en la mezcla se mejora la efectividad del producto. En cuanto al efecto que ejerce el limoneno en la limpieza, es posible evidenciar que el aumento en la efectividad de la limpieza es leve aumentando el %CEF hasta el 9% en el mejor de los casos (Ver **ANEXO K, Figura 38**).

En el caso del tensoactivo LES en la mayoría de los tratamientos a medida que aumenta la concentración aumenta el %CEF, mostrando un efecto positivo,

posiblemente debido al poder humectante, detergente y espumante, facilitando el arrastre de suciedad así mismo mejorando la apariencia del formulado.

Para validar lo anteriormente enunciado se realizaron comparaciones por parejas de tratamientos manteniendo 2 factores constantes y un factor variable, en los que se pudiera evidenciar gráficamente la diferencia obtenida en la variable respuesta (**ANEXO K**). Cada pareja de tratamientos se validó con el test paramétrico prueba T de student, con el propósito de verificar la existencia de diferencias significativas. En el caso del Butilglicol y del LES (**ANEXO L**), se observó que existen diferencias estadísticamente significativas en todos los tratamientos donde se obtuvo un p menor 0.05, con lo cual se confirma que al aumentar la concentración de Butilglicol y LES aumenta la efectividad del producto. Por otra parte, la prueba mostró que en las parejas de tratamientos donde sólo se varía la concentración del limoneno (**ANEXO L**), existen 2 parejas donde aumenta el %CEF, la prueba arrojó un valor $p < 0.05$ afirmando que aumentar la concentración de Limoneno aumenta la efectividad del formulado.

Figura 14. Efecto de los diferentes compuestos sobre el %CEF para el desengrasante neutro. En cada gráfica se mantienen 2 factores constantes y se varía el factor señalado. Los valores constantes en cada caso son: Limoneno= 3.75 %v/v, Butilglicol= 2.25 %v/v y LES= 2.25 %v/v.



En la **Figura 14** se puede observar que el limoneno presenta un mínimo en la eficiencia de limpieza a concentraciones intermedias. Debido a este comportamiento, y con el fin de disminuir los costos de materia prima del formulado, se decide utilizar la concentración más baja para el formulado final debido a que el costo del limoneno por Kg es de 36000 COP. Como era de esperarse, la concentración de Butilglicol evidencia un efecto exponencial sobre el %CEF, aumentando de manera pronunciada a medida que aumenta la concentración. Al igual que el limoneno, el tensoactivo Lauril Éter Sulfato (LES) tiene un comportamiento parabólico cóncavo hacia arriba, también obteniendo dos puntos en los que se alcanza la misma efectividad, pero a diferencia de este, al continuar aumentando la concentración del LES, sigue aumentando el coeficiente de efectividad, este resultado sugiere que se utilice la máxima concentración, pero teniendo en cuenta el costo del LES de \$3250 COP /L, al igual que el Limoneno se prefiere utilizar la mínima concentración teniendo en cuenta costo/beneficio.

La acción efectuada por el desengrasante neutro reside en la polaridad de sus compuestos principales, dentro de los cuales se encuentran los solventes como el Limoneno y el Butilglicol. Los aceites y grasas son moléculas apolares, por lo cual se hace necesario usar sustancias de la misma naturaleza que permitan arrastrarla. Por su parte el limoneno es apolar, por lo que ayuda a la disolución de los aceites y grasas, pero al ser insoluble en agua, alarga el enjuague de la superficie a limpiar, por ello se utiliza el Butilglicol por su naturaleza polar y apolar donde se asocia con el limoneno y con el agua, para arrastrar los contaminantes y permitir el enjuagado efectivo ⁵⁷.

⁵⁷ RHODIA CHIMIE. Degreasing method using a surfactant-free composition. Invector: J. JOYE. Int. CL.B08B 3/04. Fecha de solicitud: 30, Julio, 1997. Estados Unidos, patente de investigación. US 6306223 B1. 23, octubre, 2001. Disponible en <https://patents.google.com/patent/US6306223B1/en>

5.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

5.2.1 Prueba de normalidad

De la gráfica de residuales reportada por el programa estadístico minitab se determinó visualmente si los datos de cada producto siguen una distribución normal⁵⁸ **ANEXO M**.

Observando las gráficas de residuales de cada uno de los detergentes se puede concluir que los datos siguen una distribución normal debido a que los residuales tienen una tendencia lineal, con lo cual se valida el uso del Anova.

5.2.2 Obtención del modelo matemático y maximización

El análisis ANOVA (**ANEXO N**) permite determinar la influencia de cada una de las sustancias presentes en los detergentes. Para ello, se tuvo en cuenta la significancia en relación con la variable respuesta, donde se evaluó el parámetro valor-p con un nivel de significancia alfa(α) de 0.05, el cual indica un 5% de error en los resultados como aceptable. Para que exista un efecto significativo (es decir que los factores y sus combinaciones afectan a la variable respuesta) el valor p debe ser menor a 0.05, otro valor estadístico importante es el valor F con el cual se determinó que factor tiene mayor efecto sobre %CEF, dado que, a mayor valor de F, mayor impacto tiene el factor sobre el %CEF.

⁵⁸GUÀRDIA OLMOS, Joan; FREIXA BLANXART, Montserrat; PERÓ CEBOLLERO, Maribel y TURBANY OSET, Jaume. Análisis de datos en psicología. Universidad de Barcelona: Delta publicaciones, segunda edición. 2008. p.205-207. ISBN 987-84-92453-48-1. Disponible en: https://books.google.com.co/books?id=KnvzOIV_k9IC&pg=PA207&dq=residuales+normalidad&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjnPGyirncAhXGrFkKHaq8BTgQ6AEIKDAA#v=onepage&q=residuales%20normalidad&f=false

Del análisis ANOVA se estableció un modelo matemático de regresión el cual contiene términos lineales, cuadráticos y de interacción de dos factores. Se ajustó mediante el criterio del valor p, para el desengrasante básico, la combinación de los términos soda cáustica*Metasilicato y Ecosurf*Metasilicato no tienen efecto sobre el %CEF, ya que se obtuvo un p de 0.138 y 0.426 respectivamente, En este caso el factor que tiene mayor efecto es el NaOH con un F de 390.19, validando la afirmación anteriormente descrita en 5.1.1 Detergente básico. (Ver **ANEXO N, Tabla 14**)

En el caso del desincrustante ácido los términos que no poseen un efecto sobre el %CEF son el Tween 20*Tween 20 y ácido oxálico*ácido glicólico con un valor p de 0.720 y 0.123 respectivamente. Los factores que mayor tienen efecto son el Ác. glicólico y Ác. oxálico debido a que el valor F es de 1345.33 y 276.56 respectivamente (Ver **ANEXO N, Tabla 15**) validando lo anteriormente descrito en 5.1.2 Detergente ácido.

Las interacciones que no poseen efecto sobre el %CEF se debe a que el efecto que producen sobre la variable respuesta al mezclar estas sustancias es el mismo si se suman los efectos de cada sustancia por separado.

Para el desengrasante neutro todos los términos a excepción del limoneno mostraron ser significativos para el %CEF; La interacción entre el limoneno con los factores Butilglicol y LES, mostraron afectar la efectividad del formulado por esto no se descartó el factor Limoneno a pesar de tener un valor p de 0.866 (Ver **ANEXO N, Tabla 16**), mostrando que el efecto de esta sustancia es incrementado por la presencia de Butilglicol y LES en el formulado. El factor con más influencia en la

variable respuesta es el Butilglicol con un valor F de 234.9, validando lo anteriormente descrito en 5.1.3 Detergente neutro.

En la **Tabla 3** se pueden observar los modelos matemáticos de cada uno de los productos, obtenidos por medio del programa estadístico Minitab 2018, los cuales se ajustaron, eliminando los términos que no tenían significancia.

Tabla 3. Modelos matemáticos y R ajustado

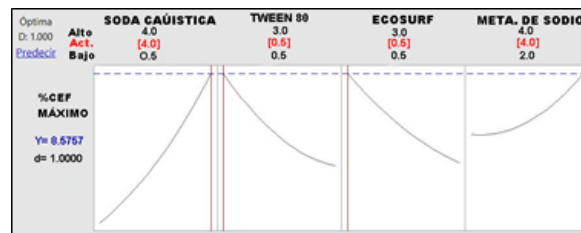
| | Desengrasante Básico | R-Ajust |
|--------------|--|----------------|
| % <i>CEF</i> | $= 4.63 + 1.033 \text{ Sosa} - 1.003 \text{ T80} - 1.047 \text{ Eco} - 3.11 \text{ Meta} + 0.1914 \text{ Sosa} * \text{Sosa} + 0.386 \text{ T80} * \text{T80} + 0.238 \text{ Eco} * \text{Eco} + 0.742 \text{ Meta} * \text{Meta} - 0.1910 \text{ Sosa} * \text{T80} - 0.3662 \text{ Sosa} * \text{Eco} + 0.3967 \text{ T80} * \text{Eco} - 0.307 \text{ T80} * \text{Meta}$ | 88.88% |
| | Desincrustante Acido | |
| % <i>CEF</i> | $= 21.24 - 0.33 \text{ T20} - 4.224 \text{ oxa} + 1.350 \text{ qli} + 0.1520 \text{ oxa} * \text{oxa} - 0.1865 \text{ T20} * \text{oxa} + 0.272 \text{ T20} * \text{qli}$ | 97.76% |
| | Desengrasante Neutro | |
| % <i>CEF</i> | $= 44.45 - 4.647 \text{ Li} + 3.57 \text{ Bu} - 2.32 \text{ LES} + 0.259 \text{ Li} * \text{Li} + 1.153 \text{ Bu} * \text{Bu} + 0.982 \text{ LES} * \text{LES} + 0.305 \text{ Li} * \text{Bu} + 0.910 \text{ Li} * \text{LES} - 2.096 \text{ Bu} * \text{LES}$ | 90.11% |

Los modelos matemáticos mostrados fueron maximizados, para determinar el valor de concentración de cada sustancia en el formulado dentro de los rangos establecidos, los cuales en conjunto maximizan la efectividad del producto.

En las gráficas de maximización (**Figura 15**, **Figura 16** y **Figura 17**) se puede ver el comportamiento de los factores respecto a la respuesta %CEF. Las líneas verticales (rojas) representan el valor de la concentración (donde se alcanza un %CEF máximo) y las líneas horizontales (azules) representan el valor del %CEF. El

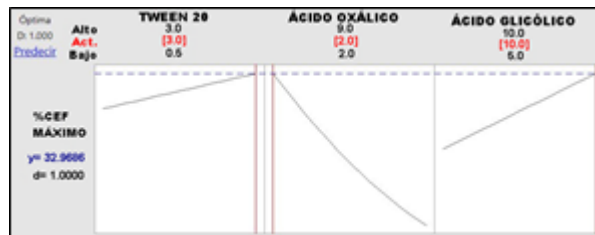
valor de la concentración maximizada (En rojo) predicho por el modelo matemático se encuentra en la parte superior de cada figura.

Figura 15. Maximización del modelo mostrando el efecto de los diferentes compuestos sobre el %CEF para el desengrasante básico. En cada gráfica se mantienen 3 factores constantes y se varía el factor señalado. Los valores constantes en cada caso son: NaOH= 2.25%v/v, Tw 80= 1.75%v/v, Ecosurf= 1.75%v/v y Metasilicato de sodio= 3%p/v, y los valores óptimos de las concentraciones de cada sustancia con el %CEF calculado.



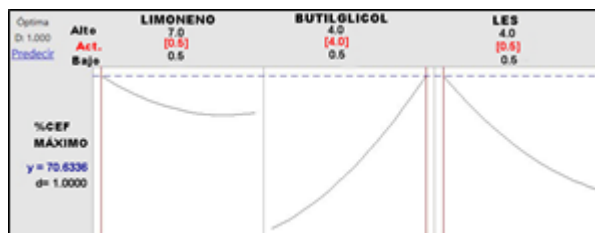
En la **Figura 15** se observa gráficamente el comportamiento de cada sustancia y el valor máximo de %CEF encontrado. La concentración de soda cáustica y Metasilicato están en 4%v/v y 4 %p/v respectivamente, mientras que para el Tween 80 y el Ecosurf se recomienda 0.5%v/v confirmando lo postulado en el análisis, con un %CEF máximo de 8.8%, siendo 3.7 superior al máximo obtenido en las pruebas experimentales que fue de 5.0%.

Figura 16. Maximización del modelo mostrando el efecto de los diferentes compuestos sobre el %CEF para el desincrustante ácido. En cada gráfica se mantienen 2 factores constantes y se varía el factor señalado. Los valores constantes en cada caso son Tween 20 =1.75%v/v, A. Oxálico= 5.5 %p/v y A. glicólico=7.5%v/v y los valores óptimos de las concentraciones de cada sustancia con el %CEF calculado.



En la **Figura 16** se observa gráficamente que donde se obtiene el mayor %CEF (línea azul), la concentración de Tween 20 y Ác. glicólico está en 3%v/v y 10%v/v mientras que para el Ác. oxálico se encuentra en 2%p/v confirmando lo postulado en el análisis, con un %CEF máximo de 33%, siendo 3.9 superior al máximo obtenido en las pruebas experimentales que fue de 29.0%.

Figura 17. Maximización del modelo el efecto de los diferentes compuestos sobre el %CEF para el desengrasante neutro. En cada gráfica se mantienen 3 factores constantes y se varía el factor señalado. Los valores constantes en cada caso son: NaOH= 2.25%v/v, Tw 80= 1.75%v/v, Ecosurf= 1.75%v/v y Metasilicato de sodio= 3%p/v y los valores óptimos de las concentraciones de cada sustancia con el %CEF calculado.



En la **Figura 17** se observa gráficamente que en el punto donde el %CEF es máximo la concentración el Butilglicol está en 4%v/v, mientras que para el limoneno y el LES se recomienda un 0.5% confirmando lo postulado en el análisis, con un %CEF

máximo de 70.6%, siendo 6.5 superior al máximo obtenido en las pruebas experimentales que fue de 64.1%.

5. 3 CONCENTRACIONES OPTIMAS DE CADA DETERGENTE FOMULADO

En cada una de las maximizaciones se tuvo en cuenta el parámetro IP (Índice de predicción) para contrastar con el valor de CEF obtenido en la experimentación al probar las óptimas concentraciones de los factores. Minitab 2018 ofrece este estadístico para obtener con un nivel de confianza del 95%, un rango probable de respuesta futura.

Tabla 4. Maximización de los detergentes

| Producto | %CEF - Modelo | %CEF - Experimental | %CEF - Comercial | IP (95%) | % Error experimental |
|----------------------|---------------|---------------------|------------------|------------------|----------------------|
| Desengrasante Básico | 8.8 | 8.3 | 1.31 | (7.400 - 10.101) | 6.0 |
| Desincrustante Ácido | 33 | 29.9 | 81.1 | 29.813 - 36.125 | 10.4 |
| Desengrasante Neutro | 70.6 | 65.8 | 86.9 | (63.32 - 77.94) | 7.3 |

Como se muestra en la **Tabla 4** los valores de %CEF experimental obtenidos están dentro del rango esperado, lo que indica que el modelo matemático de cada uno de los detergentes es aceptable.

Al comparar los resultados del %CEF experimental de cada formulado obtenido a las concentraciones óptimas encontradas, con los obtenidos de los productos comerciales (Ver **ANEXO E, Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13**), se obtuvo que es más efectivo el desengrasante básico formulado con un %CEF de 8.8%, frente a un %CEF de 1.3% obtenido por el producto comercial, para el desincrustante ácido la mayor eficiencia la tiene el producto comercial con un %CEF de 81.1% respecto a

un 29.9% del producto formulado, aunque la eficiencia del desincrustante del producto comercial en la remoción de óxido y cemento es más alta, tiene un efecto negativo, debido a que se observó, que tanto en la prueba cualitativa como cuantitativa luego de la limpieza la superficie se corroe y se desgasta (**Ver ANEXO J y ANEXO O**) lo cual es negativo para la vida útil del material. Finalmente se obtuvo que el desengrasante neutro comercial tiene un %CEF de 86.9% en comparación a un %CEF de 65.8% del formulado, donde la empresa para contrarrestar este hecho podría competir en el costo de venta.

5.4 FORMULACIÓN Y COSTOS DE PRODUCCIÓN:

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la maximización se procede a determinar las concentraciones de las demás sustancias usadas en la formulación para cada producto.

Tabla 5. Formulación de cada producto

| | | | | | |
|----------------------|---------------|-----------------|----------|-----------------------|--------|
| Desengrasante básico | Soda cáustica | Tween 80 | Ecosurf | Metasilicato de sodio | Etanol |
| | 4.00% | 0.50% | 0.50% | 4.00% | 0.50% |
| Desincrustante ácido | Acido oxálico | Acido glicólico | Tween 20 | Dequest 2010 | Etanol |
| | 2% | 10% | 3% | 0.05% | 1% |
| Desengrasante neutro | Limoneno | Butilglicol | Tween 80 | LES | Etanol |
| | 0.50% | 4% | 1% | 0.50% | 0.50% |

Con ayuda de la empresa Zumotec S.A se realizó el cálculo de los costos de producción para cada uno de los productos, teniendo en cuenta que la formulación se realiza en modo batch en tanque de 200 Kg, considerando 1% de pérdidas.

Tabla 6. Costo de producción de cada producto formulado

| Productos | Detergente Alcalino | Detergente Ácido | Detergente Neutro |
|--|----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Kilos producidos | 198.0 | 198.0 | 198.0 |
| Detalle Costos | | | |
| Materia Prima | \$ 215.384.36 | \$ 268.749.82 | \$ 106.375.45 |
| Servicio de energía | \$ 732.51 | \$ 732.51 | \$ 732.51 |
| Aseo y desinfección | \$ 751.25 | \$ 751.25 | \$ 751.25 |
| Servicio de gas | \$ - | \$ - | \$ - |
| Costo Mano de obra | \$ 3.748.87 | \$ 3.748.87 | \$ 3.748.87 |
| Costo pruebas físico-químicas y Microbiológicas | \$ 1.955.63 | \$ 1.955.63 | \$ 1.955.63 |
| Subtotal | \$ 222.572.62 | \$ 275.938.07 | \$ 113.563.71 |
| Costo en COP por Kg (Sin empaque) | \$ 1.124.10 | \$ 1.393.63 | \$ 573.55 |

En la **Tabla 6** se puede apreciar el costo de cada producto formulado, teniendo en cuenta el costo de materia prima, el servicio de energía basado en el consumo de energía del sistema de agitación usado en la preparación de cada detergente, el aseo y desinfección que incluye el consumo de agua y reactivos, el servicio de gas no se tiene en cuenta debido a que los productos se mezclan a temperatura ambiente. Para el costo de mano de obra se tuvo en cuenta el tiempo requerido por el operario para la preparación del producto, finalmente el costo de las pruebas se basó en el gasto de reactivos y energía consumida por los equipos.

6. CONCLUSIONES

- Las materias primas seleccionadas para cada uno de los detergentes, demostraron ser efectivas para la remoción de contaminantes, cumpliendo con la característica de ser amigables con el medio ambiente, estar disponibles para la empresa Zumotec y ser permitidas por la Norma Colombiana NTC 531.
- El factor de eficacia de limpieza (%CEF) alcanzada por el desengrasante básico fue de 5.0% al usar como contaminante grasa animal (Sebo), para el desincrustante la efectividad máxima fue de 29.0% usando de contaminante el cemento y finalmente la efectividad del desengrasante neutro fue de 64.1% usando aceite de cocina como contaminante, demostrando que los detergentes formulados son efectivos en la remoción de contaminantes.
- En el proceso de maximización del modelo matemático de cada detergente, las concentraciones óptimas para la remoción de los contaminantes son: para el desengrasante básico la Soda cáustica 4 %v/v, Metasilicato de sodio 4%p/v, Ecosurf 0.5 %v/v y Tween 80 0.5 %v/v con un %CEF de 8.3%. Para el desincrustante ácido las concentraciones son: ácido glicólico 10%v/v, ácido oxálico 2%p/v, Tween 20 3%v/v alcanzando un factor de eficacia de limpieza de 29.9%, finalmente en el desengrasante neutro se tiene Butilglicol 4 %v/v, limoneno 0.5 %v/v y LES 0.5%v/v con un % CEF de 65.8%, considerando que el proceso de limpieza fue realizado a través de inmersión y deslizamiento, técnicas en la que no se usó fuerza humana, con lo cual se presume que la efectividad aumentará al aplicarla. Del costo de producción por Kg del formulado se obtuvo en orden descendente, desincrustante ácido 1.394 COP, desengrasante alcalino 1.124 COP y el desengrasante neutro 574 COP, estos

valores difieren debido al costo de las sustancias pertenecientes a cada formulación.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar la efectividad del producto probando otras técnicas de limpieza. Una de ellas es probar con la máquina Sheen Wet Abrasion Scrub Tester gracias a que permite escoger la cantidad de movimientos y la fuerza, se podrá obtener eficiencias reales
- Realizar las pruebas de corrosión, biodegradabilidad y estabilidad de los formulados.
- Realizar el respectivo estudio y determinar el costo real del producto
- Se recomienda evaluar los formulados con diferentes tipos de contaminantes, en el caso del desengrasante básico con diferentes aceites o grasas.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN GREASE STICK COMPANY. Engine degreaser composition. Inventores: W. HOLMGREN and C. HIDDEMA. Int. C11D 3/44. Fecha de solicitud: 11, febrero, 1980. Estados Unidos. patente de investigación. US4302365A, 24 noviembre, 1981. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US4302365A/en>.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test method for evaluating the effectiveness of cleaning agents. G121 - 98 (2015). Pennsylvania, Estados Unidos.: ASTM, 2015. 4 p. Disponible en [https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2242/EDIT/html_annot.cgi?G121+98\%\(2015\)\e1](https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2242/EDIT/html_annot.cgi?G121+98\%(2015)\e1)

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Practice for preparation of contaminated test coupons for the evaluation of cleaning agents. G122 - 96 (2015). Pennsylvania, Estados Unidos.: ASTM, 2015. 4 p. Disponible en <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2242/download/G121.2614.pdf>

Dotolo Research Ltd. Asphalt and heavy oil degreaser. Invector: J. VLASBLOM. Int. C11D 1783. Fecha de solicitud: 20, septiembre, 1999. Estados Unidos. patente de investigación. US6093689A, 25 julio, 2000. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US6093689A/en>.

FLICK, Ernest. Advanced cleaning product formalations. Editorial Noyes Publications. Volumen 2. p.19-21, 1994. ISBN 0-8155-1346-1. Disponible en:

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=TNh1ZmsX0zIC&oi=fnd&pg=PP1&dq=degreaser%20formulation&ots=FpolriW9Vp&sig=MoUca0g981PmFi3mHgwTL0lwB5Q#v=onepage&q=degreaser%20formulation&f=true>

Kao Corporation S.A. Degreasr at neutral pH. [En línea] Barberá del Vallés. España. 2014. (Recuperado en 1 de septiembre 2018.) Disponible en: http://www.kaochemicals-eu.com/sites/default/files/formulations/D-019_.pdf

MWJ, L.L.C. Liquid cleaning, degreasing, and disinfecting concentrate and methods of use. Invector: M. SANCHEZ. Int. CL. C11D 3/22. Fecha de solicitud: 9, marzo, 2001. Estados Unidos, patente de investigación. US 6300300 B1. 9, octubre, 2001. Disponible en <https://patents.google.com/patent/US6511954>

SALAGER, Jean Louis. Cuaderno firp s300-A: Surfactantes tipos y usos. [En Línea]. 2 ed. Venezuela: Laboratorio FIRP Escuela de ingeniería química Universidad de los andes, 2002. p.28. (Consultado el 10 de septiembre de 2018) Disponible en: <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S300A.pdf>.

SOLÍS, J.J. Manual de pequeño industrial. California: Editorial Ibukku p.31-32, 2016. ISBN 978-0-9862586-6-4. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=BTepDAAAQBAJ&pg=PA31&dq=soda+caustica+desengrasante&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwifpMu7tpHdAhUowVkkKHU2iAWIQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false>

Stephan Company. Heavy duty industrial cleaner/degreaser with D-limonene. [En línea] D-limonene. Europa, 2008. (Recuperado en 8 de septiembre 2018.) Disponible en: https://www.stepan.com/uploadedFiles/Literature_and_Downloads/Formulations/All_Purpose_Cleaners/StepanFormulation207.pdf

Spray-based degreasing fluid. Inventors; B. ZYSMAN and G. ROBINSON. Int. CL.: C11D 3/24. Fecha de solicitud: 16, marzo, 2010. Estados Unidos, patente de investigación. US 20100240572. 23, septiembre, 2010. Disponible en <http://www.patentsencyclopedia.com/app/20100240572>

TRIANA, Leonardo. Formulas de productos químicos. [En línea] Ácido oxálico. 2013. (Recuperado en 18 de septiembre 2018.) Disponible en: <http://formulacionesdeproductosquimicos.blogspot.com/2013/>

ANEXOS

ANEXO A. Pruebas preliminares para la elección de los tensoactivos a utilizar

Pruebas Preliminares para el desengrasante básico

Se realizaron pruebas preliminares para determinar qué tensoactivos (en conjunto con la soda cáustica) presentaban mejor apariencia y miscibilidad. El orden de mezclado de los mismos fue establecido con ayuda de la empresa Zumotec S.A. Se evaluaron tensoactivos: Tween 80, Tween 20 y Ecosurf.

Figura 18. Combinación de los tensoactivos Tween 80 - Tween 20 y variación de la proporción de los mismos para evaluar estabilidad, compatibilidad y apariencia del formulado después de 24 h de mezcla.

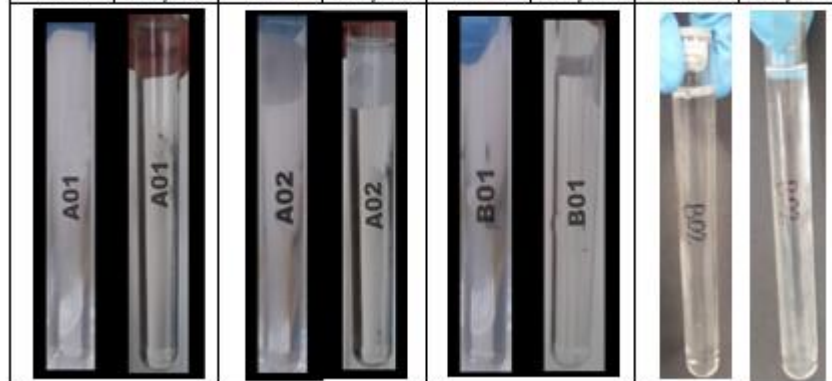
| [%v/v] | Prueba 1 | [%v/v] | Prueba 2 | |
|--------|---------------|---------|---------------|---------|
| 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol | |
| 0.5 | Tween 80 | 0.5 | Tween 80 | |
| 0.5 | Tween 20 | 3.0 | Tween 20 | |
| 2 | Soda cáustica | 2 | Soda cáustica | |
| | Antes | Después | Antes | Después |

Como se puede observar en las imágenes (**Figura 18**), recién preparadas las muestras mostraban una apariencia turbia y al cabo de un día, se observó material particulado en suspensión y precipitado. Este material, es la soda cáustica

precipitada mostrando ser incompatible con estos tensoactivos en estos rangos de concentración, por lo que se decidió descartar esta mezcla.

Figura 19. Combinación de los tensoactivos Tween 80 -Ecosurf y variación de la concentración de NaOH, para evaluar estabilidad, compatibilidad y apariencia del formulado después de 24 h de mezcla.

| [%v/v] Prueba A01 | | [%v/v] Prueba A02 | | [%v/v] Prueba B01 | | [%v/v] Prueba B02 | |
|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol |
| 0.5 | Tween 80 | 0.5 | Tween 80 | 0.5 | Ecosurf | 0.5 | Ecosurf |
| 0.5 | Ecosurf | 0.5 | Ecosurf | 0.5 | Ecosurf | 0.5 | Ecosurf |
| 2 | Soda cáustica | 1 | Soda cáustica | 2 | Soda cáustica | 1 | Soda cáustica |
| Antes | Después | Antes | Después | Antes | Después | Antes | Después |











Como se observa en las imágenes (**Figura 19**), al preparar las muestras mostraban una apariencia traslúcida, donde después de un día (24 h) las muestras mantuvieron su apariencia sin partículas en suspensión ni precipitados. Esto indica que la combinación Tween 80 y Ecosurf o sólo Ecosurf son posibles opciones a combinar.

Figura 20. Combinación de los tensoactivos Tween 20 - Ecosurf y Tween 80 Ecosurf con variación de la concentración de NaOH, para evaluar estabilidad, compatibilidad y apariencia del formulado después de 24 h de mezcla

| [%v/v] Prueba C01 | | [%v/v] Prueba C02 | | [%v/v] Prueba F01 | | [%v/v] Prueba F02 | |
|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol |
| 0.5 | Tween 20 | 0.5 | Tween 20 | 0.5 | Ecosurf | 0.5 | Tween 80 |
| 0.5 | Ecosurf | 0.5 | Ecosurf | | | 0.5 | Ecosurf |
| 1 | Soda cáustica | 2 | Soda cáustica | 5 | Soda cáustica | 5 | Soda cáustica |
| Antes | Después | Antes | Después | Antes | Después | Antes | Después |

Como se observa en las imágenes (**Figura 20**), recién preparadas las muestras muestran una apariencia opaca, y después de un día la muestra C01 tiene un depósito blanco en el fondo, y la muestra C02 tiene partículas blancas en suspensión. Por otro lado, las muestras F01 y F02 aunque parecen traslúcidas se presentó una separación de fases, por lo tanto se rechaza la combinación Tween 20 y Ecosurf. Adicionalmente, aunque en las pruebas anteriores se mencionó que la Mezcla Tween 80 y Ecosurf o Ecosurf solo estaban dentro de las opciones, en las pruebas F01 y F02 se varió la cantidad de soda cáustica a 5 %v/v, observando que parte de la soda se encuentra suspendida y en conjunto con los tensoactivos afectan la homogeneidad del producto. Por esta razón, en las siguientes pruebas se combinaron los compuestos Tween 80 y Ecosurf a diferentes concentraciones de soda cáustica.

Figura 21. Combinación y variación de la proporción de los tensoactivos y Tween 80 - Ecosurf con variación de la concentración de NaOH, para evaluar estabilidad, compatibilidad y apariencia del formulado después de 24 h de mezcla.

| [%v/v] Prueba F03 | | [%v/v] Prueba F04 | | [%v/v] Prueba F05 | | [%v/v] Prueba F06 | |
|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol |
| 0.5 | Tween 80 | 0.5 | Tween 80 | 0.5 | Tween 80 | 1 | Tween 80 |
| 0.5 | Ecosurf | 0.5 | Ecosurf | 1 | Ecosurf | 0.5 | Ecosurf |
| 4 | Soda cáustica | 3 | Soda cáustica | 4 | Soda cáustica | 4 | Soda cáustica |
| Antes | Después | Antes | Después | Antes | Después | Antes | Después |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

Como se observa en las imágenes (**Figura 21**), recién preparadas las muestras muestran una apariencia opaca, 24 horas después las muestras F03 y F04 tienen una apariencia translúcida, por lo que se determinó que el valor máximo de soda que es del del 4%. Por otro lado, al incrementar la concentración del Tween 80 y Ecosurf en las pruebas F05 y F06, se obtuvieron muestras translúcidas, pero con una separación de fases.

Pruebas Preliminares del desincrustante ácido

Se realizaron pruebas preliminares para determinar qué tensoactivos en conjunto con el ácido oxálico y ácido glicólico presentaban mejor apariencia y miscibilidad. El orden de mezclado de los mismos se estableció con ayuda de la empresa Zumotec S.A. Se evaluaron los tensoactivos Tween 80 y Tween 20, variando la concentración del ácido oxálico y glicólico.

Figura 22. Combinación de los tensoactivos Tween 80 – Tween 20, con variación de la concentración de los Ácidos oxálico y glicólico, para evaluar estabilidad, compatibilidad y apariencia del formulado después de 24 h de mezcla.

















| [%v/v] Prueba AGO01 | | [%v/v] Prueba AGO02 | | [%v/v] Prueba AGO03 | | [%v/v] Prueba AGO04 | | | | | | | | | |
|---|--------------|---|--------------|---|--------------|---|--------------|---|--|--|--|---|--|---|--|
| 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol | | | | | | | | |
| 0.5 | Tween 20 | 0.5 | Tween 20 | 0.5 | Tween 20 | 0.5 | Tween 20 | | | | | | | | |
| 0.5 | Tween 80 | 0.5 | Tween 80 | 0.5 | Tween 80 | 0.5 | Tween 80 | | | | | | | | |
| 10 | A. Glicólico | 5 | A. Glicólico | 10 | A. Glicólico | 15 | A. Glicólico | | | | | | | | |
| 10 | A. Oxálico | 10 | A. Oxálico | 5 | A. Oxálico | 10 | A. Oxálico | | | | | | | | |
| | Antes | Después | Antes | Después | Antes | Después | Antes | Después | | | | | | | |
|  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |

Figura 23. Combinación de los tensoactivos Tween 80 – Tween 20, con variación de la concentración de los Ácidos oxálico y glicólico, para evaluar estabilidad, compatibilidad y apariencia del formulado después de 24 h de mezcla.





| [%v/v] Prueba AGO05 | | [%v/v] Prueba AGO06 | | [%v/v] Prueba AGO07 | | [%v/v] Prueba AGO08 | | | | | | | | | |
|---|--------------|---|--------------|---|--------------|---|--------------|---|--|--|--|---|--|---|--|
| 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol | | | | | | | | |
| 0.5 | Tween 20 | 0.5 | Tween 20 | 0.5 | Tween 20 | 0.5 | Tween 20 | | | | | | | | |
| 0.5 | Tween 80 | 0.5 | Tween 80 | 0.5 | Tween 80 | 0.5 | Tween 80 | | | | | | | | |
| 5 | A. Glicólico | 5 | A. Glicólico | 15 | A. Glicólico | 10 | A. Glicólico | | | | | | | | |
| 5 | A. Oxálico | 15 | A. Oxálico | 5 | A. Oxálico | 15 | A. Oxálico | | | | | | | | |
| | Antes | Después | Antes | Antes | Después | Después | Antes | Después | | | | | | | |
|  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |

En las imágenes de las **Figura 22** y **Figura 23**, se observa que las muestras recién preparadas exhiben una apariencia traslúcida, al cabo de un día no se observó diferencia por lo que se decidió dejar la muestra un tiempo más prolongado, pero finalmente, aunque las muestras mostraron una tonalidad de color amarillo claro, se mantuvieron traslúcidas y sin separación de fases.

Por otro lado, el ácido oxálico tiene un límite de solubilidad en el agua de 9.5 g/100g a 20 °C y a 30 °C es de 14.5 g/100g ⁵⁹es por ello que en las pruebas se trabaja con un máximo de concentración de 15 gramos. Como se observa, en las pruebas AGO06 y AGO08, el ácido oxálico no se disolvió por completo, por lo que para la formulación se escogió un valor de 9 g y se aumentó la concentración de etanol a 1% ya que el ácido oxálico es más soluble en éste.

Figura 24. Variación de la concentración del Tween 20, manteniendo constante la concentración de los Ácidos oxálico y glicólico, para evaluar estabilidad, compatibilidad y apariencia del formulado después de 24 h de mezcla.

⁵⁹ PEREZ, Guillermo. Ácido oxálico [En línea] Propiedades físicas ácido oxálico. 2013. (Recuperado en 5 de enero 2018.) Disponible en: https://www.oxalato.com/cido_oxlico

| [%v/v] Prueba AGO09 | | [%v/v] Prueba AGO10 | |
|---|---|---|---|
| 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol |
| 0.5 | Tween 20 | 2 | Tween 20 |
| 15 | A. Glicólico | 15 | A. Glicólico |
| 5 | A. Oxálico | 5 | A. Oxálico |
| Antes | Después | Antes | Antes |
|  |  |  |  |

Teniendo en cuenta que con la presencia de dos tensoactivos aumenta el costo de producción del formulado, por ello se evaluó el Tween 20 por aparte, debido a que el costo por litro del Tween 80 es de 10,126 COP en comparación con el Tween 20 de 9,563 COP por litro, donde se encontró que la muestra era estable por lo que se decidió utilizar en la formulación solo este tensoactivo, teniendo en cuenta los costos de producción.

Pruebas Preliminares del desengrasante neutro

Para el desengrasante neutro inicialmente se probaron combinaciones entre los componentes de la formulación, para establecer el orden de mezcla y la cantidad máxima de limoneno a utilizar, teniendo en cuenta la apariencia de la mezcla y los costos de los componentes. Esto se debe a, que el limoneno tiene un costo más significativo como se muestra en la **Tabla 7**, en comparación a los demás compuestos pertenecientes a la formulación.

Tabla 7. Costo de las materias primas del desengrasante neutro

| Materias Primas | Unidad de medida | Valor de la Unidad |
|---|------------------|--------------------|
| Lauril eter Sulfato de Sodio - Polystep | Litro | \$3,250 |
| Limoneno | Litro | \$36,000 |
| Butil glicol | Litro | \$4,880 |
| Polisorbato 80 - Tween 80 | Litro | \$8,182 |
| Alcohol industrial 96% | Litro | \$3,540 |

Se prepara cada fase y luego se mezclan, agregando la fase oleosa a la acuosa.

Figura 25. Comparación en la apariencia y estabilidad al mezclar tensoactivo, Butilglicol, limoneno y agua, en diferente orden.

| Orden de Mezcla 1 | Orden de Mezcla 2 | Orden de Mezcla 3 | Orden de Mezcla 4 |
|---|--|---|--|
| Limoneno | Butilglicol | Limoneno | Limoneno |
| Butilglicol | Agua | Butilglicol | Tensoactivo -LES |
| Tensoactivo - LES | Tensoactivo - LES | Agua | Butilglicol |
| Agua | Limoneno | Tensoactivo - LES | Agua |
|  |  |  |  |
| Apariencia Lechosa | Apariencia traslúcida separación de fases | Apariencia traslúcida separación de fases | Apariencia cremosa |
| Fase oleosa | Fase acuosa | | |

Aunque se prefiere una apariencia traslúcida, también es necesario que la mezcla sea homogénea, es por ello que se evaluó el orden de Mezcla 1, probando la posibilidad de cambiar el tensoactivo para mejorar la apariencia de la muestra. Además, para solubilizar las sustancias oleosas en agua se incluye en la formulación el alcohol (etanol).

Figura 26. Prueba del cambio en la apariencia al reemplazar el tensoactivo LES por Tween 80 y agregar el LES al final de mezclar la fase acuosa y oleosa.


| Mezcla 1 | Mezcla 2 | Mezcla 3 |
|--|---|---|
| Limóneno | Limóneno | Limóneno |
| Etanol | Etanol | Etanol |
| Butilglicol | Butilglicol | Butilglicol |
| Tensoactivo - LES | Tensoactivo - Tween 80 | Tensoactivo - Tween 80 |
| Agua | Agua | Agua LES |
|  |  |  |
| Apariencia Lechosa | Apariencia casi traslúcida | Apariencia traslúcida |
| Fase oleosa | Fase acuosa | |

En la **Figura 26**, se observan los resultados obtenidos al cambiar el tensoactivo, el Tween 80 se probó y mejoró la apariencia significativamente, pero como se observa en la imagen de la Mezcla 2, la muestra no es totalmente traslúcida.

Por otro lado, el LES se seleccionó debido a sus propiedades dentro de las que se destaca por la formación de espuma y detergencia, por su parte el tensoactivo Tween 80 debido a que es de tipo no iónico no genera casi espuma; factor importante para el agrado del consumidor en el caso de los desengrasantes domésticos. Es por ello que no se descarta de la formulación y se decide agregar al final ya que así se logra una apariencia traslúcida (Mezcla 3) por lo tanto se decidió elegir esa combinación.

Figura 27. Mezcla de Tween 80, Butilglicol, Limóneno, Etanol, Agua y LES, para evaluar el cambio en la apariencia al aumentar la concentración de cada sustancia, tomando como mezcla inicial Tween 80: 1.5%v/v, Butilglicol: 0.5%v/v, Limóneno: 0.5%v/v, Etanol:0.5%v/v y LES:0.5%v/v

| [%v/v] Mezcla P1 | [%v/v] Mezcla P2 | [%v/v] Mezcla P3 | [%v/v] Mezcla P4 | [%v/v] Mezcla P5 |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1.5 Tween 80 | 1.5 Tween 80 | 1.5 Tween 80 | 3 Tween 80 | 1.5 Tween 80 |
| 0.5 Butilglicol | 0.5 Butilglicol | 4 Butilglicol | 0.5 Butilglicol | 0.5 Butilglicol |
| 3 Limoneno | 0.5 Limoneno | 0.5 Limoneno | 0.5 Limoneno | 0.5 Limoneno |
| 0.5 Etanol | 3 Etanol | 0.5 Etanol | 0.5 Etanol | 0.5 Etanol |
| 94 Aqua | 94 Aqua | 93 Aqua | 95 Aqua | 94 Aqua |
| 0.5 LES | 0.5 LES | 0.5 LES | 0.5 LES | 3 LES |




| | |
|--|---|
| Fase oleosa | Fase acuosa |
|--|---|

Después de escoger el orden y la combinación de las sustancias que forman una emulsión traslúcida y homogénea, es de interés observar lo que le ocurre a la emulsión en apariencia al aumentar las concentraciones de cada una de los componentes en los rangos sugeridos por la revisión bibliográfica. Así como se observa en la **Figura 27**, la muestra que corresponde a la mezcla P1 tiene una apariencia lechosa debido a que contiene mayor concentración de limoneno, por ello se escoge este valor de limoneno para observar si con el aumento en la concentración de las demás sustancias se mejora la apariencia del formulado, debido a que este compuesto se evaluará en la prueba de efectividad y se piensa que afectará en mayor medida a la variable respuesta.

Figura 28. Mezcla de Tween 80, Butilglicol, Limoneno, Etanol, Agua y LES, para evaluar el cambio en la apariencia al aumentar la concentración de cada sustancia, manteniendo constante la concentración de limoneno, tomando como mezcla inicial

Tween 80: 1.5 %v/v, Butilglicol: 0.5%v/v, Limoneno: 3 %v/v, Etanol:0.5%v/v y LES:0.5%v/v

| [%v/v] | Mezcla P1• | [%v/v] | Mezcla P2• | [%v/v] | Mezcla P3• | [%v/v] | Mezcla P4• |
|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|
| 1.5 | Tween 80 | 1.5 | Tween 80 | 3 | Tween 80 | 1.5 | Tween 80 |
| 0.5 | Butilglicol | 3 | Butilglicol | 0.5 | Butilglicol | 0.5 | Butilglicol |
| 3 | Limoneno | 3 | Limoneno | 3 | Limoneno | 3 | Limoneno |
| 3 | Etanol | 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol |
| 94 | Agua | 94 | Agua | 94 | Agua | 94 | Agua |
| 0.5 | LES | 0.5 | LES | 0.5 | LES | 3 | LES |




Fase oleosa
 Fase acuosa

Como se observa en las fotografías de la **Figura 28**, las muestras P1·, P2· y P4· tiene una apariencia más lechosa en comparación con P3·; y P4· es menos lechosa que P1· y P2·. Con lo cual se concluye que la cantidad de tensoactivo Tween 80 ayuda a mejorar la apariencia. Entonces se tomó la muestra P3· como referencia y nuevamente se variaron las concentraciones de los demás componentes, a excepción del LES.

Figura 29. Mezcla de Tween 80, Butilglicol, Limoneno, Etanol, Agua y LES, para evaluar el cambio en la apariencia al aumentar la concentración de cada sustancia, manteniendo constante la concentración de limoneno Y les, tomando como mezcla inicial Tween 80: 3 %v/v, Butilglicol: 0.5%v/v, Limoneno: 3 %v/v, Etanol:0.5%v/v y LES:0.5%v/v

| [%w/v] | Mezcla P1** | [%w/v] | Mezcla P2** | [%w/v] | Mezcla P3** |
|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|
| 3 | Tween 80 | 3 | Tween 80 | 6 | Tween 80 |
| 0.5 | Butilglicol | 3 | Butilglicol | 0.5 | Butilglicol |
| 3 | Limoneno | 3 | Limoneno | 3 | Limoneno |
| 3 | Etanol | 0.5 | Etanol | 0.5 | Etanol |
| 94 | Agua | 94 | Agua | 94 | Agua |
| 0.5 | LES | 0.5 | LES | 0.5 | LES |



■ Fase oleosa ■ Fase acuosa

Como se aprecia en la **Figura 29**, se obtuvo que la muestra P2^{..} y P3^{..} las cuales contiene mayor cantidad de Butilglicol y Tween 80 respectivamente mejoraron la apariencia.

Por lo tanto, basados en las pruebas realizadas, se consideró que las sustancias a variar a parte del Limoneno son el Tween 80, el Butilglicol y el LES, pero dado el gran impacto del Tween 80 en la apariencia se decidió establecer una relación respecto al limoneno de 2:1 v/v, esto puede explicarse gracias a que el Tween 80 modifica el tamaño de partícula en la emulsión, esta característica según la teoría, menciona que a menor tamaño de partícula mejora la apariencia y además la estabilidad de una emulsión.

Gracias a la matriz de costos de la empresa Zumotec, se estimó el costo de venta del producto usando las máximas concentraciones de las sustancias establecidas que es de 14,490 COP y se ajustó la cantidad de limoneno, ya que es la sustancia que mayor impacto tiene sobre el costo, hasta competir con el costo del producto comercial el cual es de aprox. 14,800 COP (Cotizado en tiendas EXITO) por litro,

usado para comparar la efectividad, obteniendo para el limoneno un rango entre 0.5 – 7 %v/v.

ANEXO B. Diseño experimental para cada producto generado desde Minitab 2018, usando el método box Behnken.

En las **Tabla 8**, **Tabla 9** y **Tabla 10** se observa el diseño experimental obtenido para cada formulado mediante Minitab 2018, donde se representa el número de tratamientos junto con el porcentaje (%v/v o %p/v) de cada sustancia química a usar.

Tabla 8 Diseño experimental del desengrasante alcalino, cada tratamiento es preparado con 0.5%v/v de etanol

| Tratamiento | Soda caustica [%v/v] | Tween 80 [%v/v] | Ecosurf [%v/v] | Metasilicato [%p/v] |
|-------------|-------------------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| 1 | 0.5 | 0.5 | 1.75 | 3 |
| 2 | 4 | 1.75 | 1.75 | 4 |
| 3 | 2.25 | 1.75 | 0.5 | 2 |
| 4 | 2.25 | 3 | 0.5 | 3 |
| 5 | 4 | 1.75 | 0.5 | 3 |
| 6 | 2.25 | 0.5 | 0.5 | 3 |
| 7 | 2.25 | 1.75 | 3 | 2 |
| 8 | 0.5 | 1.75 | 0.5 | 3 |
| 9 | 4 | 3 | 1.75 | 3 |
| 10 | 2.25 | 1.75 | 0.5 | 4 |
| 11 | 0.5 | 1.75 | 1.75 | 4 |
| 12 | 2.25 | 1.75 | 3 | 4 |
| 13 | 2.25 | 3 | 1.75 | 2 |
| 14 | 2.25 | 3 | 3 | 3 |
| 15 | 0.5 | 1.75 | 1.75 | 2 |
| 16 | 2.25 | 1.75 | 1.75 | 3 |
| 17 | 0.5 | 3 | 1.75 | 3 |
| 18 | 2.25 | 0.5 | 1.75 | 4 |
| 19 | 2.25 | 3 | 1.75 | 4 |
| 20 | 2.25 | 0.5 | 3 | 3 |
| 21 | 2.25 | 0.5 | 1.75 | 2 |
| 22 | 4 | 1.75 | 3 | 3 |
| 23 | 4 | 0.5 | 1.75 | 3 |
| 24 | 4 | 1.75 | 1.75 | 2 |
| 25 | 0.5 | 1.75 | 3 | 3 |

Tabla 9. Diseño experimental para el desincrustante ácido, cada tratamiento es preparado con 1%v/v de etanol y 0.05% Dequest 2010

| <i>Tratamiento</i> | <i>Tween 20 [%v/v]</i> | <i>Ácido oxálico [%p/v]</i> | <i>Ácido glicólico [%v/v]</i> |
|--------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 1 | 3 | 5.5 | 5 |
| 2 | 1.75 | 9 | 10 |
| 3 | 0.5 | 9 | 7.5 |
| 4 | 3 | 2 | 7.5 |
| 5 | 1.75 | 5.5 | 7.5 |
| 6 | 1.75 | 2 | 5 |
| 7 | 1.75 | 9 | 5 |
| 8 | 0.5 | 5.5 | 10 |
| 9 | 1.75 | 2 | 10 |
| 10 | 0.5 | 5.5 | 5 |
| 11 | 3 | 9 | 7.5 |
| 12 | 0.5 | 2 | 7.5 |
| 13 | 3 | 5.5 | 10 |

Tabla 10. Diseño experimental para el desengrasante neutro, cada tratamiento es preparado con 0.5%v/v de etanol, y Tween 80 en relación 2:1 v/v respecto al Limoneno.

| <i>Tratamiento</i> | <i>Limoneno [%v/v]</i> | <i>Butilglicol [%v/v]</i> | <i>LES [%v/v]</i> |
|--------------------|------------------------|---------------------------|-------------------|
| 1 | 3.75 | 4 | 0.5 |
| 2 | 0.5 | 0.5 | 2.25 |
| 3 | 7 | 2.25 | 4 |
| 4 | 3.75 | 0.5 | 0.5 |
| 5 | 7 | 0.5 | 2.25 |
| 6 | 0.5 | 2.25 | 4 |
| 7 | 3.75 | 4 | 4 |
| 8 | 7 | 2.25 | 0.5 |
| 9 | 0.5 | 4 | 2.25 |
| 10 | 7 | 4 | 2.25 |
| 11 | 3.75 | 2.25 | 2.25 |
| 12 | 3.75 | 0.5 | 4 |
| 13 | 0.5 | 2.25 | 0.5 |

ANEXO C. Normas ASTM G121 y G122

Norma ASTM G121. Preparación de cupones de prueba contaminados para la evaluación de productos de limpieza.

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: G121 – 98 (Reapproved 2015)¹

Standard Practice for Preparation of Contaminated Test Coupons for the Evaluation of Cleaning Agents¹

This standard is issued under the fixed designation G121; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript symbol (²) indicates an editorial change since the last revision or approval.

² NOTE—Editorial changes were made throughout in October 2015.

1. Scope

1.1 This practice describes the procedure for the preparation of single- and double-sided contaminated metallic test coupons for the evaluation of cleaning agents. It is applicable for the evaluation of cleaning agents proposed for the cleaning of oxygen-enriched systems and components. It also is applicable to other systems where contamination is a concern.

1.2 Several classes of contaminants most likely to be found in oxygen-enriched systems and components are identified. However, if the user of this practice has identified contaminants not included in these classes, such identified contaminants may be substituted for the preparation of the test coupons.

1.3 Preparation of nonmetallic substrates is not addressed, although similar methodology may be used. Solvent and cleaning agent compatibility with the nonmetallic substrate should be verified prior to the preparation of the test coupons. Typical nonmetallic materials utilized in oxygen systems are contained in Guide G63.

1.4 *This practice may involve hazardous materials, operations, and equipment. This practice does not purport to address all of the safety concerns associated with its use. It is the responsibility of whomever uses this practice to consult and establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D1193 Specification for Reagent Water

E1235 Test Method for Gravimetric Determination of Non-

volatile Residue (NVR) in Environmentally Controlled Areas for Spacecraft

F303 Practices for Sampling for Particles in Aerospace Fluids and Components

F312 Test Methods for Microscopical Sizing and Counting Particles from Aerospace Fluids on Membrane Filters

F324 Test Method for Nonvolatile Residue of Volatile Cleaning Solvents Using the Solvent Purity Meter (Withdrawn 1987)³

F331 Test Method for Nonvolatile Residue of Solvent Extract from Aerospace Components (Using Flash Evaporator)

G63 Guide for Evaluating Nonmetallic Materials for Oxygen Service

G94 Guide for Evaluating Metals for Oxygen Service

2.2 ANSI:

B 46.1 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *contaminant, n*—unwanted molecular and particulate matter that could affect or degrade the performance of the components upon which they reside.

3.1.2 *contamination, n*—a process of contaminating.

3.1.3 *surface roughness, R_a, n*—the arithmetic average deviation of the surface profile from the centerline, normally reported in micrometres.

3.1.4 *nonvolatile residue (NVR), n*—residual molecular and particulate matter remaining following the filtration of a solvent containing contaminants and evaporation of the solvent at a specified temperature.

3.1.5 *particle (particulate contaminant), n*—a piece of matter in a solid state with observable length, width, and thickness.

3.1.5.1 *Discussion*—The size of a particle is usually defined by its great dimension and is specified in micrometres.

³ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G04 on Compatibility and Sensitivity of Materials in Oxygen Enriched Atmospheres and is the direct responsibility of Subcommittee G04.02 on Recommended Practices.

Current edition approved Sept. 1, 2004. Published October 2015. Originally approved in 1993. Last previous edition approved in 2010 as G121 – 98 (2010)¹. DOI: 10.1520/G0121-98R15001.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

3.1.6 *molecular contaminant (nonparticulate contamination), n*—the molecular contaminant may be in a gaseous, liquid, or solid state.

3.1.6.1 *Discussion*—It may be uniformly or nonuniformly distributed, or be in the form of droplets. Molecular contaminants account for most of the NVR.

3.1.7 *blank, n*—the contamination level of the fluid when the test coupon is omitted.

3.1.7.1 *Discussion*—Sometimes referred to as “background” level.

3.1.8 *control coupon (witness coupon), n*—a coupon made from the same material as the test coupons, but in this test method is not coated with the contaminant.

4. Summary of Practice

4.1 A solution of the contaminant is applied to either one side or both sides of the precleaned test coupons and dried under standard conditions. The amount of contaminant on the test coupons is determined. Nonmetallic material test coupons used as inserts, seats, seals, etc. may also be prepared by this procedure and are evaluated in the as-used condition.

4.2 Three methods of coupon preparation are used:

- Method A, NVR sample, single side
- Method B, NVR sample, double side
- Method C, NVR and particulate sample

5. Significance and Use

5.1 This practice will be suitable to direct the preparation of test coupons with a known amount of contaminant on the surface. A standard test coupon is described and a list of contaminants that have typically been found in oxygen-enriched systems and components is provided.

5.2 These coupons shall be used in the evaluation of cleaning agents for oxygen-enriched systems and components. This will permit direct comparison within and between test facilities.

5.3 Materials used in other fluid handling systems such as nitrogen, helium, hydrogen, gasoline, etc. may also be prepared for evaluation by this practice.

6. Apparatus

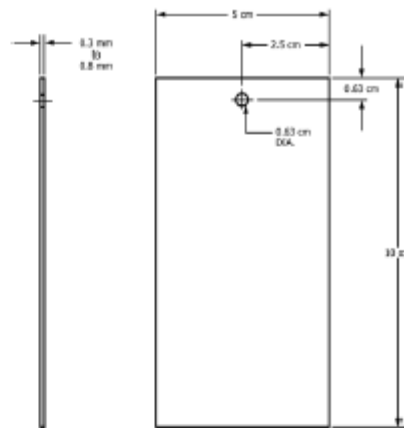
6.1 *Test Coupon*—Metal panels of the same material as the component part to be cleaned. Other alloys that may be used if the specific alloy is unknown are included in Guide G94. The coupon configuration is shown in Fig. 1.

NOTE 1—The surface finish of the test coupon should be the same as the part to be cleaned.

6.2 *Balance*—Range to a minimum of 50 g with an 0.1-mg accuracy capable of weighing to ± 0.1 mg.

6.3 *Oven*—Convection, capable of maintaining $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

6.4 *Spray Applicator*—Capable of applying an even coat of contaminant; that is, an artist’s airbrush, perfume atomizer, or a spray device such as that used with window or tile cleaners has been found to apply an even coating of the contaminant in a controlled manner.



NOTE: ALL SHARP EDGES SHOULD BE BROKEN AND DEBURRED.
FIG. 1 Standard Test Coupon

6.5 Other standard equipment such as a vacuum filtration system, solvent resistant filters, gloves, laboratory glassware, syringes, pipettes, desiccator, laboratory tongs, tweezers, and wire.

7. Reagents

7.1 Contaminant materials—general classes of materials that have typically been found in oxygen-enriched systems and components as a result of the manufacturing, assembly, fabrication, and construction processes include:

- silicone oils and greases,
- fluorinated aerospace fluids and greases,
- petroleum based oils and greases,
- ester based oils and greases,
- phosphate esters,
- waxes,
- chlorotrifluoroethylene based oils and greases,
- inks,
- cutting oils, and
- dye penetrants.

7.2 Solvent—reagent-grade used to prepare standard solutions of contaminants which may include the following: 2-propanol, 2-butanone, hexane, Type II reagent water, or better, in accordance with Specification D1193, and perfluorinated carbon fluids. (Warning—Solvents such as 2-propanol hexane and 2-butanone are highly flammable. The reader should refer to appropriate safe handling procedures.)

7.3 Desiccant—for example, silica gel.

7.4 Particulate contaminant—fine (0- to 80- μm), or coarse (0- to 200- μm) dusts⁴ available commercially.

8. Procedure

8.1 Coupon Preparation:

8.1.1 The test coupons shall be numbered and precleaned prior to use; record the number. Determine the surface roughness, R_a , of representative coupons of each alloy being evaluated per ANSI B 46.1 and record. Determine the surface area to be contaminated (S) of each of the test coupons and record. Attach a handling wire through the hole at the top of each of the test coupons. The precleaning procedure shall be performed in an ultrasonic cleaner with the coupons immersed in type II reagent water for 10 min. Process a control coupon with the coupons to be contaminated for each cleaning agent to be evaluated. The coupons shall be dried and stored in a desiccator until needed.

8.1.2 Verify that the test coupons have an NVR of 10 mg/sq m (1 mg/sq ft) or less using Test Methods E1235, F324, or F331 and have no particles larger than 300 μm when evaluated using Test Methods F312. Determine the blank NVR values and particle counts on the solvents used to prepare the contaminating solutions as recommended in Practice F303. These values must be taken into account when preparing the standard contaminating solutions, especially when very dilute solutions are desired. Rinse each coupon being prepared for contamination with the solvent to be used in the contaminant solution. Allow the coupons to dry overnight or in an oven at 40 to 50°C for 1 h, cool to room temperature in a desiccator, and weigh. Reweigh the test coupon at intervals, 1 h typically, until a constant weight, ± 0.1 mg, is achieved. Weigh, record the weight (W_1) in grams to the nearest 0.1 mg, and store in a desiccator until needed.

NOTE 2—It is recommended that coupons be prepared in lots of ten or more to ensure the necessary sensitivity for the verification.

8.1.3 After cleaning, the test coupons should be handled only with laboratory tongs or tweezers by the handling wire or a hook on the coupon itself.

8.2 Method A, Nonvolatile Residue (NVR) Sample, Single Side:

8.2.1 Prepare a standard solution containing the desired contaminant, in a suitable solvent for that contaminant. As an alternative, a mixture of as many contaminants as desired may be prepared in a suitable solvent. The concentration of the solution, typically between 1 and 100 mg/mL, should be adjusted to reflect the worst expected contamination level in the system to be cleaned. In some cases, i.e. oils, dye penetrants, or inks, it may not be necessary to use a solvent in the preparation of the coupons to achieve the desired level of contamination.

8.2.2 Place the test coupon(s), number side down, on a horizontal surface and carefully apply the solution containing the contaminant to the upper surface of the coupon using a pipette, syringe, brush, or spray applicator. Record the number

of the test coupon and the surface area (S) in square centimeters of each coupon that was coated.

8.2.3 Allow the contaminant to dry overnight or in an oven at 40 to 50°C for 1 h, cool to room temperature in a desiccator, remove from the desiccator, and weigh. Reweigh the test coupon at intervals while storing the coupons in a desiccator between weighings, 4 h typically, until a constant weight is achieved. Record the final weight (W_2) in grams to the nearest 0.1 mg. It may be necessary to make additional applications to achieve the desired contamination level. (**Warning**—Do not place test coupons directly in the oven after application of the solution containing the contaminant. A fire may result if the solvent is flammable; or rapid evaporation of the solvent may cause spattering of the contaminant, thereby reducing the amount of contaminant on the test coupon. It is recommended that the test coupons be air dried until no traces of a liquid phase are visible.)

8.2.4 Test coupons shall be used immediately after final weighing.

8.3 Method B, NVR Sample, Double Side:

8.3.1 Prepare a standard solution containing the desired contaminant, in a suitable solvent for that contaminant. As an alternative, a mixture of as many contaminants as desired may be prepared in a suitable solvent. The concentration of the solution, typically between 1 and 100 mg/mL, should be adjusted to reflect the worst expected contamination level in the system to be cleaned. In some cases, e.g. oils, dye penetrants, or inks, it may not be necessary to use a solvent in the preparation of the coupons to achieve the desired level of contamination.

8.3.2 Carefully dip the test coupon into the contaminant solution until it is completely immersed. Slowly withdraw the test coupon from the contaminant solution. Other methods of application include brushing or spraying. Record the number of the test coupon and the surface area (S) of each coupon that was coated. Hang the test coupon by the handling wire and allow the contaminant to dry overnight or in an oven at 40 to 50°C for 1 h. Cool to room temperature in a desiccator, and weigh. Reweigh the test coupon at intervals, 4 h typically, until a constant weight is achieved. Record the final weight (W_2). (**Warning**—Do not place test coupons directly in the oven after application of the solution containing the contaminant. A fire may result if the solvent is flammable; or rapid evaporation of the solvent may cause spattering of the contaminant, thereby reducing the amount of contaminant on the test coupon. It is recommended that the test coupons be air dried until no traces of a liquid phase are visible.)

8.3.3 Test coupons shall be used immediately after the final weighing.

8.4 Method C, NVR and Particulate Sample:

8.4.1 Prepare a standard solution containing the desired NVR contaminant, in a suitable solvent for that contaminant. As an alternative, a mixture of as many NVR contaminants as desired may be prepared in a suitable solvent. The NVR contaminant concentration of the solution, typically between 1 and 100 mg/mL, should be adjusted to reflect the worst expected NVR contamination level in the system to be cleaned. Add 10, 20, or 30 mg of particulate contaminant to each 100

⁴ Dusts of varying particle sizes are available from the AC Spark Plug Division of General Motors, 1300-T N. Dear Hwy., Flint, MI 48856.

ml. of solution to provide a light, medium, or heavy particulate level, respectively. In some cases, that is, oils, dye penetrants, or inks, it may not be necessary to use a solvent in the preparation of the coupons to achieve the desired level of contamination.

8.4.2 Place the test coupon(s), number side down, on a horizontal surface and carefully apply the solution containing the contaminant, which is agitated or stirred to keep the particulate suspended, to the top upper surface of the coupon using a pipette, syringe, brush, or spray applicator. Hang the test coupon by the handling wire and allow the contaminant to dry overnight or in an oven at 40 to 50°C for 1 h. Cool to room temperature in a desiccator, and weigh. Reweigh the test coupon at intervals, 4 h typically, until a constant weight is achieved. Record the final weight (W_2). (**Warning**—Do not place test coupons directly in the oven after application of the solution containing the contaminant. A fire may result if the solvent is flammable; or rapid evaporation of the solvent may cause spattering of the contaminant, thereby reducing the amount of contaminant on the test coupon. It is recommended that the test coupons be air dried until no traces of a liquid phase are visible.)

8.4.3 Test coupons shall be used immediately after final weighing.

9. Calculation

9.1 Calculate the amount of contaminant on the test coupon in mg/cm^2 using:

$$C = \frac{1000(W_2 - W_1)}{S}$$

where:

- C = amount of contaminant, mg/cm^2 ;
- W_1 = weight of the clean coupon, g;
- W_2 = weight of the contaminated coupon, g; and
- S = contaminated surface area of the coupon, cm^2 .

10. Report

- 10.1 The report shall include the following:
 - 10.1.1 The number of the test coupon,
 - 10.1.2 Identification of alloy,
 - 10.1.2.1 Name of Unified Numbering System (UNS) alloy designation,
 - 10.1.2.2 Heat,
 - 10.1.2.3 Hardness,
 - 10.1.2.4 Surface roughness (R_a),
 - 10.1.3 Identification of the solvent used,
 - 10.1.4 Identification of the contaminant,
 - 10.1.5 Method of application of the contaminant,
 - 10.1.6 Method of drying the test coupon,
 - 10.1.7 Weight of the uncontaminated coupon (W_1),
 - 10.1.8 Weight of the contaminated coupon (W_2), and
 - 10.1.9 The amount of contaminant (C) on the test coupon in mg/cm^2 .

11. Keywords

- 11.1 cleaning agents; contaminant; contamination; non-volatile residue; oxygen systems; standard test coupon

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either approved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2900, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9885 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy this standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; http://www.copyright.com/

Norma ASTM G122. Método de prueba estándar para evaluar la efectividad de los agentes de limpieza.

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: G122 – 96 (Reapproved 2015)^{a1}

Standard Test Method for Evaluating the Effectiveness of Cleaning Agents¹

This standard is issued under the fixed designation G122; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscripted epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

^{a1} NOTE—Editorial correction made in October 2015.

INTRODUCTION

Many systems require a high degree of cleanliness. For example, gaseous and liquid oxygen systems must be clean, particularly of hydrocarbons, to avoid the potential hazard of a reaction and subsequent fire or explosion. Typically, chlorinated solvents have been used to clean systems and equipment that must be free of hydrocarbons and other contaminants. Environmental concerns dictate that suitable replacements are needed. This test method presents a procedure that may be used to evaluate candidate aqueous or non aqueous cleaning agents.

1. Scope

1.1 This test method covers a procedure for evaluating the capability of cleaning agents and processes to remove contamination to the desired level.

1.2 The test coupons provide a relatively rough surface to which contamination can easily adhere.

1.3 The capability of a particular cleaning agent depends upon the method by which it is used and the characteristics of the article being cleaned, such as size, shape, and material. Final evaluation of the cleaning agent should include testing of actual products and production process.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. Specific precautionary statements are given in Note 2.*

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*²
D1193 Specification for Reagent Water
E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
G94 Guide for Evaluating Metals for Oxygen Service
G121 Practice for Preparation of Contaminated Test Coupons for the Evaluation of Cleaning Agents
- 2.2 *ANSI Standard:*³
D46.1 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, Lay)

3. Terminology

- 3.1 *Definitions:*
- 3.1.1 *cleaning effectiveness factor (CEF), n* —the fraction of contaminant removed from an initially contaminated test coupon and determined by gravimetric techniques.
- 3.1.2 *residual contamination, R_r, n* —the absolute mass of contaminant remaining after the cleaning process and expressed in milligrams per square centimetre of area or optionally as milligrams per square foot.
- 3.1.3 *surface roughness, R_a, n* —the arithmetic average deviation of the surface profile from the centerline, normally reported in micrometres.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee G04 on Compatibility and Sensitivity of Materials in Oxygen Enriched Atmospheres and is the direct responsibility of Subcommittee G04.01 on Test Methods.
Current edition approved Oct. 1, 2015. Published October 2015. Originally approved in 1993. Last previous edition approved in 2008 as G122 – 96 (2008). DOI: 10.1520/G0122-96R1501D.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 42nd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

4. Summary of Test Method

4.1 This test method provides quantitative results as to the ability of a specific cleaning agent/process for removing selected contaminants from standard coupons. The coupons used for testing are prepared in accordance with Practice G121. Cleaning is performed using a cleaning tank with or without ultrasonic agitation, elevated temperature or other cleaning enhancement features and depends on the manufacturer's instructions. The effectiveness of the cleaning process is represented as CEF, the cleaning effectiveness factor, that is the fraction of the contaminant removed as determined by gravimetric techniques. A control coupon is used to account for any corrosion or material removal effects due to the cleaning agent/process.

5. Significance and Use

5.1 The purpose of this test method is to define a procedure for evaluating the capability of cleaning agents to clean metallic coupons. Based on the outcome of the testing, suitable cleaning agents may be selected for cleaning in general and for oxygen service in particular.

5.2 The cleaning parameters can be changed and the test method can be repeated. The usual cleaning parameters include cleaning agent concentration, temperature, and time; type and strength of ultrasonic energy or agitation, if used, and others.

NOTE 1—Usual cleaning parameters are based on the manufacturer's recommendations.

6. Apparatus

6.1 Materials:

6.1.1 *Test Coupon*, prepared in accordance with Practice G121. The mass of the coupon is approximately 30 to 45 g but will vary significantly for each selected material. Typical materials used in oxygen systems are described in Guide G94.

6.1.2 *Control Coupon*—This is uncontaminated and is subjected to the identical cleaning procedure as the contaminated coupons and serves to evaluate corrosion and erosion of the test coupons.

6.1.3 *Cleaning Agent*, prepared according to the manufacturer's instructions. Specification D1193 Type II water shall be used for preparing aqueous solutions.

6.2 Equipment:

6.2.1 *Cleaning Tank*, A vessel of sufficient size to conduct a number of evaluations simultaneously. Testing is enhanced by having automatic temperature and time controls. A cleaning tank with ultrasonics may be used.

6.2.2 *Balance*, accuracy to 0.1 mg. However, 0.01 mg accuracy is desirable to detect contamination levels of 10 mg/m² (1 mg/ft²) or less.

6.2.3 *Beaker Holder*—A device to support beakers in the ultrasonic cleaner tank such that the beakers do not contact the bottom and sides of the tank.

7. Test Procedure

7.1 Prepare a minimum of six test coupons by Practice G121.

7.2 Indicate the masses of coupons in grams as *MXy* where *X* is the coupon designation (number, letter, or name) and *y* = 1 indicates a clean coupon, *y* = 2 indicates a contaminated coupon and *y* = 3 indicates a coupon after cleaning.

7.3 Designate one coupon as the control coupon to undergo cleaning without contamination.

7.4 Measure the mass of the control and test coupons (recording them as *MX1* as previously defined).

7.5 Contaminate five test coupons in accordance with Practice G121.

7.6 Measure the mass of all contaminated test coupons (recording them as *MX2* as previously defined).

7.7 Process the control coupon in the test cleaning solution separately from the contaminated test coupons.

7.8 The contaminated test coupons can be processed in independent beakers held in the cleaning tank or as a batch in a single beaker.

7.9 Clean the test and control coupons in the candidate cleaning agent by the manufacturer's procedure or selected procedure.

7.9.1 Prepare the cleaning agent in accordance with the manufacturer's recommendations.

7.9.2 Select beakers of suitable size to accommodate the test coupons and fit the beaker holder.

7.9.3 Wash the beakers thoroughly with a solution of liquid, surface-active cleaning agent in hot water and rinse with type II water.

7.9.4 Fill the beakers with the cleaning agent solution to a level that will ensure the test coupons are submerged.

7.9.5 Fill the cleaning tank to its operating level with the transfer fluid and preheat to desired test temperature.

7.9.6 Place the beakers in the beaker holder in the tank so that the liquid levels in the tank and beakers are approximately equal.

7.9.7 Allow the temperatures of the tank fluid and cleaning agent in the beakers to equilibrate at the desired temperature.

7.9.8 Suspend the test coupons and control coupon in the cleaning agent, using a wire hook of the same material as the coupon or a compatible material. Position the coupons such that they do not touch the beaker or one another.

7.9.9 Begin agitation or sonication in the cleaning process and start the timer.

7.9.10 Upon completing the required cleaning time, discontinue the agitation or sonication, and remove the coupons from the cleaning agent.

7.9.11 Rinse the test coupon in accordance with the manufacturer's recommendations.

7.9.12 Allow the suspended coupons to dry overnight or in a forced convection oven for one hour.

NOTE 2—**Warning:** Do not place test coupons directly in the oven after application of the solution containing the contaminant. A fire may result if the solvent is flammable or rapid evaporation of the solvent may cause splattering of the contaminant thereby reducing the amount of contaminant on the test coupon. It is recommended that the test coupons be air dried until no traces of a liquid phase are visible.

7.9.13 Determine the final mass of each test coupon (recording them as *MX3* as previously defined), including the control coupon.

8. Calculation

8.1 *Validation of Procedure*—Examine the control coupons to determine whether they lost mass (such as might occur if there was corrosion occurring, if the coupons were dissolving, or if the standard cleaning procedure used prior to contamination had left residue on the coupons); gained mass (such as might occur if the solution was plating a material on their surfaces, or was depositing contaminant rather than removing it) or exhibited the same mass. The simplest valid test procedure is one in which there is no change in the control-coupon's mass to within the measurement error of the balance.

8.1.1 If the control coupon is designated *MC*, and, if $|MC3 - MC1| <$ balance error, then the experiment is valid. Proceed to calculate a cleaning effectiveness factor.

8.1.2 If $|MC3 - MC1|$ is greater than the balance error, the test may be considered to be suspect and the reason for the mass change should be investigated.

8.2 *Cleaning Effectiveness Factor (CEF)*:

8.2.1 The cleaning effectiveness factor indicates the fractional contaminant that was removed during cleaning (for example, *CEF* = 0.9 indicates that 90 % of the contaminant was removed).

$$*CEF = \frac{MX2 - MX3}{MX2 - MX1} \quad (1)$$

where:

MX2 - MX3 = the mass of contaminant removed, and
MX2 - MX1 = the mass of contaminant applied.

8.2.2 Calculate the *CEF* for each test coupon.

8.2.3 Calculate the average *CEF* by arithmetic mean.

8.3 *Residual Contamination (RC)*:

8.3.1 A cleaning agent does not necessarily remove a fixed fraction of the contamination on a given surface. In some cases, it cleans a surface to a constant residual cleanliness level. For example, sometimes the cleaned surface will exhibit a layer of organic material that has remained after a fluid vehicle has dried, and a constant *RC* for varying initial contamination levels suggests this may be happening.

8.3.2 Calculate the contaminated area (*S*) of each coupon in square centimeters.

8.3.3 Calculate the residual contamination that is (*MX3 - MX1*) in grams.

8.3.4 Using the equation $RC = (MX3 - MX1)/S$, calculate the value of *RC* for each coupon (milligrams/centimetre²).

8.3.5 Determine an average *RC* in mg/cm².

8.3.6 As an option, *RC* can be calculated in mg/ft².

9. Report

9.1 Because of the many variables involved in conducting a cleaning test program, it is necessary that all data be carefully documented.

9.2 Report the following information, as applicable:

9.2.1 Date of test,

9.2.2 Technician,

9.2.3 Contaminant identification, and

9.2.4 *Coupon Data Refer to Practice G121:*

9.2.4.1 Identification number of each coupon,

9.2.4.2 Material,

9.2.4.3 Surface roughness, (*R_a*) micrometres, and

9.2.4.4 Coupon Contaminated surface areas.

9.2.5 *Cleaning Data:*

9.2.5.1 Cleaning agent identification,

9.2.5.2 Concentration of cleaning agent,

9.2.5.3 pH of diluted cleaning agent,

9.2.5.4 Ultrasonic, soak, or agitation,

9.2.5.5 Time,

9.2.5.6 Temperature,

9.2.5.7 Level of ultrasonic frequency (kHz), and

9.2.5.8 Power density in watts per litre.

9.2.6 *Rinsing Data:*

9.2.6.1 Agent,

9.2.6.2 Time,

9.2.6.3 Temperature,

9.2.6.4 Number of rinses, and

9.2.6.5 Agitation method (if any).

9.2.7 *Drying Data:*

9.2.7.1 Method,

9.2.7.2 Time, and

9.2.7.3 Temperature.

9.2.8 *Test Data:*

9.2.8.1 Initial mass of each coupon, including control coupon, *MX1* and *MC1*,

9.2.8.2 Mass of each coupon with contaminant, *MX2*,

9.2.8.3 Mass of each cleaned coupon after cleaning, *MX3*, and

9.2.8.4 Mass of control coupon after cleaning, *MC3*.

9.2.8.5 Report $|MC3 - MC1|$ and give comparison to balance error.

9.2.8.6 Report (*MX2 - MX3*) and (*MX2 - MX1*) and *CEF* for each test coupon.

9.2.8.7 Report average *CEF*.

9.2.8.8 Report area of contamination in square centimetres.

9.2.8.9 Report (*MX3 - MX1*) and *RC* in milligrams/square centimetre.

9.2.8.10 Report average *RC* (mg/cm²).

9.2.8.11 Report average *RC* in milligrams/foot² (optional).

10. Precision and Bias

10.1 An interlaboratory study of the cleaning effectiveness factor (*CEF*) was conducted using the general test protocol of Practice E691 in six participating laboratories with three materials. However, not every laboratory evaluated every material.⁴

10.1.1 The terms repeatability limit and reproducibility limit in Table 1 are used as specified in Practice E177.

10.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for the procedure for measuring the *CEF* in this test method, bias has not been determined.

⁴ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR-C04-1001.

TABLE 1 CEF—Precision^a

| Material | CEF Average | Repeatability Standard Deviation | Reproducibility Standard Deviation | Repeatability Limit | Reproducibility Limit |
|----------|-------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------------|
| A | 0.9866 | 0.0154 | 0.0197 | 0.0432 | 0.0652 |
| B | 0.9531 | 0.0404 | 0.0507 | 0.1131 | 0.1420 |
| C | 0.4074 | 0.1008 | 0.1146 | 0.2821 | 0.3208 |

^a The table was calculated using the relationship: Limit = 2.8 × standard deviation.

11. Keywords

11.1 cleaning agents; cleaning evaluation; cleaning process; contaminant; oxygen; oxygen systems; reagent; solvent

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be revised every five years and if not revised, either approved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9555 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923; Tel: (978) 646-2600; <http://www.copyright.com>

ANEXO D. Procedimiento preparación de muestras

Para la preparación de los detergentes se siguió el siguiente procedimiento:

Desengrasante básico

1. En un vaso precipitado se agregan las sustancias en el siguiente orden: Tween 80, alcohol industrial - Etanol, Ecosurf. Agitar hasta homogeneizar la muestra.
2. Se agrega la anterior mezcla a un vaso precipitado que contiene el 80% del agua necesaria y se agita durante 1 min a 100 r.p.m.
3. Se añade el Metasilicato de sodio y se agita a 500 r.p.m. hasta disolver completamente.
4. Finalmente se agrega la soda cáustica agitando por 3 minutos a 500 rpm y se completa con agua el volumen.

Desincrustante ácido

1. En un vaso precipitado se agregan las sustancias en el siguiente orden: Tween 20 y Etanol. Agitar hasta homogeneizar la muestra
2. Se agrega la anterior mezcla a un vaso precipitado que contiene la cantidad el 80% del agua necesaria y se agita durante 1 min a 100 r.p.m.
3. Se agrega el Ácido oxálico y se agita a 500 r.p.m. hasta disolver completamente.
4. Se añade el Ácido glicólico y el Dequest 2010 agitando por 2 minutos a 500 rpm.
5. Finalmente se completa con agua el volumen restante

Desengrasante neutro

1. En un vaso precipitado se agregan las sustancias en el siguiente orden: Limoneno, Etanol, Butilglicol y Tween 80. Agitar hasta homogeneizar
2. Se agrega la anterior mezcla a un vaso precipitado que contiene la cantidad de agua necesaria y se agita durante 1 min a 500 rpm.
3. Se agrega el LES y se agita durante 30 s a 500 rpm hasta homogeneizar completamente.

ANEXO E. Resultados de la evaluación de efectividad.

En las **Tabla 11**, **Tabla 12** y **Tabla 13** se presentan los cálculos para el CEF obtenido para cada producto y tratamiento por triplicado.

Tabla 11. Cálculo del CEF para los experimentos utilizando el desengrasante básico

| DESENGRASANTE BÁSICO | | | | | |
|----------------------|--------|--------|--------|----------|---------------------|
| Tratamientos | %CEF | | | Promedio | Desviación Estandar |
| | Exp 1 | Exp 2 | Exp 3 | | |
| 1 | 0.0635 | 0.0807 | 0.1419 | 0.1 | 0.04 |
| 2 | 4.6525 | 5.8857 | 4.5800 | 5.0 | 0.73 |
| 3 | 0.8766 | 1.8596 | 0.9083 | 1.2 | 0.56 |
| 4 | 1.1881 | 1.5621 | 1.7589 | 1.5 | 0.29 |
| 5 | 4.9148 | 4.4318 | 4.5500 | 4.6 | 0.25 |
| 6 | 3.8943 | 4.0034 | 2.7658 | 3.6 | 0.69 |
| 7 | 1.4811 | 0.4823 | 1.2240 | 1.1 | 0.52 |
| 8 | 0.1234 | 0.4186 | 0.2931 | 0.3 | 0.15 |
| 9 | 3.7478 | 3.0370 | 3.7720 | 3.5 | 0.42 |
| 10 | 2.6722 | 3.0334 | 3.3570 | 3.0 | 0.34 |
| 11 | 1.3379 | 1.1462 | 0.9651 | 1.1 | 0.19 |
| 12 | 2.4822 | 3.1534 | 2.9286 | 2.9 | 0.34 |
| 13 | 0.7193 | 1.4020 | 1.3345 | 1.2 | 0.38 |
| 14 | 1.8999 | 1.7654 | 1.7031 | 1.8 | 0.10 |
| 15 | 0.0955 | 0.2506 | 0.2631 | 0.2 | 0.09 |
| 16 | 0.8577 | 1.1924 | 0.9378 | 1.0 | 0.17 |
| 17 | 0.7372 | 1.3042 | 0.6822 | 0.9 | 0.34 |
| 18 | 4.4937 | 3.7816 | 3.8909 | 4.1 | 0.38 |
| 19 | 1.5083 | 2.0850 | 1.7872 | 1.8 | 0.29 |
| 20 | 1.7923 | 2.3031 | 1.1373 | 1.7 | 0.58 |
| 21 | 2.1343 | 1.7918 | 1.7045 | 1.9 | 0.23 |
| 22 | 1.8366 | 2.5503 | 0.9651 | 1.8 | 0.79 |
| 23 | 4.5080 | 4.0421 | 4.5800 | 4.4 | 0.29 |
| 24 | 2.9804 | 3.4812 | 3.2340 | 3.2 | 0.25 |
| 25 | 0.7952 | 0.6246 | 0.4831 | 0.6 | 0.16 |
| Lark Foam HD | 1.9648 | 0.6016 | 1.3648 | 1.3 | 0.68 |

Tabla 12. Cálculo del CEF para los experimentos utilizando el desincrustante ácido

| DESINCRUSTANTE ACIDO | | | | | |
|------------------------|---------|---------|---------|----------|---------------------|
| Tratamientos | %CEF | | | Promedio | Desviación Estandar |
| | Exp 1 | Exp 2 | Exp 3 | | |
| 1 | 10.3177 | 10.0372 | 10.1267 | 10.2 | 0.14 |
| 2 | 11.0377 | 11.0177 | 12.0784 | 11.4 | 0.61 |
| 3 | 6.8611 | 5.3417 | 5.5219 | 5.9 | 0.83 |
| 4 | 26.0842 | 27.8410 | 27.8078 | 27.2 | 1.00 |
| 5 | 14.2620 | 13.7486 | 12.7206 | 13.6 | 0.78 |
| 6 | 21.6687 | 21.5338 | 21.4099 | 21.5 | 0.13 |
| 7 | 1.8444 | 1.3439 | 1.0619 | 1.4 | 0.40 |
| 8 | 16.4974 | 14.6682 | 17.4190 | 16.2 | 1.40 |
| 9 | 29.1911 | 29.8478 | 28.0474 | 29.0 | 0.91 |
| 10 | 8.1034 | 8.0930 | 8.8615 | 8.4 | 0.44 |
| 11 | 3.6731 | 4.9075 | 4.0185 | 4.2 | 0.64 |
| 12 | 26.6626 | 24.6896 | 25.7160 | 25.7 | 0.99 |
| 13 | 22.5053 | 22.6394 | 19.0806 | 21.4 | 2.02 |
| Lark Clean Inox | 86.0998 | 87.6220 | 87.0213 | 86.9 | 0.77 |

Tabla 13. Cálculo del CEF para los experimentos utilizando el desengrasante neutro

| DESENGRASANTE NEUTRO | | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|----------|---------------------|
| Tratamientos | %CEF | | | Promedio | Desviación estandar |
| | Exp 1 | Exp 2 | Exp 3 | | |
| 1 | 64.1319 | 63.0937 | 65.1224 | 64.1 | 1.01 |
| 2 | 38.9501 | 40.6332 | 38.6771 | 39.4 | 1.06 |
| 3 | 56.4395 | 55.3303 | 56.3984 | 56.1 | 0.63 |
| 4 | 35.1220 | 35.0000 | 34.5875 | 34.9 | 0.28 |
| 5 | 39.3959 | 38.6394 | 40.0396 | 39.4 | 0.70 |
| 6 | 47.8859 | 46.5826 | 46.4793 | 47.0 | 0.78 |
| 7 | 53.9556 | 52.9133 | 52.7321 | 53.2 | 0.66 |
| 8 | 38.3584 | 40.0651 | 40.2109 | 39.5 | 1.03 |
| 9 | 57.6377 | 58.8991 | 56.1794 | 57.6 | 1.36 |
| 10 | 61.2117 | 62.6782 | 64.2786 | 62.7 | 1.53 |
| 11 | 41.0340 | 40.2746 | 41.2358 | 40.8 | 0.51 |
| 12 | 49.4260 | 48.7028 | 50.8720 | 49.7 | 1.10 |
| 13 | 38.4236 | 41.1804 | 41.3201 | 40.3 | 1.63 |
| Easy-off Bang | 80.9944 | 80.9386 | 81.3096 | 81.1 | 0.20 |

ANEXO F. Evaluación del efecto de cada componente en el desengrasante básico

Figura 30 . Análisis del efecto de la variación en la concentración de NaOH (entre 0.5 y 4 %v/v) en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (11-2, 8-5, 1-23, 17-9, 15-24, 25-22) manteniendo constante la concentración de Metasilicato de sodio, Tween 80 y Ecosurf.

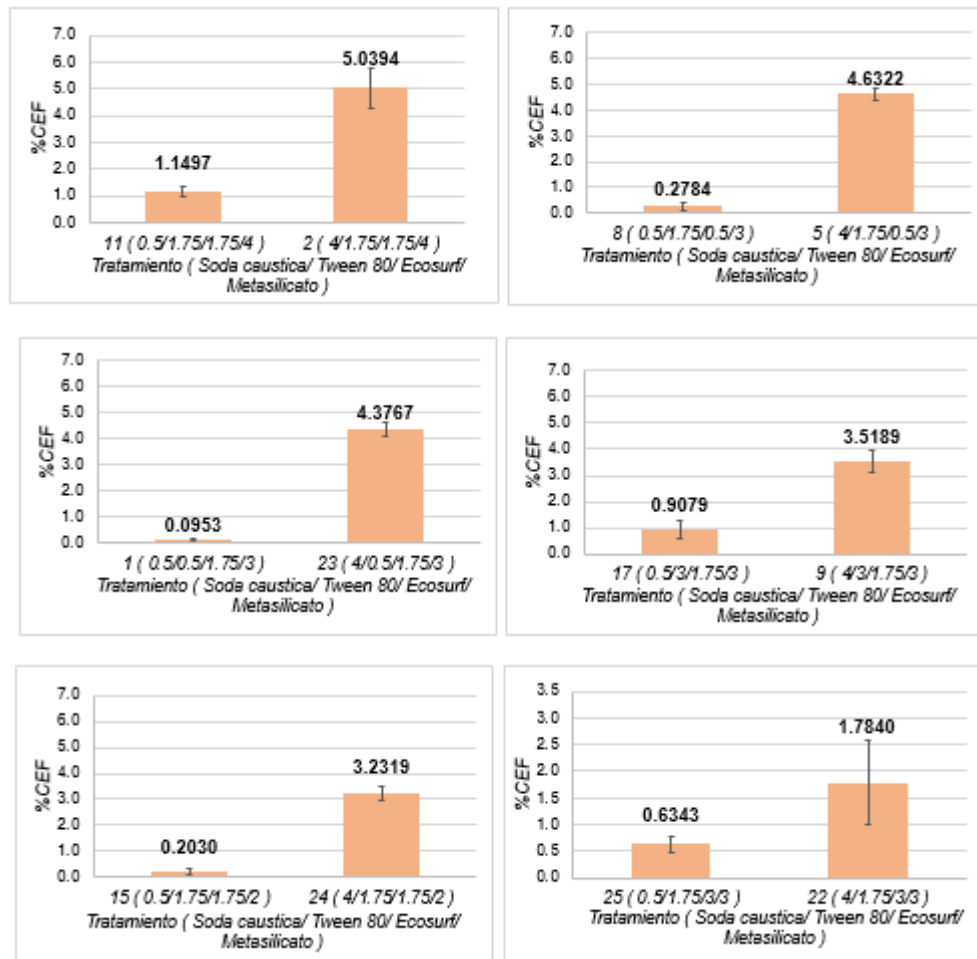


Figura 31. Análisis del efecto de la variación en la concentración de Metasilicato de sodio (entre 2 y 4 %p/v) en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (15-11, 3-10, 24-2, 21-15, 7-12 y 13-19) manteniendo constante la concentración de NaOH, Tween 80 y Ecosurf.

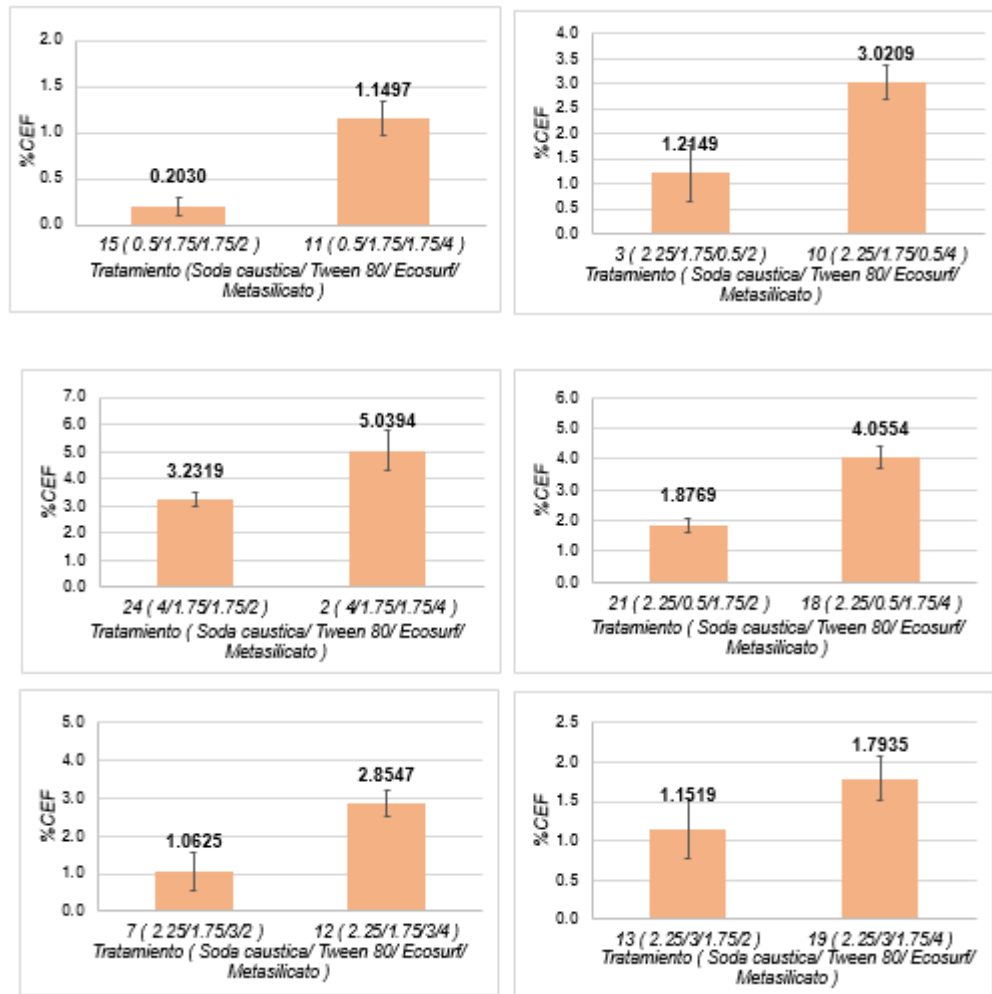
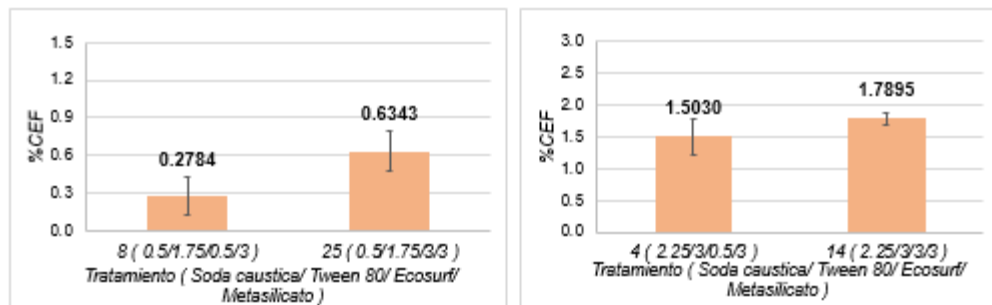


Figura 32. Análisis del efecto de la variación en la concentración de Ecosurf (entre 0.5 y 3 %p/v) en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (8-25, 4-14, 10-12, 3-7, 5-22, 6-20) manteniendo constante la concentración de NaOH, Tween 80 y Metasilicato de sodio.



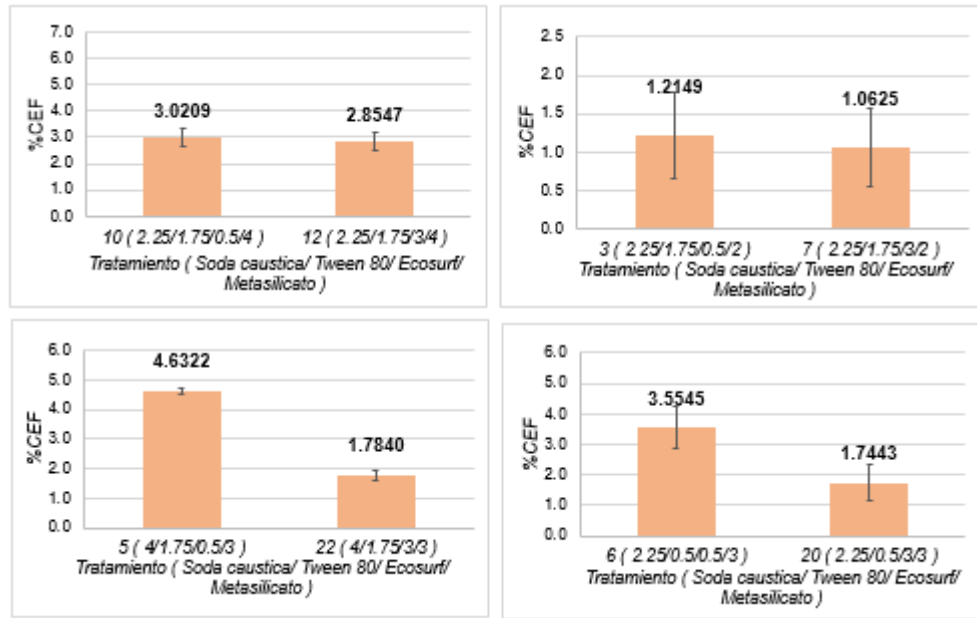
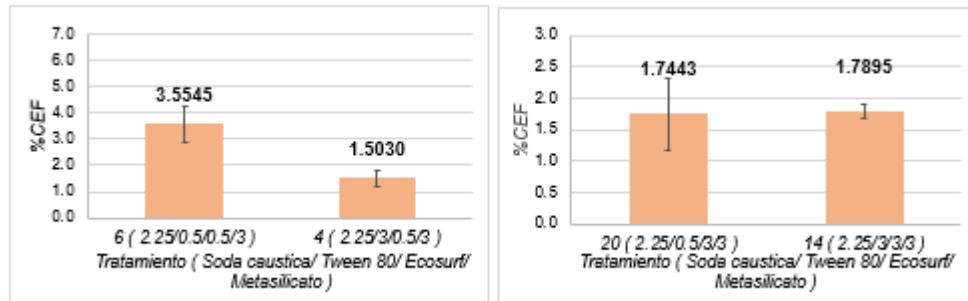
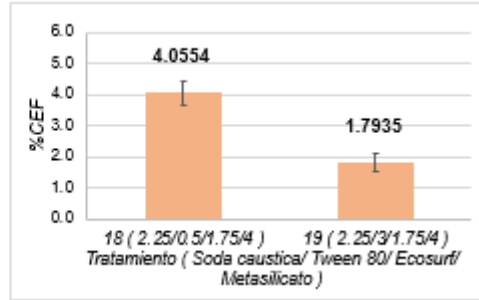
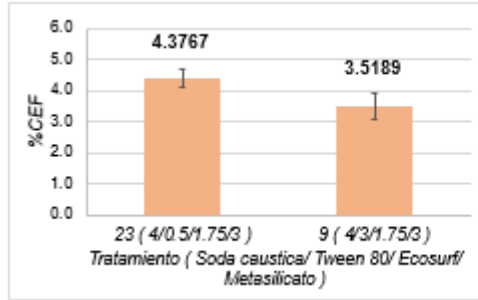
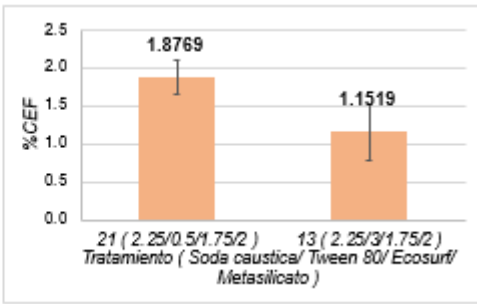
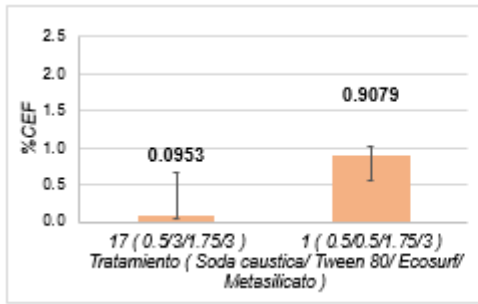


Figura 33. Análisis del efecto de la variación en la concentración de Tween 80 (entre 0.5 y 3 %p/v) en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (6-4, 20-14, 17-1, 21-13, 23-9, 18-19) manteniendo constante la concentración de NaOH, Ecosurf y Metasilicato de sodio.





ANEXO G. Prueba t student para dos muestras

La prueba t student para 2 muestras puede emplearse para:

- Comparar las medias entre dos grupos independientes entre sí o respecto a un valor objetivo para determinar si existe una diferencia significativa entre ellas o si esa diferencia se debe en cambio a una probabilidad aleatoria.
- Calcular un intervalo en el que probablemente incluya la diferencia entre las medias de las poblaciones.

Planteamiento de la prueba de hipótesis:

Si se asume que la diferencia entre las medias es 0 (supuesto más común), es equivalente a decir que las medias son iguales o si se asume que la diferencia sea δ_0 (valor objetivo), la decisión se tomaría en base a ese valor. Para nuestras pruebas t el valor de δ_0 es cero.

Luego de seleccionar un valor de nivel de significancia, (nuestros datos se analizaron con un nivel de significancia de 0.05), se aplica la prueba t y se compara el valor p de la prueba t con el nivel de significancia.

Hipótesis alternativa

Seleccione una de las siguientes hipótesis alternativas.

| | |
|------------------------------------|--|
| $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq \delta_0$ | La diferencia entre las medias de las poblaciones ($\mu_1 - \mu_2$) no es igual a la diferencia hipotética (δ_0). |
| $H_1: \mu_1 - \mu_2 > \delta_0$ | La diferencia entre las medias de las poblaciones ($\mu_1 - \mu_2$) es mayor que la diferencia hipotética (δ_0). |
| $H_1: \mu_1 - \mu_2 < \delta_0$ | La diferencia entre las medias de las poblaciones ($\mu_1 - \mu_2$) es menor que la diferencia hipotética (δ_0). |

En nuestro caso, si el valor p es menor que o igual al nivel de significancia ($p < o = 0.05$), rechazamos la hipótesis nula con lo cual se concluye que existe una diferencia significativa en el %CEF entre los tratamientos para determinada sustancia, mientras que si el valor p es mayor que el nivel de significancia ($p > 0.05$), rechazamos la hipótesis alternativa con lo cual se concluye que no existe una diferencia significativa en el %CEF entre los tratamientos para determinada sustancia.

La prueba t de 2 muestras genera un intervalo de confianza que proporciona más detalles sobre la diferencia entre los grupos. Minitab para nuestro caso nos proporciona un intervalo de confianza de 95%, lo que indica que, podemos estar 95% seguros de que la diferencia media entre los valores de %CEF de los dos tratamientos se encuentra entre un rango determinado.

Si el intervalo de confianza no contiene 0, indica que la diferencia entre las medias de los grupos es significativa o diferente de 0.

Pruebas t de dos muestras para el desengrasante básico

Aplicado a las parejas de tratamientos 2-11, 5-8, 1-23, 9-17, 15-24 y 22-25

- Prueba T aplicada a cada pareja de tratamientos en las que se mantiene constante la concentración de Metasilicato de sodio, Tween 80 y Ecosurf. y se varía el NaOH entre 0.5 %v/v y 4 %v/v.

Método

μ_1 : media de Sd 4/ T80 1.75/ Eco 1.75/ Me 4

μ_2 : media de Sd 0.5/ T80 1.75/Eco 1.75/ Me 4

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| | |
|------------|----------------|
| | IC de 95% |
| | para la |
| Diferencia | diferencia |
| 3.890 | (2.009, 5.770) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 4/ T80 1.75/ Eco 1.75/ Me 4 | 3 | 5.039 | 0.734 | 0.42 |
| Sd 0.5/ T80 1.75/Eco 1.75/ Me 4 | 3 | 1.150 | 0.186 | 0.11 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| | | |
|---------|----|---------|
| Valor T | GL | Valor p |
| 8.90 | 2 | 0.012 |

Método

μ_1 : media de Sd 4/ T80 1.75/ Eco 0.5/ Me 3

μ_2 : media de Sd 0.5/ T80 1.75/ Eco 0.5/ Me 3

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| | |
|------------|----------------|
| | IC de 95% |
| | para la |
| Diferencia | diferencia |
| 4.354 | (3.817, 4.891) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 4/ T80 1.75/ Eco 0.5/ Me 3 | 3 | 4.632 | 0.252 | 0.15 |
| Sd 0.5/ T80 1.75/ Eco 0.5/ Me 3 | 3 | 0.278 | 0.148 | 0.086 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| | | |
|---------|----|---------|
| Valor T | GL | Valor p |
| 25.82 | 3 | 0.000 |

Método

μ_1 : media de Sd 0.5/ T89 0.5/ Eco 1.75/ Me 3

μ_2 : media de Sd 4/ T80 0.5/ Eco 1.75/ Me 3

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| | |
|------------|------------------|
| | IC de 95% para |
| | la diferencia |
| Diferencia | |
| -4.281 | (-5.014, -3.549) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| Sd 0.5/ T89 0.5/ Eco 1.75/ Me 3 | 3 | 0.0953 | 0.0412 | 0.024 |
| Sd 4/ T80 0.5/ Eco 1.75/ Me 3 | 3 | 4.377 | 0.292 | 0.17 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| | | |
|---------|----|---------|
| Valor T | GL | Valor p |
| -25.15 | 2 | 0.002 |

Método

μ_1 : media de Sd 4/ T80 3/ Eco 1.75/ Me 3

μ_2 : media de Sd 0.5/ T80 3/ Eco 1.75/ Me 3

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 2.611 | (1.617, 3.605) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 4/ T80 3/ Eco 1.75/ Me 3 | 3 | 3.519 | 0.418 | 0.24 |
| Sd 0.5/ T80 3/ Eco 1.75/ Me 3 | 3 | 0.908 | 0.344 | 0.20 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 8.36 | 3 | 0.004 |

Método

μ_1 : media de Sd 0.5/T80 1.75/ Eco 1.75/ Me 2

μ_2 : media de Sd 4/ T80 1.75/ Eco 1.75/ Me 2

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|---------------------------------|
| -3.029 | (-3.693, -2.365) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| Sd 0.5/T80 1.75/ Eco 1.75/ Me 2 | 3 | 0.2030 | 0.0934 | 0.054 |
| Sd 4/ T80 1.75/ Eco 1.75/ Me 2 | 3 | 3.232 | 0.250 | 0.14 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -19.63 | 2 | 0.003 |

Método

μ_1 : media de Sd 4/ T80 1.75/ Eco 3/ Me 3

μ_2 : media de Sd 0.5/ T80 1.75/ Eco 3/ Me 3

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 1.150 | (-0.860, 3.160) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 4/ T80 1.75/ Eco 3/ Me 3 | 3 | 1.784 | 0.794 | 0.46 |
| Sd 0.5/ T80 1.75/ Eco 3/ Me 3 | 3 | 0.634 | 0.156 | 0.090 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 2.46 | 2 | 0.133 |

Aplicado a las parejas de tratamientos 6-4, 20-14, 17-1, 21-13, 23-9, 18-19

- Prueba T aplicada a cada pareja de tratamientos en las que se mantiene constante la concentración el NaOH, Metasilicato, Ecosurf 3 factores constantes y varía el Tween 80 entre 0.5 %v/v y 3 %v/v.

Método

μ_1 : media de Sd 2.25/ T80 3/ Eco 0.5/ Me 3
 μ_2 : media de Sd 2.25/ T80 0.5/ Eco 0.5/ Me 3
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| -2.051 | (-3.900, -0.203) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 2.25/ T80 3/ Eco 0.5/ Me 3 | 3 | 1.503 | 0.290 | 0.17 |
| Sd 2.25/ T80 0.5/ Eco 0.5/ Me 3 | 3 | 3.554 | 0.685 | 0.40 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -4.78 | 2 | 0.041 |

Método

μ_1 : media de Sd 2.25/ T80 3/ Eco 3/Me 3
 μ_2 : media de Sd 2.25/ T80 0.5/ Eco 3/ Me 3
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| 0.045 | (-1.428, 1.518) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 2.25/ T80 3/ Eco 3/Me 3 | 3 | 1.789 | 0.101 | 0.058 |
| Sd 2.25/ T80 0.5/ Eco 3/ Me 3 | 3 | 1.744 | 0.584 | 0.34 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 0.13 | 2 | 0.907 |

Método

μ_1 : media de Sd 0.5/ T80 0.5/ Eco 1.75/ Me 3
 μ_2 : media de Sd 0.5/ T.80 3/ Eco 1.75/ Me 3
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| -0.813 | (-1.674, 0.049) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| Sd 0.5/ T80 0.5/ Eco 1.75/ Me 3 | 3 | 0.0953 | 0.0412 | 0.024 |
| Sd 0.5/ T.80 3/ Eco 1.75/ Me 3 | 3 | 0.908 | 0.344 | 0.20 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -4.06 | 2 | 0.056 |

Método

μ_1 : media de Sd 2.25/ T80 3/ Eco 1.75/ Me 2

μ_2 : media de Sd 2.25/ T80 0.5/Eco 1.75/ Me 2

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| -0.725 | (-1.532, 0.082) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 2.25/ T80 3/ Eco 1.75/ Me 2 | 3 | 1.152 | 0.376 | 0.22 |
| Sd 2.25/ T80 0.5/Eco 1.75/ Me 2 | 3 | 1.877 | 0.227 | 0.13 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -2.86 | 3 | 0.065 |

Método

μ_1 : media de Sd 4/ T.80 3/ Eco 1.75/ Me 3

μ_2 : media de Sd 4/ T.80 0.5/ Eco 1.75/ Me 3

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| -0.858 | (-1.794, 0.078) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|--------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 4/ T.80 3/ Eco 1.75/ Me 3 | 3 | 3.519 | 0.418 | 0.24 |
| Sd 4/ T.80 0.5/ Eco 1.75/ Me 3 | 3 | 4.377 | 0.292 | 0.17 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -2.92 | 3 | 0.062 |

Método

μ_1 : media de Sd 2.25/T80 0.5/ Eco 1.75/ Me 4

μ_2 : media de Sd 2.25/ T80 3/ Eco 1.75/ Me 4

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 2.262 | (1.380, 3.144) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 2.25/T80 0.5/ Eco 1.75/ Me 4 | 3 | 4.055 | 0.383 | 0.22 |
| Sd 2.25/ T80 3/ Eco 1.75/ Me 4 | 3 | 1.794 | 0.288 | 0.17 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 8.16 | 3 | 0.004 |

Aplicado a las parejas de tratamientos 8-25, 4-14, 10-12, 3-7, 5-22, 6-20

- Prueba T aplicada a cada pareja de tratamientos en las que se mantiene constante la concentración de soda cáustica, Metasilicato, Tween 80 y varía el Ecosurf entre 0.5 %p/v y 3 %p/v.

Método

μ_1 : media de Sd 0.5/T80 1.75/ Eco 0.5/ Me 3

μ_2 : media de Sd 0.5/ T.80 1.75/ Eco 3/ Me 3

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| -0.356 | (-0.752, 0.040) |

Método

μ_1 : media de Sd 2.25/ T.80 3/ Eco 0.5/ Me 3

μ_2 : media de Sd 2.25/ T80 3/ Eco 3/ Me 3

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| -0.286 | (-1.049, 0.476) |

Método

μ_1 : media de Sd 2.25/ T80 1.75/ Eco 0.5/Me 4

μ_2 : media de Sd 2.25/ T80 1.75/ Eco 3/ Me 4

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 0.166 | (-0.723, 1.055) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|--------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 0.5/T80 1.75/ Eco 0.5/ Me 3 | 3 | 0.278 | 0.148 | 0.086 |
| Sd 0.5/ T.80 1.75/ Eco 3/ Me 3 | 3 | 0.634 | 0.156 | 0.090 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -2.86 | 3 | 0.064 |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|--------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 2.25/ T.80 3/ Eco 0.5/ Me 3 | 3 | 1.503 | 0.290 | 0.17 |
| Sd 2.25/ T80 3/ Eco 3/ Me 3 | 3 | 1.789 | 0.101 | 0.058 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -1.62 | 2 | 0.247 |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 2.25/ T80 1.75/ Eco 0.5/Me 4 | 3 | 3.021 | 0.343 | 0.20 |
| Sd 2.25/ T80 1.75/ Eco 3/ Me 4 | 3 | 2.855 | 0.342 | 0.20 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 0.59 | 3 | 0.594 |

Método

μ_1 : media de Sd 2.25/T80 1.75/ Eco 0.5/ Me 2

μ_2 : media de Sd 2.25/ T80 1.75/ Eco 3/ Me 2

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 0.152 | (-1.248, 1.553) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 2.25/T80 1.75/ Eco 0.5/ Me 2 | 3 | 1.215 | 0.559 | 0.32 |
| Sd 2.25/ T80 1.75/ Eco 3/ Me 2 | 3 | 1.062 | 0.519 | 0.30 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 0.35 | 3 | 0.752 |

Método

μ_1 : media de Sd 4/ T.80 1.75/ Eco 0.5/ Me 3

μ_2 : media de Sd 4/ T.80 1.75/ Eco 3/ Me 3

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 2.848 | (0.779, 4.917) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|--------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 4/ T.80 1.75/ Eco 0.5/ Me 3 | 3 | 4.632 | 0.252 | 0.15 |
| Sd 4/ T.80 1.75/ Eco 3/ Me 3 | 3 | 1.784 | 0.794 | 0.46 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 5.92 | 2 | 0.027 |

Método

μ_1 : media de Sd 2.25/T80 0.5/ Eco 0.5/ Me 3

μ_2 : media de Sd 2.25/T80 0.5/ Eco 3/ Me 3

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 1.810 | (0.156, 3.465) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|--------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 2.25/T80 0.5/ Eco 0.5/ Me 3 | 3 | 3.554 | 0.685 | 0.40 |
| Sd 2.25/T80 0.5/ Eco 3/ Me 3 | 3 | 1.744 | 0.584 | 0.34 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 3.48 | 3 | 0.040 |

Aplicado a las parejas de tratamientos 11-15, 3-10, 2-24, 18-21, 7-12 y 13-19

- Prueba T aplicada a cada pareja de tratamientos en las que se mantiene constante la concentración de NaOH, Tween 80, Ecosurf constantes y varía el Metasilicato entre 2 %p/v y 4 %p/v.

Método

μ_1 : media de Sd 0.5/T80 1.75/ Eco 1.75/ Me 4

μ_2 : media de Sd 0.5/ T80 1.75/Eco 1.75/ Me 2

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 0.947 | (0.429, 1.465) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| Sd 0.5/T80 1.75/ Eco 1.75/ Me 4 | 3 | 1.150 | 0.186 | 0.11 |
| Sd 0.5/ T80 1.75/Eco 1.75/ Me 2 | 3 | 0.2030 | 0.0934 | 0.054 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 7.86 | 2 | 0.016 |

Método

μ_1 : media de Sd 4/T80 1.75/ Eco 1.75/ Me 4

μ_2 : media de Sd 4/ T80 1.75/Eco 1.75/ Me 2

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 1.808 | (-0.119, 3.734) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 4/T80 1.75/ Eco 1.75/ Me 4 | 3 | 5.039 | 0.734 | 0.42 |
| Sd 4/ T80 1.75/Eco 1.75/ Me 2 | 3 | 3.232 | 0.250 | 0.14 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 4.04 | 2 | 0.056 |

Método

μ_1 : media de Sd 2.25/ T80 0.5/Eco 1.75/ Me 4

μ_2 : media de Sd 2.25/T80 0.5/ Eco 1.75/ Me 2

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 2.179 | (1.360, 2.998) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 2.25/ T80 0.5/Eco 1.75/ Me 4 | 3 | 4.055 | 0.383 | 0.22 |
| Sd 2.25/T80 0.5/ Eco 1.75/ Me 2 | 3 | 1.877 | 0.227 | 0.13 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 8.47 | 3 | 0.003 |

Método

μ_1 : media de Sd 2.25/ T80 1.75/Eco 3/ Me 2

μ_2 : media de Sd 2.25/ T80 1.75/Eco 3/ Me 4

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| -1.792 | (-2.933, -0.651) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 2.25/ T80 1.75/Eco 3/ Me 2 | 3 | 1.062 | 0.519 | 0.30 |
| Sd 2.25/ T80 1.75/Eco 3/ Me 4 | 3 | 2.855 | 0.342 | 0.20 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -5.00 | 3 | 0.015 |

Método

μ_1 : media de Sd 2.25/ T80 3/Eco 1.75/ Me 2

μ_2 : media de Sd 2.25/ T80 3/Eco 1.75/ Me 4

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| -0.642 | (-1.513, 0.229) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 2.25/ T80 3/Eco 1.75/ Me 2 | 3 | 1.152 | 0.376 | 0.22 |
| Sd 2.25/ T80 3/Eco 1.75/ Me 4 | 3 | 1.794 | 0.288 | 0.17 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -2.34 | 3 | 0.101 |

Método

μ_1 : media de Sd 2.25/ T80 3/Eco 1.75/ Me 2

μ_2 : media de Sd 2.25/ T80 3/Eco 1.75/ Me 4

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| -0.642 | (-1.513, 0.229) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Sd 2.25/ T80 3/Eco 1.75/ Me 2 | 3 | 1.152 | 0.376 | 0.22 |
| Sd 2.25/ T80 3/Eco 1.75/ Me 4 | 3 | 1.794 | 0.288 | 0.17 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -2.34 | 3 | 0.101 |

ANEXO H. Evaluación del efecto de cada componente en el desincrustante ácido

Figura 34. Análisis del efecto de la variación en la concentración de Tween 20 (entre 0.5 y 3 %p/v) en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (4-12, 13-8, 3-11, 1-10) manteniendo constante la concentración del ácido glicólico y ácido oxálico

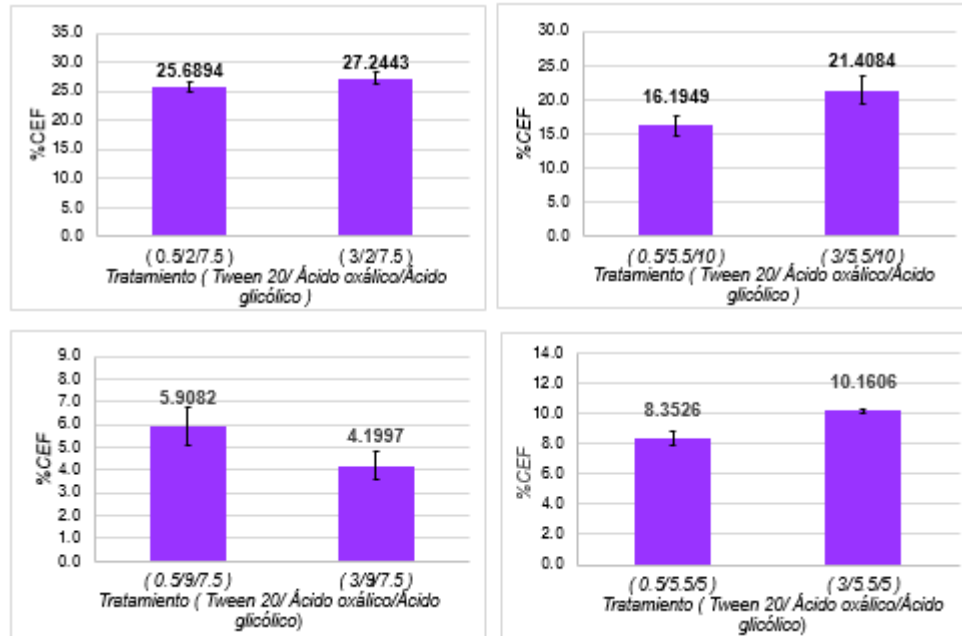
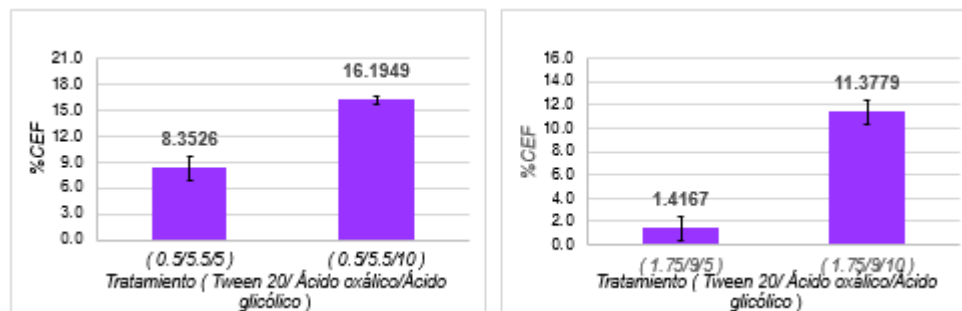


Figura 35. Análisis del efecto de la variación en la concentración de ácido glicólico entre 5 y 10 %v/v en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (8-10, 2-7, 13-1, 6-9) manteniendo constante la concentración de Tween 20 y Ácido oxálico



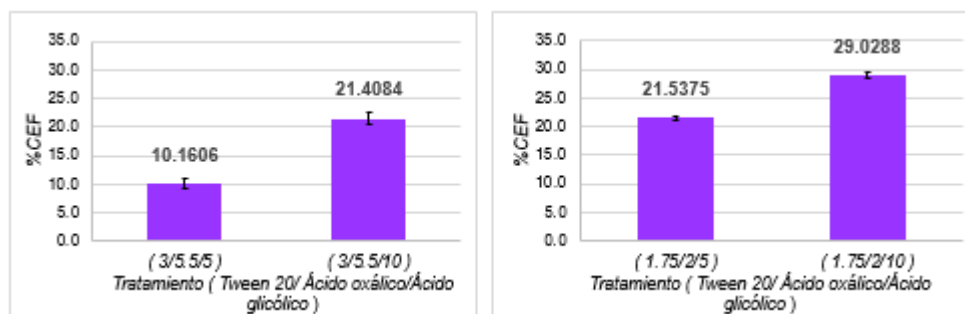
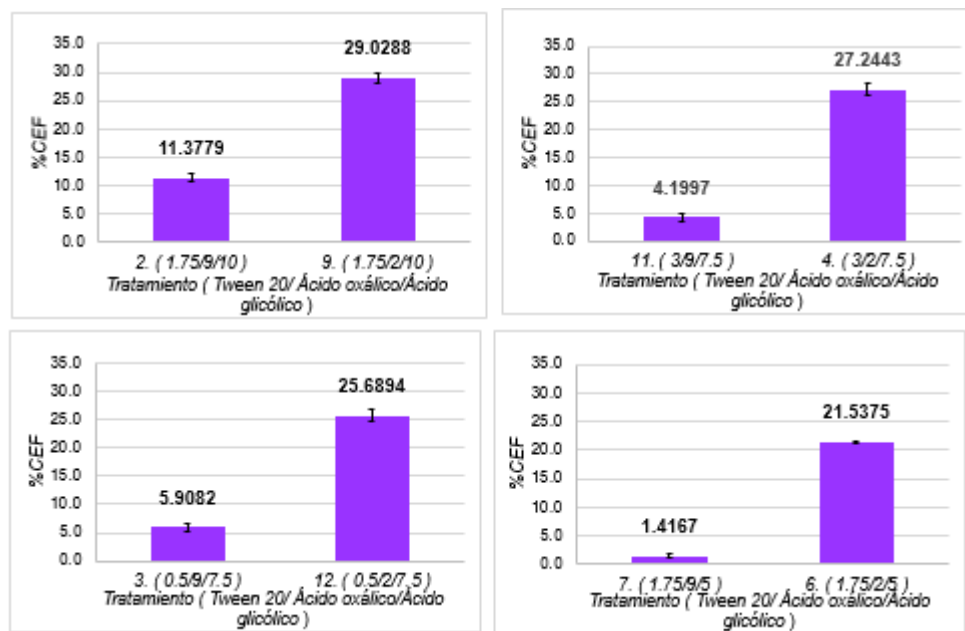


Figura 36. Análisis del efecto de la variación en la concentración de ácido oxálico entre 2 y 9 %v/v en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (2-9, 4-11, 3-12 y 7-6) manteniendo constante la concentración de Tween 20 y Ácido glicólico.



ANEXO I. Pruebas de diferencia significativa para el desincrustante ácido

Aplicado a las parejas de tratamientos 8-10, 2-7, 13-1 y 6-9

- Prueba T aplicada a cada pareja de tratamientos en las que se mantiene constante la concentración de Ácido oxálico y Tween 20 y se varía el ácido glicólico entre 5 y 10 %v/v.

Método

μ_1 : media de (Tw20 0.5/ AOxa 5.5/ A.Gli 10)

μ_2 : media de (Tw20 0.5/ AOxa 5.5/ A.Gli 5)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 7.842 | (4.196, 11.489) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|--------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| (Tw20 0.5/ AOxa 5.5/ A.Gli 10) | 3 | 16.19 | 1.40 | 0.81 |
| (Tw20 0.5/ AOxa 5.5/ A.Gli 5) | 3 | 8.353 | 0.441 | 0.25 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 9.25 | 2 | 0.011 |

Método

μ_1 : media de (Tw20 1.75/ AOxa 9/ A.Gli 10)

μ_2 : media de (Tw20 1.75/ AOxa 9/ A.Gli 5)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 9.961 | (8.630, 11.293) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| (Tw20 1.75/ AOxa 9/ A.Gli 10) | 3 | 11.378 | 0.607 | 0.35 |
| (Tw20 1.75/ AOxa 9/ A.Gli 5) | 3 | 1.417 | 0.396 | 0.23 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 23.81 | 3 | 0.000 |

Método

μ_1 : media de (Tw20 3/ AOxa 5.5/ A.Gli 10)

μ_2 : media de (Tw20 3/ AOxa 5.5/ A.Gli 5)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| 11.25 | (6.22, 16.27) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| (Tw20 3/ AOxa 5.5/ A.Gli 10) | 3 | 21.41 | 2.02 | 1.2 |
| (Tw20 3/ AOxa 5.5/ A.Gli 5) | 3 | 10.161 | 0.143 | 0.083 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 9.63 | 2 | 0.011 |

Método

μ_1 : media de (Tw20 1.75/ AOxa 2/ A.Gli 5)

μ_2 : media de (Tw20 1.75/ AOxa 2/ A.Gli 10)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| -7.491 | (-9.777, -5.205) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| (Tw20 1.75/ AOxa 2/ A.Gli 5) | 3 | 21.537 | 0.129 | 0.075 |
| (Tw20 1.75/ AOxa 2/ A.Gli 10) | 3 | 29.029 | 0.911 | 0.53 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -14.10 | 2 | 0.005 |

Aplicado a las parejas de tratamientos 2-9, 11-4, 3-12 y 7-6

- Prueba T aplicada a cada pareja de tratamientos en las que se mantiene constante la concentración de Ácido glicólico y Tween 20 y se varía el ácido oxálico entre 2 y 9 %p/v.

Método

μ_1 : media de (Tw20 1.75/ A.Oxa 9/ A.Gli 10)

μ_2 : media de (Tw20 1.75/ A.Oxa 2/ A.Gli 10)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| -17.651 | (-19.662, -15.640) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|--------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| (Tw20 1.75/ A.Oxa 9/ A.Gli 10) | 3 | 11.378 | 0.607 | 0.35 |
| (Tw20 1.75/ A.Oxa 2/ A.Gli 10) | 3 | 29.029 | 0.911 | 0.53 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -27.93 | 3 | 0.000 |

Método

μ_1 : media de (Tw20 3/ AOxa 2/ A.Gli 7.5)

μ_2 : media de (Tw20 3/ AOxa 9/ A.Gli 7.5)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| 23.045 | (20.859, 25.230) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-----------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| (Tw20 3/ AOxa 2/ A.Gli 7.5) | 3 | 27.24 | 1.00 | 0.58 |
| (Tw20 3/ AOxa 9/ A.Gli 7.5) | 3 | 4.200 | 0.637 | 0.37 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 33.55 | 3 | 0.000 |

Método

μ_1 : media de (Tw20 0.5/ AOxa 9/ A.Gli 7.5)

μ_2 : media de (Tw20 0.5/ AOxa 2/ A.Gli 7.5)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| -19.781 | (-22.150, -17.412) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| (Tw20 0.5/ AOxa 9/ A.Gli 7.5) | 3 | 5.908 | 0.830 | 0.48 |
| (Tw20 0.5/ AOxa 2/ A.Gli 7.5) | 3 | 25.689 | 0.987 | 0.57 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -26.57 | 3 | 0.000 |

Método

μ_1 : media de (Tw20 1.75/ A.Oxa 9/ A.Gli 5)

μ_2 : media de (Tw20 1.75/ A.Oxa 2/ A.Gli 5)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| -20.121 | (-21.156, -19.085) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| (Tw20 1.75/ A.Oxa 9/ A.Gli 5) | 3 | 1.417 | 0.396 | 0.23 |
| (Tw20 1.75/ A.Oxa 2/ A.Gli 5) | 3 | 21.537 | 0.129 | 0.075 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -83.59 | 2 | 0.000 |

Aplicado a las parejas de tratamientos 4-12, 13-8, 3-11, 1-10

- Prueba T aplicada a cada pareja de tratamientos en las que se mantiene constante la concentración de Ácido glicólico y Ácido oxálico y se varía el Tween 20 entre 0.5 y 3 %v/v.

Método

μ_1 : media de (Tw20 3/ A.Oxa 2/ A.Gli 7.5)

μ_2 : media de (Tw20 0.5/ A.Oxa 2/ A.Gli 7.5)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 1.555 | (-1.033, 4.143) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|--------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| (Tw20 3/ A.Oxa 2/ A.Gli 7.5) | 3 | 27.24 | 1.00 | 0.58 |
| (Tw20 0.5/ A.Oxa 2/ A.Gli 7.5) | 3 | 25.689 | 0.987 | 0.57 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 1.91 | 3 | 0.152 |

Método

μ_1 : media de (Tw20 0.5/ A.Oxa 5.5/ A.Gli 10)

μ_2 : media de (Tw20 3/ A.Oxa 5.5/ A.Gli 10)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| -5.21 | (-9.73, -0.70) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|---------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| (Tw20 0.5/ A.Oxa 5.5/ A.Gli 10) | 3 | 16.19 | 1.40 | 0.81 |
| (Tw20 3/ A.Oxa 5.5/ A.Gli 10) | 3 | 21.41 | 2.02 | 1.2 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -3.68 | 3 | 0.035 |

Método

μ_1 : media de (Tw20 0.5/ A.Oxa 9/ A.Gli 7.5)

μ_2 : media de (Tw20 3/ A.Oxa 9/ A.Gli 7.5)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 1.709 | (-0.214, 3.631) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|--------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| (Tw20 0.5/ A.Oxa 9/ A.Gli 7.5) | 3 | 5.908 | 0.830 | 0.48 |
| (Tw20 3/ A.Oxa 9/ A.Gli 7.5) | 3 | 4.200 | 0.637 | 0.37 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 2.83 | 3 | 0.066 |

Método

μ_1 : media de (Tw20 3/ A.Oxa 5.5/ A.Gli 5)

μ_2 : media de (Tw20 0.5/ A.Oxa 5.5/ A.Gli 5)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 1.808 | (0.657, 2.959) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|--------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| (Tw20 3/ A.Oxa 5.5/ A.Gli 5) | 3 | 10.161 | 0.143 | 0.083 |
| (Tw20 0.5/ A.Oxa 5.5/ A.Gli 5) | 3 | 8.353 | 0.441 | 0.25 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 6.76 | 2 | 0.021 |

ANEXO J. Prueba cualitativa del desincrustante ácido.

Para evaluar la efectividad del desincrustante ácido se realizaron dos pruebas, una cuantitativa y una cualitativa, para evaluar la remoción de cemento y de óxido respectivamente.

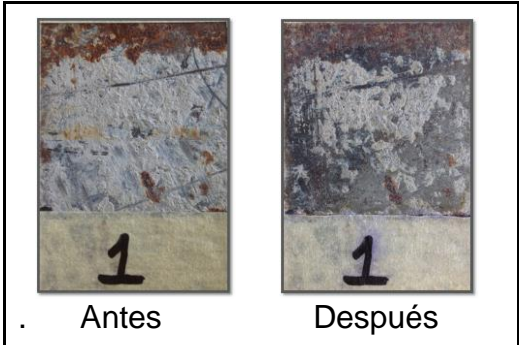
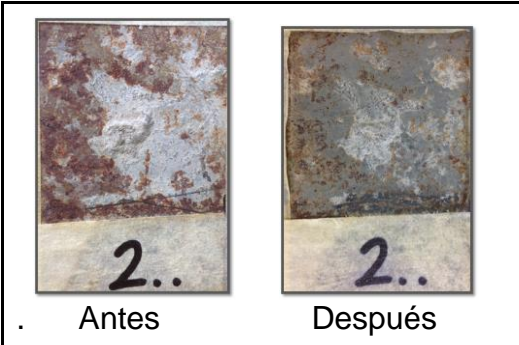
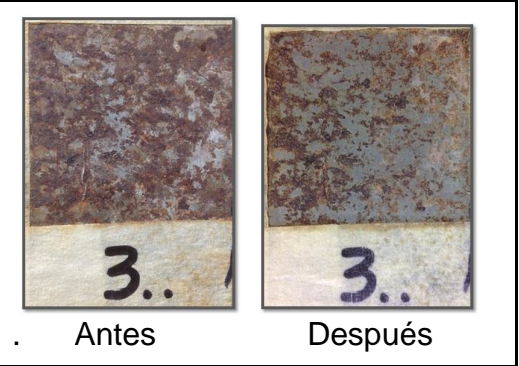
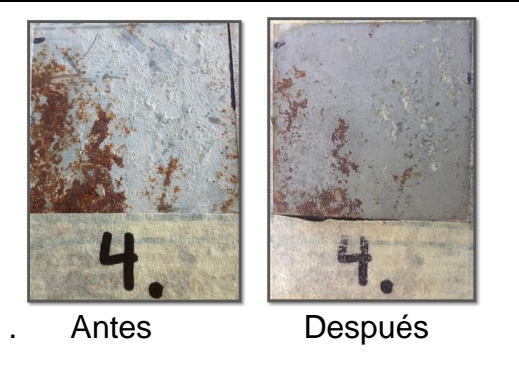
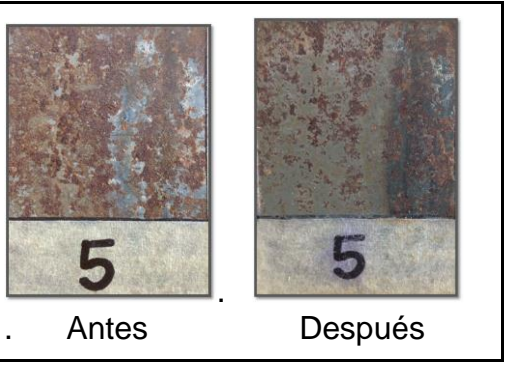
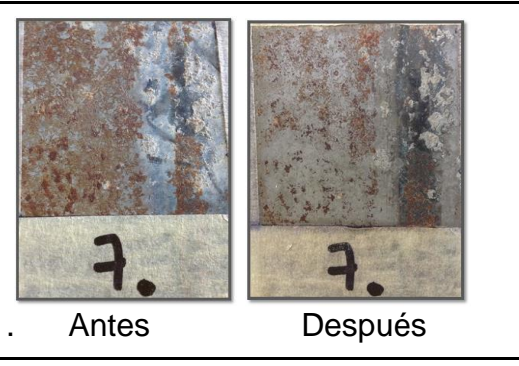
Para llevar a cabo la prueba cualitativa, la empresa Zumotec S.A proveyó un codo oxidado suministrado por un cliente, para evaluar la efectividad del desincrustante en la remoción de óxido.


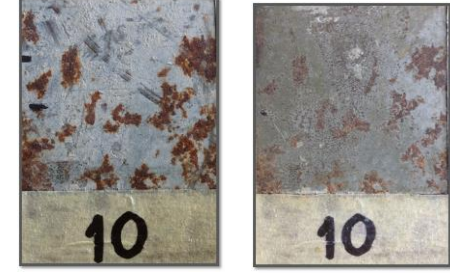
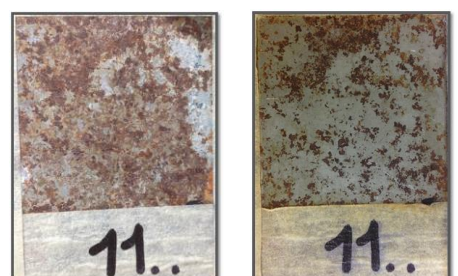

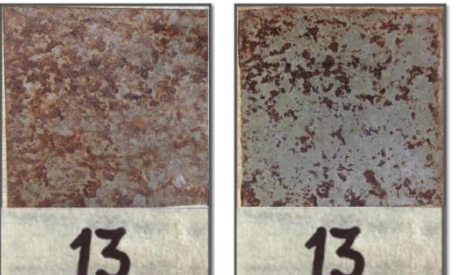

Se escogió un área superficial de 4x4 cm, a ser limpiada con las muestras de formulado hechas a partir del diseño experimental. Las pruebas fueron realizadas por triplicado (nombradas por número, número punto o número doble punto) pero aquí presentaremos sólo una por cada formulación probada.

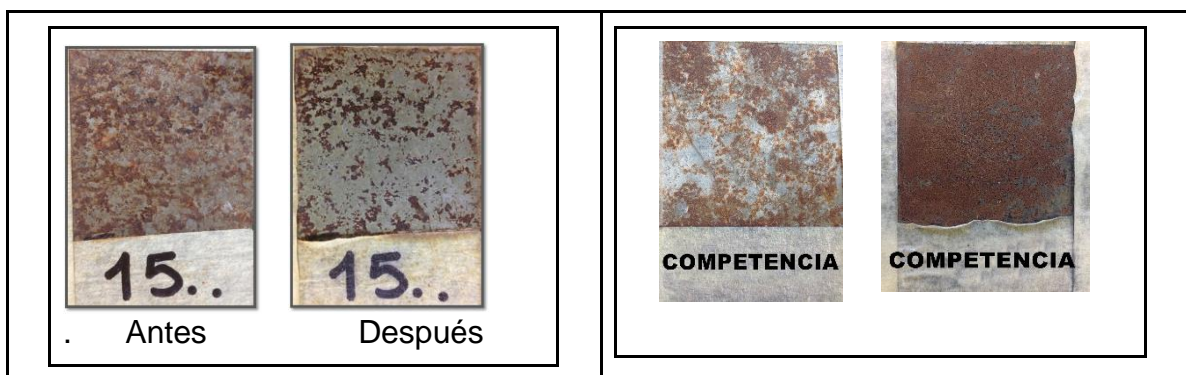
En la **Figura 37** se observa en la parte superior las concentraciones usadas del formulado y el antes y después del proceso de limpieza explicado en la metodología.

Figura 37. Prueba cualitativa para observar el efecto desoxidante y desincrustante

| | | | | | |
|----------|---------------|-----------------|----------|---------------|-----------------|
| Tween 20 | Ácido oxálico | Ácido glicólico | Tween 20 | Ácido oxálico | Ácido glicólico |
| 3 | 5.5 | 5 | 1.75 | 9 | 10 |

| | |
|--|---|
|  <p>1 1</p> <p>Antes Después</p> |  <p>2.. 2..</p> <p>Antes Después</p> |
| <p>Tween 20 Ácido oxálico Ácido glicólico 0.5 9 7.5</p>  <p>3.. 3..</p> <p>Antes Después</p> | <p>Tween 20 Ácido oxálico Ácido glicólico 3 2 7.5</p>  <p>4. 4.</p> <p>Antes Después</p> |
| <p>Tween 20 Ácido oxálico Ácido glicólico 1.75 5.5 7.5</p>  <p>5 5</p> <p>Antes Después</p> | <p>Tween 20 Ácido oxálico Ácido glicólico 1.75 2 5</p>  <p>7. 7.</p> <p>Antes Después</p> |
| <p>Tween 20 Ácido oxálico Ácido glicólico 1.75 9 5</p> | <p>Tween 20 Ácido oxálico Ácido glicólico 0.5 5.5 10</p> |

| | |
|---|--|
|  <p>8. Antes Después</p> |  <p>10 Antes Después</p> |
| <p>Tween 20 Ácido oxálico Ácido glicólico 1.75 2 10</p>  <p>11. Antes Después</p> | <p>Tween 20 Ácido oxálico Ácido glicólico 0.5 5.5 5</p>  <p>12. Antes Después</p> |
| <p>Tween 20 Ácido oxálico Ácido glicólico 3 5.5 10</p>  <p>13 Antes Después</p> | <p>Tween 20 Ácido oxálico Ácido glicólico 0.5 2 7.5</p>  <p>14. Antes Después</p> |
| <p>Tween 20 Ácido oxálico Ácido glicólico 3 9 7.5</p> | <p>Remoción del desincrustante comercial Antes Después</p> |



Las secciones escogidas para prueba además de contener óxido, tenían trazas de cemento con lo que se pudo evidenciar la capacidad de remoción del mismo , por lo tanto al observar las imágenes anteriores, se analizó que, los formulados de la prueba 10, 11 y 4 fueron los que tuvieron mayor remoción de cemento, la 1, 4, 5, 12 y 15 fueron lo que tuvieron mayor remoción de óxido, algo particular es que en las muestras 1, 5, 12 y 15 tienen en común un porcentaje de ácido oxálico de 5.5 %p/v por lo cual es la mejor concentración para ser usada en la formulación, pero la muestra 4 está dentro de los dos grupos, lo cual la hace ser una opción a considerar, ya que nuestro interés es remover ambos contaminantes, y esta muestra contiene 2% p/v de ácido oxálico.

ANEXO K. Evaluación del efecto de cada componente en el desengrasante neutro

Figura 38 Análisis del efecto de la variación en la concentración de Limoneno entre 0.5 y 7 %v/v en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (2-5, 6-3, 13-8 y 9-10) manteniendo constante la concentración de LES y Butilglicol.

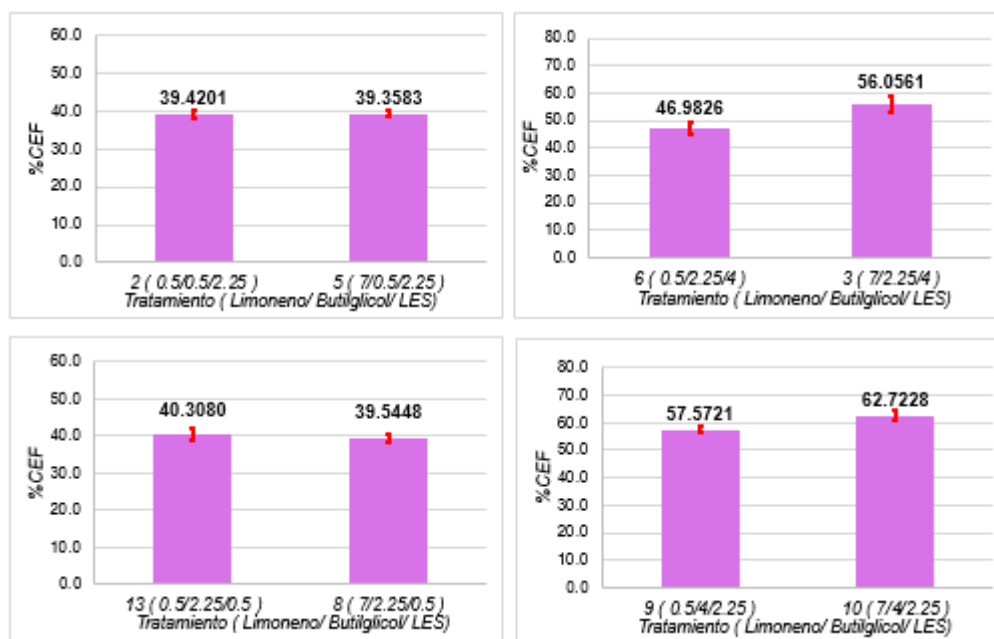


Figura 39 Análisis del efecto de la variación en la concentración de Butilglicol entre 0.5 y 4 %v/v en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (4-1, 5-10, 2-5 y 12-7) manteniendo constante la concentración de LES y Limoneno.

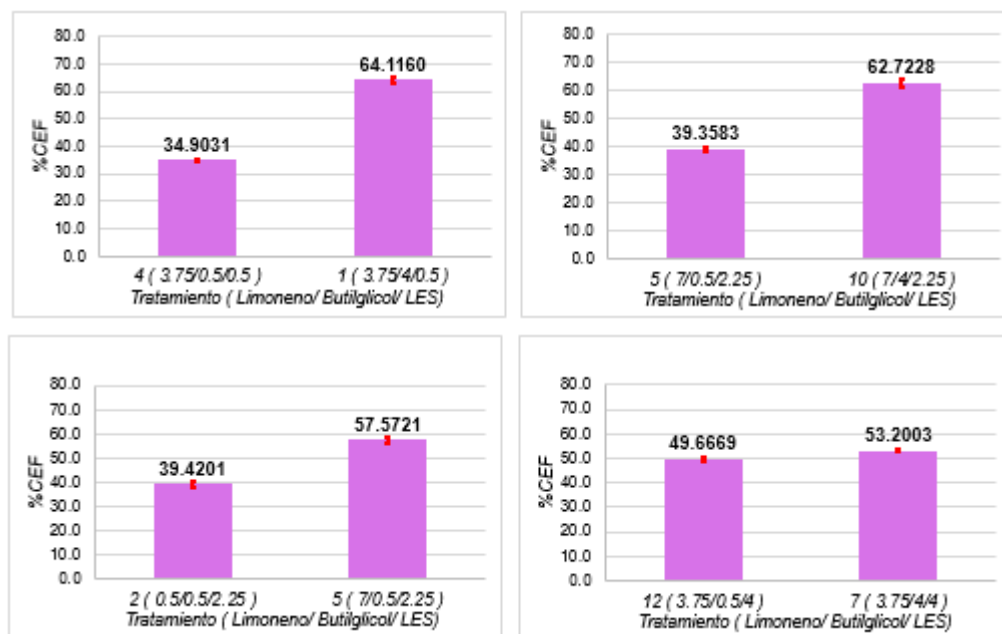
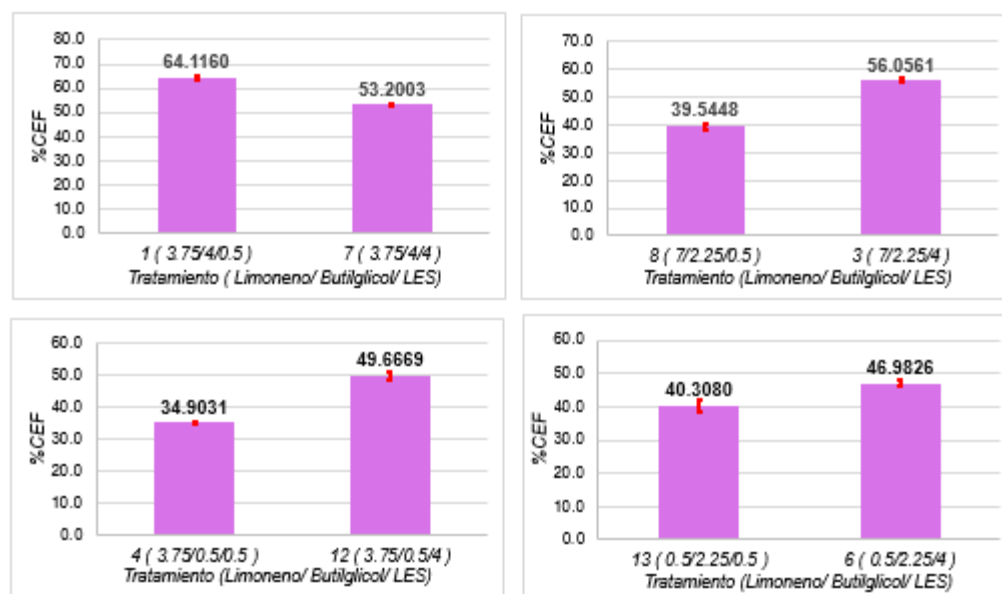


Figura 40 Análisis del efecto de la variación en la concentración de LES entre 0.5 y 4 %v/v en el %CEF para diferentes parejas de tratamientos (1-7, 8-3, 4-12 y 13-6) manteniendo constante la concentración de Butilglicol y Limoneno.



ANEXO L. Pruebas de diferencia significativa para el desengrasante neutro

Aplicado a las parejas de tratamientos 4-1, 5-10, 2-5 y 12-7

- Prueba T aplicada a cada pareja de tratamientos en las que se mantiene constante la concentración de Limoneno y LES, se varía el varía el Butilglicol entre 0.5 %p/v y 4 %p/v.

Método

μ_1 : media de Lim 3.75/ Butil 4/ LES 0.5

μ_2 : media de Lim 3.75/ Butil 0.5/ LES 0.5

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| 29.213 | (26.598, 31.827) |

Método

μ_1 : media de Lim 7 / Butil 0.5/ LES 2.25

μ_2 : media de Lim 7 / Butil 4/ LES 2.25

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| -23.365 | (-27.554, -19.175) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| Lim 3.75/ Butil 4/ LES 0.5 | 3 | 64.12 | 1.01 | 0.59 |
| Lim 3.75/ Butil 0.5/ LES 0.5 | 3 | 34.903 | 0.280 | 0.16 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 48.08 | 2 | 0.000 |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-----------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| Lim 7 / Butil 0.5/ LES 2.25 | 3 | 39.358 | 0.701 | 0.40 |
| Lim 7 / Butil 4/ LES 2.25 | 3 | 62.72 | 1.53 | 0.89 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -24.00 | 2 | 0.002 |

Método

μ_1 : media de Lim 0.5 / Butil 0.5/ LES 2.25

μ_2 : media de Lim 0.5/ Butil 4/ LES 2.25

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| -18.152 | (-21.321, -14.983) |

Método

μ_1 : media de Lim 3.75/ Butil 4/ LES 4

μ_2 : media de Lim 3.75/ Butil 0.5/ LES 4

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| 3.533 | (1.169, 5.898) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Lim 0.5 / Butil 0.5/ LES 2.25 | 3 | 39.42 | 1.06 | 0.61 |
| Lim 0.5/ Butil 4/ LES 2.25 | 3 | 57.57 | 1.36 | 0.79 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -18.23 | 3 | 0.000 |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|----------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| Lim 3.75/ Butil 4/ LES 4 | 3 | 53.200 | 0.660 | 0.38 |
| Lim 3.75/ Butil 0.5/ LES 4 | 3 | 49.67 | 1.10 | 0.64 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 4.76 | 3 | 0.018 |

Aplicado a las parejas de tratamientos 2-5, 6-3, 13-8 y 9-10

- Prueba T aplicada a cada pareja de tratamientos en las que se mantiene constante la concentración de Butilglicol y LES, se varía el varía el Limoneno entre 0.5 %p/v y 7 %p/v.

Método

μ_1 : media de Lim 0.5/ Butil 0.5/ LES 2.25

μ_2 : media de Lim 7/ Butil 0.5/ LES 2.25

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------|
| 0.062 | (-2.272, 2.396) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| Lim 0.5/ Butil 0.5/ LES 2.25 | 3 | 39.42 | 1.06 | 0.61 |
| Lim 7/ Butil 0.5/ LES 2.25 | 3 | 39.358 | 0.701 | 0.40 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 0.08 | 3 | 0.938 |

Método

μ_1 : media de Lim 7/ Butil 2.25/ LES 4

μ_2 : media de Lim 0.5/ Butil 2.25/ LES 4

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 9.073 | (7.227, 10.920) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|----------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| Lim 7/ Butil 2.25/ LES 4 | 3 | 56.056 | 0.629 | 0.36 |
| Lim 0.5/ Butil 2.25/ LES 4 | 3 | 46.983 | 0.784 | 0.45 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 15.64 | 3 | 0.001 |

Método

μ_1 : media de Lim 7/ Butil 2.25/ LES 0.5

μ_2 : media de Lim 0.5/ Butil 2.25/ LES 0.5

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| -0.76 | (-4.31, 2.78) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Lim 7/ Butil 2.25/ LES 0.5 | 3 | 39.54 | 1.03 | 0.59 |
| Lim 0.5/ Butil 2.25/ LES 0.5 | 3 | 40.31 | 1.63 | 0.94 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -0.68 | 3 | 0.543 |

Método

μ_1 : media de Lim 0.5/ Butil 4/ LES 2.25)

μ_2 : media de Lim 7/ Butil 4/ LES 2.25

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| -5.15 | (-8.92, -1.38) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|------------------------------|---|-------|-----------|----------------------------|
| Lim 0.5/ Butil 4/ LES 2.25) | 3 | 57.57 | 1.36 | 0.79 |
| Lim 7/ Butil 4/ LES 2.25 | 3 | 62.72 | 1.53 | 0.89 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -4.35 | 3 | 0.022 |

Aplicado a las parejas de tratamientos 1-7, 8-3, 4-12 y 13-6

- Prueba T aplicada a cada pareja de tratamientos en las que se mantiene constante la concentración de Butilglicol y Limoneno y se varía el LES entre 0.5 %v/v y 4 %v/v.

Método

μ_1 : media de Lim 3.75 / Butil 4/ LES 0.5

μ_2 : media de Lim 3.75 / Butil 4/ LES 4

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 10.916 | (8.692, 13.140) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-----------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| Lim 3.75 / Butil 4/ LES 0.5 | 3 | 64.12 | 1.01 | 0.59 |
| Lim 3.75 / Butil 4/ LES 4 | 3 | 53.200 | 0.660 | 0.38 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 15.62 | 3 | 0.001 |

Método

μ_1 : media de Lim 7 / Butil 2.25/ LES 4

μ_2 : media de Lim 7 / Butil 2.25/ LES 0.5

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|---------------------------------|
| 16.511 | (14.294, 18.729) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-----------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| Lim 7 / Butil 2.25/ LES 4 | 3 | 56.056 | 0.629 | 0.36 |
| Lim 7 / Butil 2.25/ LES 0.5 | 3 | 39.54 | 1.03 | 0.59 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 23.70 | 3 | 0.000 |

Método

μ_1 : media de Lim 3.75 / Butil 0.5/ LES 0.5

μ_2 : media de Lim 3.75 / Butil 0.5/ LES 4

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|---------------------------------|
| -14.764 | (-17.594, -11.933) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| Lim 3.75 / Butil 0.5/ LES 0.5 | 3 | 34.903 | 0.280 | 0.16 |
| Lim 3.75 / Butil 0.5/ LES 4 | 3 | 49.67 | 1.10 | 0.64 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| -22.44 | 2 | 0.002 |

Método

μ_1 : media de Lim 0.5 / Butil 2.25/ LES 4

μ_2 : media de Lim 0.5 / Butil 2.25/ LES 0.5

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estimación de la diferencia

| Diferencia | IC de 95% para la diferencia |
|------------|------------------------------------|
| 6.67 | (2.17, 11.18) |

Estadísticas descriptivas

| Muestra | N | Media | Desv.Est. | Error estándar de la media |
|-------------------------------|---|--------|-----------|----------------------------|
| Lim 0.5 / Butil 2.25/ LES 4 | 3 | 46.983 | 0.784 | 0.45 |
| Lim 0.5 / Butil 2.25/ LES 0.5 | 3 | 40.31 | 1.63 | 0.94 |

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

| Valor T | GL | Valor p |
|---------|----|---------|
| 6.38 | 2 | 0.024 |

ANEXO M. Gráficas pruebas de normalidad

Figura 41. Gráfica de normalidad de los residuales del desengrasante básico

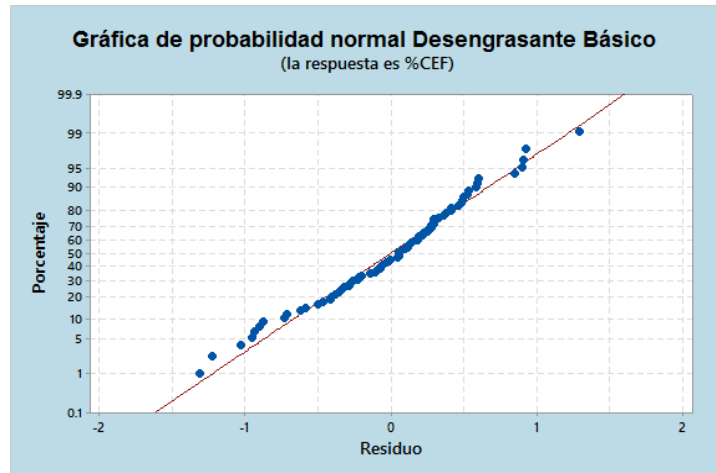


Figura 42. Gráfica de normalidad de los residuales del desengrasante neutro

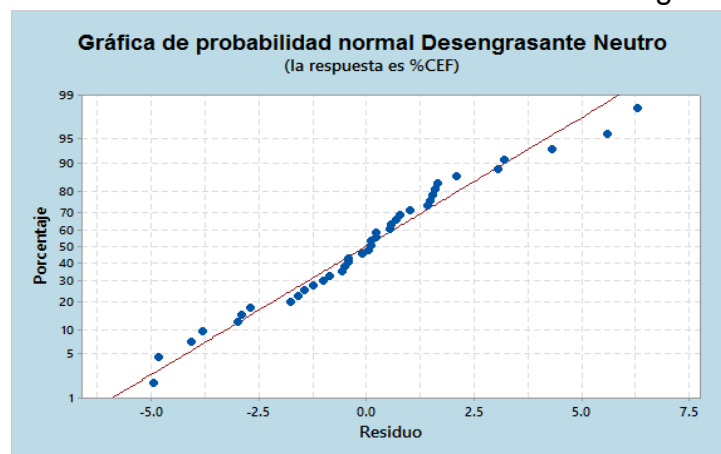
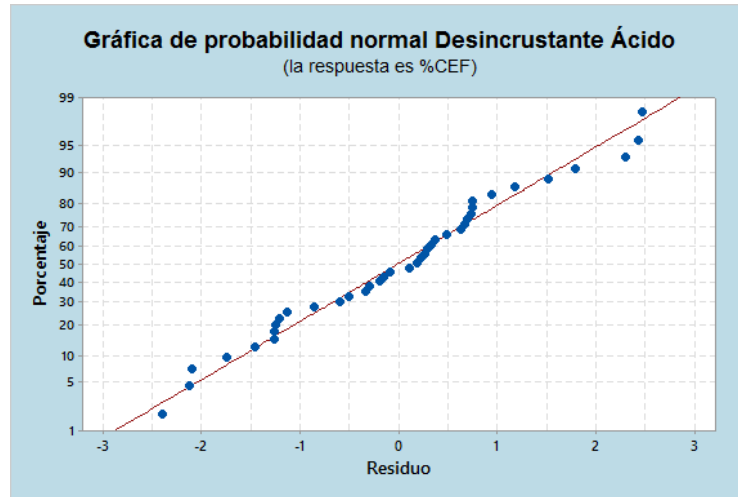


Figura 43. Gráfica de normalidad de los residuales del desincrustante ácido



ANEXO N. Resultados del ANOVA

Tabla 14. Resultado ANOVA para desengrasante básico

Análisis de Varianza

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|-----------------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo | 14 | 150.852 | 10.7751 | 43.93 | 0.000 |
| Lineal | 4 | 128.459 | 32.1148 | 130.93 | 0.000 |
| Soda Caústica | 1 | 93.255 | 93.2551 | 380.19 | 0.000 |
| Tween 80 | 1 | 5.420 | 5.4203 | 22.10 | 0.000 |
| Ecosurf | 1 | 6.661 | 6.6614 | 27.16 | 0.000 |
| Metasilicato | 1 | 23.122 | 23.1225 | 94.27 | 0.000 |
| Cuadrado | 4 | 5.503 | 1.3756 | 5.61 | 0.001 |
| Soda Caústica*Soda Caústica | 1 | 2.910 | 2.9101 | 11.86 | 0.001 |
| Tween 80*Tween 80 | 1 | 3.078 | 3.0777 | 12.55 | 0.001 |
| Ecosurf*Ecosurf | 1 | 1.170 | 1.1696 | 4.77 | 0.033 |
| Metasilicato*Metasilicato | 1 | 4.665 | 4.6654 | 19.02 | 0.000 |
| Interacción de 2 factores | 6 | 16.890 | 2.8150 | 11.48 | 0.000 |
| Soda Caústica*Tween 80 | 1 | 2.094 | 2.0942 | 8.54 | 0.005 |
| Soda Caústica*Ecosurf | 1 | 7.700 | 7.6998 | 31.39 | 0.000 |
| Soda Caústica*Metasilicato | 1 | 0.556 | 0.5558 | 2.27 | 0.138 |
| Tween 80*Ecosurf | 1 | 4.611 | 4.6111 | 18.80 | 0.000 |
| Tween 80*Metasilicato | 1 | 1.772 | 1.7717 | 7.22 | 0.009 |
| Ecosurf*Metasilicato | 1 | 0.157 | 0.1575 | 0.64 | 0.426 |

Tabla 15. Resultado ANOVA para desincrustante ácido

Análisis de Varianza

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|---------------------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo | 9 | 3008.21 | 334.25 | 184.59 | 0.000 |
| Lineal | 3 | 2954.43 | 984.81 | 543.88 | 0.000 |
| Tween 20 | 1 | 17.69 | 17.69 | 9.77 | 0.004 |
| Ácido oxálico | 1 | 2435.98 | 2435.98 | 1345.33 | 0.000 |
| Ácido glicólico | 1 | 500.76 | 500.76 | 276.56 | 0.000 |
| Cuadrado | 3 | 32.52 | 10.84 | 5.99 | 0.003 |
| Tween 20*Tween 20 | 1 | 0.24 | 0.24 | 0.13 | 0.720 |
| Ácido oxálico*Ácido oxálico | 1 | 27.35 | 27.35 | 15.11 | 0.001 |
| Ácido glicólico*Ácido glicólico | 1 | 0.48 | 0.48 | 0.27 | 0.609 |
| Interacción de 2 factores | 3 | 21.26 | 7.09 | 3.91 | 0.018 |
| Tween 20*Ácido oxálico | 1 | 7.99 | 7.99 | 4.41 | 0.045 |
| Tween 20*Ácido glicólico | 1 | 8.70 | 8.70 | 4.80 | 0.037 |
| Ácido oxálico*Ácido glicólico | 1 | 4.58 | 4.58 | 2.53 | 0.123 |
| Error | 29 | 52.51 | 1.81 | | |
| Falta de ajuste | 3 | 29.89 | 9.96 | 11.45 | 0.000 |
| Error puro | 26 | 22.62 | 0.87 | | |
| Total | 38 | 3060.72 | | | |

Tabla 16. Resultado ANOVA para desengrasante neutro**Análisis de Varianza**

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|---------------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo | 9 | 2982.35 | 331.37 | 39.45 | 0.000 |
| Lineal | 3 | 2020.37 | 673.46 | 80.18 | 0.000 |
| Limoneno | 1 | 0.24 | 0.24 | 0.03 | 0.866 |
| Butilglicol | 1 | 1972.97 | 1972.97 | 234.90 | 0.000 |
| LES | 1 | 47.16 | 47.16 | 5.61 | 0.025 |
| Cuadrado | 3 | 109.80 | 36.60 | 4.36 | 0.012 |
| Limoneno*Limoneno | 1 | 51.37 | 51.37 | 6.12 | 0.020 |
| Butilglicol*Butilglicol | 1 | 85.48 | 85.48 | 10.18 | 0.003 |
| LES*LES | 1 | 62.05 | 62.05 | 7.39 | 0.011 |
| Interacción de 2 factores | 3 | 852.18 | 284.06 | 33.82 | 0.000 |
| Limoneno*Butilglicol | 1 | 36.13 | 36.13 | 4.30 | 0.047 |
| Limoneno*LES | 1 | 321.47 | 321.47 | 38.27 | 0.000 |
| Butilglicol*LES | 1 | 494.58 | 494.58 | 58.88 | 0.000 |
| Error | 29 | 243.58 | 8.40 | | |
| Falta de ajuste | 3 | 36.37 | 12.12 | 1.52 | 0.233 |
| Error puro | 26 | 207.21 | 7.97 | | |
| Total | 38 | 3225.93 | | | |

ANEXO O. Fotografías obtenidas usando producto comercial del ácido
obtenidas – producto comercial

Antes



Después



ANEXO P. Manual y ficha técnica de los formulados

1. MANUAL DESINCRUSTANTE ÁCIDO

Referencia : DESINCRUSTANTE ÁCIDO

1. Descripción del producto. El DESINCRUSTANTE ÁCIDO es un producto líquido de pH ácido que tiene como objetivo remover el óxido y cemento presentes en las superficies metálicas, equipos y herramientas industriales.

1.2 Usos del Producto. El DESINCRUSTANTE ÁCIDO cumple una función de limpieza enfocado a:

- Limpieza de óxido de superficies metálicas de equipos, herramientas, tubería, etc...
- Limpieza de suciedad de la obra (cemento)
- Limpieza de incrustaciones formados en tubos de caldera por calcio y magnesio.
- En el sector de los alimentos para el lavado de la piedra de leche producido en la ingeniería lechera

1.3 Indicaciones de uso del producto.

Para el lavado de equipos y demás agregue una cantidad moderada a la superficie que se va a lavar, frote enérgicamente y enjuague con agua.

Si la superficie o el utensilio presenta suciedad difícil de remover, aplique el DESINCRUSTANTE ÁCIDO, deje actuar por unos minutos, frote enérgicamente y enjuague con agua.

Nota: ver ficha técnica del DESINCRUSTANTE ÁCIDO.

1.4 Efectos adversos para la salud

La exposición al DESINCRUSTANTE ÁCIDO puede afectar la salud con efectos como:

- Causa irritación de las membranas mucosas.
- Nocivo, puede ser dañino en bajo grado si se ingiere, puede causar sensación de quemazón y dolor abdominal.
- La exposición a cantidades moderadas no causa efectos adversos en la piel. El contacto prolongado puede causar dolor con enrojecimiento de la piel.
- El contacto ocular puede causar enrojecimiento y daño del tejido.

Si presenta alguno de estos síntomas debe comunicarlo inmediatamente para su atención inmediata.

Nota: ver Ficha de datos de Seguridad del DESINCRUSTANTE ÁCIDO

1.5 Características fisicoquímicas y organolépticas del producto

| ANÁLISIS | ESPECIFICACIONES | TÉCNICA |
|-----------------|-------------------------------|----------------|
| Aspecto y color | Líquido ligeramente amarillo. | Organoléptica |

| | | |
|---------------------|------------------------------|---------------------|
| Olor | Olor suave de azúcar quemado | Organoléptica |
| Gravedad específica | 0,95 – 1,05 | Gravimétrica |
| Turbidez | < 10% | Espectrofotométrica |
| Viscosidad | 5,5 – 10,5 Poise | Viscosimétrica |
| pH (20° C) | 1-1.2 | Potenciométrica |

1.6 Características microbiológicas del producto

| PARÁMETRO | ESPECIFICACIONES | TÉCNICA |
|--------------------------------------|------------------|----------------|
| Recuento total de mesófilos | Max 100 ufc/mL | Placa profunda |
| Recuento total de hongos y levaduras | Max 10 ufc/mL | Placa profunda |

1.7 Composición

| MATERIA PRIMA | % PARTICIPACIÓN |
|-----------------|-----------------|
| Ácido glicólico | 10 %v/v |
| Ácido oxálico | 2 %p/v |
| Tween 20 | 3 %p/v |
| Dequest 2010 | 0.05 %v/v |
| Etanol | 1 %v/v |

1.8 Equipo de fabricación

- Sistema de agitación
- Tanque de mezclado

1.9 Procedimiento de fabricación

2. Agregar el Tween 20 y el Etanol al tanque de mezclado y agitar
3. Agregar el 80% de agua en el tanque de mezclado hasta homogenización de la mezcla.
4. Depositar el ácido oxálico y agitar hasta disolver completamente.
5. Agregar el ácido glicólico al tanque de mezcla y agitar hasta homogenización.
6. Agregar el Dequest 2010 y agitar.
7. Dejar reposar la mezcla mínimo 1 hora hasta disminuir el volumen de las burbujas. Aforar con agua hasta completar el volumen total. Agitar hasta homogenizar el producto.

FICHA TÉCNICA DESINCRUSTANTE ÁCIDO

Sección 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO QUÍMICO Y DE LA EMPRESA

| | |
|-------------------------------|---|
| NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO | DESINCRUSTANTE ÁCIDO |
| SINONIMOS | Detergente ácido industrial |
| FABRICANTE | ZUMO TECNOLOGIA ZUMOTEC S.A. CALLE 6 N°13-65 BOD 1 Bucaramanga. Teléfono: 6717887 gerencia@zumotec.com |

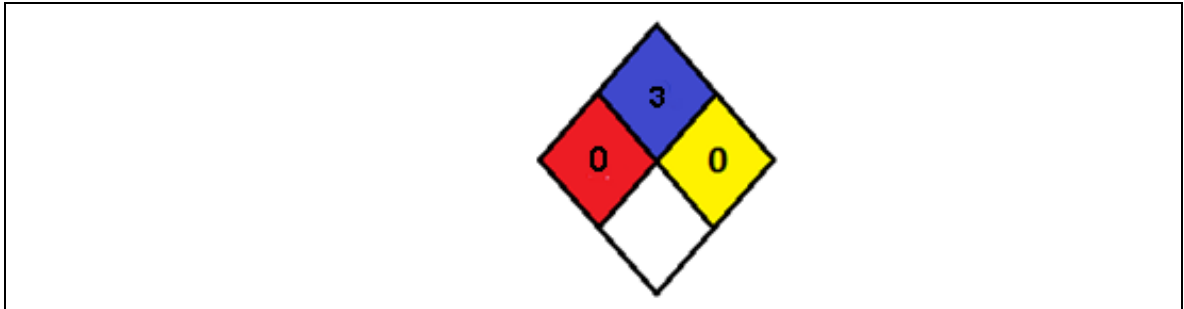
| | |
|---|--|
| EMPRESA QUE DESARROLLO LA HOJA DE SEGURIDAD | ZUMO TECNOLOGIA ZUMOTEC S.A. Se utilizaron bases de datos para complementar la información. |
| ORGANISMOS DE ATENCION DE EMERGENCIAS | BOMBEROS: Bucaramanga 123,(7)6336995, Medellín 123, Bogotá (1)3602896, 3602861, Cali (2)8895964, |

Sección 2: COMPOSICIÓN, INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

| | |
|------------------|---|
| USOS | <p>El DESINCRUSTANTE ÁCIDO cumple una función de limpieza enfocado a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de óxido de superficies metálicas de equipos, herramientas, tubería, etc... • Limpieza de suciedad de la obra (cemento) • Limpieza de incrustaciones formados en tubos de caldera por calcio y magnesio. • En el sector de los alimentos para el lavado de la piedra de leche producido en la ingeniería lechera |
| PRINCIPIO ACTIVO | Ácido glicólico y oxálico |
| OTROS | <ul style="list-style-type: none"> • Surfactante (Tween 20) • Secuestrante (Dequest 2010) • Alcohol |

Sección 3: IDENTIFICACION DE PELIGROS

IDENTIFICACION DE RIESGOS MATERIALES SEGÚN NCH 1411 (HMTS RATING)



EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD

| EXPOSICION | SINTOMAS |
|-------------------|--|
| INHALACIÓN | Causa irritación de las membranas mucosas |
| INGESTIÓN | Nocivo, puede ser dañino en bajo grado si se ingiere, puede causar sensación de quemazón y dolor abdominal. |
| PIEL | La exposición a cantidades moderadas no causa efectos adversos en la piel. El contacto prolongado puede causar dolor con enrojecimiento de la piel |
| OJOS | El contacto ocular puede causar enrojecimiento y daño del tejido. |

Sección 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS.

| EXPOSICION | PRIMEROS AUXILIOS |
|-------------------|--|
| INHALACIÓN | Trasladar a la víctima al aire fresco. Limpie su nariz hasta eliminar completamente residuos del producto. Si los síntomas persisten consulte a su médico. |

| | |
|-----------|--|
| PIEL | Retirar la ropa y calzado. Lavar la zona con abundante agua y jabón. |
| OJOS | Lavar con abundante agua mínimo durante 15 minutos girando el globo ocular, abriendo y cerrando los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica. |
| INGESTIÓN | Lavar la boca con agua. Suministrar abundante agua. No inducir el vómito. Buscar atención médica. |

Nota para los médicos: El tratamiento para el paciente debe ser según los síntomas presentados.

Sección 5: MEDIDAS PARA EXTINCIÓN DE INCENDIOS

| | |
|--------------------------------------|--|
| PELIGROS DE INCENDIO Y/O EXPLOSIÓN | No es inflamable. Esta solución no presenta peligro de explosión. |
| MEDIO DE EXTINCIÓN | En caso de incendio deben usarse extintores de acuerdo al material inflamado. |
| EQUIPO DE PROTECCIÓN | El personal debe utilizar aparato de respiración autónomo contra humos y equipo de protección completo. |
| INSTRUCCIONES PARA COMBATIR EL FUEGO | Utilizar el equipo de protección personal. Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Utilizar cualquier medio apropiado para extinguir fuego de los alrededores. |

Sección 6: MEDIDAS PARA VERTIDO ACCIDENTAL

Evacuar o aislar el área. Usar equipo de protección personal. Recoger con un material absorbente y colocar en recipientes cerrados para eliminación. Ventilar el local y lavar el lugar donde se haya derramado el producto una vez retirado por completo.

Sección 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

| | |
|----------------|--|
| MANEJO | <ul style="list-style-type: none"> • No fumar ni beber en el sitio de trabajo. • Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar. • Mantener el producto bien tapado, en su envase original o en un envase adecuado para su uso. • No ingerir. |
| ALMACENAMIENTO | <ul style="list-style-type: none"> • Lugares ventilados, frescos y secos. • Rotular los recipientes adecuadamente, protegidos de la luz solar. • Almacenar lejos de productos tóxicos y cáusticos. |

Sección 8: CONTROLES DE EXPOSICION, PROTECCION PERSONAL

| | |
|-------------------------|---|
| CONTROLES DE INGENIERÍA | Ventilación local adecuada, duchas y estaciones lavaojos. |
| PROTECCIÓN RESPIRATORIA | No se espera que sea necesaria. |
| PROTECCIÓN DE PIEL | Usar ropa de laboratorio y guantes. |

| | |
|-----------------------------|---|
| PROTECCIÓN DE OJOS Y ROSTRO | Utilizar gafas protectoras contra productos químicos. |
|-----------------------------|---|

Sección 9: PROPIEDADES FISICOQUIMICAS

| | |
|----------------------------------|------------------------------|
| APARIENCIA Y ESTADO FISICO. | Líquido ligeramente amarillo |
| OLOR | Olor suave de azúcar quemado |
| DENSIDAD | Aprox 1.1 g/mL |
| PH | 1-1.2 |
| SOLUBILIDAD | Es soluble en agua |
| TEMPERATURA DE EBULLICION (°C) | No disponible |
| TEMPERATURA DE FUSION (°C) | No disponible |
| TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN (°C) | No inflamable |
| TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN (°C) | No Inflamable |
| LIMITES DE INFLAMABILIDAD (%V/V) | No Inflamable |

Sección 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

| | |
|----------------------|--|
| ESTABILIDAD | Estable en condiciones normales de uso y almacenamiento. |
| CONDICIONES A EVITAR | Contacto con materiales incompatibles. |

| | |
|--|---|
| INCOMPATIBILIDAD CON OTROS MATERIALES | Evitar el contacto con productos oxidantes fuertes, aldehídos, halógenos, ácidos orgánicos fuertes. |
| PRODUCTOS DE DESCOMPOSICION PELIGROSOS | Monóxido y Dióxido de Carbono. |

Sección 11: INFORMACION TOXICOLÓGICA

| | |
|----------------------------|---|
| SUSTANCIA CONSIDERADA COMO | Cancerígena: No Teratogénica: No Mutagénica: No |
|----------------------------|---|

Sección 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

El principio activo es perjudicial para la vida acuática solamente a altas concentraciones. Las concentraciones usadas en el producto no representan un riesgo de ecotoxicidad.

Sección 13: CONSIDERACIONES DE DISPOSICION

Diluir con abundante agua. No vierta altas concentraciones a fuentes de agua. Eliminar los desperdicios y residuos de conformidad con la normativa promulgada por las autoridades locales.

Sección 14: INFORMACION SOBRE EL TRANSPORTE

El producto no se considera tóxico o peligroso para el transporte.

Use solo unidades autorizadas para el transporte de materiales peligrosos que cumplan con la regulación y demás autoridades así como con las sugerencias hechas por el fabricante.

Sección 15: INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad se elaboró según la Norma Técnica Colombiana NTC 4435.

Sección 16: INFORMACION ADICIONAL

ZUMOTEC S.A. no se hace responsable por el mal uso del producto, cada usuario debe revisar estas recomendaciones de acuerdo con su aplicación específica.

2. MANUAL DESENGRASANTE BÁSICO

2.1 Descripción del producto. EL DESENGRASANTE BÁSICO es un detergente líquido de pH básico que tiene como objetivo eliminar y/o remover la grasa de origen animal, derivados del petróleo y la suciedad presente en los equipos, superficies y herramientas industriales.

2.2 Usos del Producto. EL DESENGRASANTE BÁSICO cumple una función de limpieza enfocado a:

- El lavado de superficies impregnadas con grasa.
- En el sector de los alimentos para el lavado de cocinas industriales, estufas, freidoras, hornos, etc
- Para la limpieza de engranajes, piezas de vehículos, tornos, fresadoras, y similares.

2.3 Indicaciones de uso del producto.

Para el lavado de equipos y demás agregue una cantidad moderada a la superficie que se va a lavar, frote energicamente y enjuague con abundante agua.

Si la superficie o el utensilio presenta grasa difícil de remover, aplique el DESENGRASANTE BÁSICO deje actuar por unos minutos, frote energicamente y enjuague con agua.

Nota: ver ficha técnica del DESENGRASANTE BÁSICO.

2.4 Efectos adversos para la salud

La exposición al DESENGRASANTE BÁSICO puede afectar la salud con efectos como:

- Puede causar irritación de las membranas mucosas.
- Ligeramente nocivo, puede ser dañino en bajo grado si se ingiere, puede causar malestar abdominal, vómito y diarrea.
- El contacto prolongado puede causar irritación con posible enrojecimiento de la piel o dermatitis.
- El contacto puede causar irritación con posibles quemaduras del tejido ocular, con enrojecimiento y lagrimeo.

Si presenta alguno de estos síntomas debe comunicarlo inmediatamente para su atención inmediata.

Nota: ver Ficha de datos de Seguridad del DESENGRASANTE BÁSICO.

2.5 Características fisicoquímicas y organolépticas del producto

| ANÁLISIS | ESPECIFICACIONES | TÉCNICA |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| Aspecto y color | Líquido translucido | Organoléptica |
| Olor | Inodoro | Organoléptica |
| Gravedad específica | 0,95 – 1,05 | Gravimétrica |
| Turbidez | < 10% | Espectrofotométrica |
| Viscosidad | 5,5 – 10,5 Poise | Viscosimétrica |
| pH (20° C) | 13.7 | Potenciométrica |

2.6 Características microbiológicas del producto

| PARÁMETRO | ESPECIFICACIONES | TÉCNICA |
|--------------------------------------|------------------|----------------|
| Recuento total de mesófilos | Max 100 ufc/mL | Placa profunda |
| Recuento total de hongos y levaduras | Max 10 ufc/mL | Placa profunda |

2.7 Composición

| MATERIA PRIMA | % PARTICIPACIÓN |
|---------------|-----------------|
| Agua | 94.5% |

| | |
|-----------------------|----------|
| Soda Caustica | 4% v/v |
| Metasilicato de sodio | 4% p/v |
| Polisorbato Tween 80 | 0.5% v/v |
| Alcohol | 0.5% v/v |
| Ecosurf | 0.5% v/v |

2.8 Equipo de fabricación

- Sistema de agitación
- Tanque de mezclado

2.9 Procedimiento de fabricación

8. Depositar el Tween 80, alcohol y Ecosurf, agitar hasta homogenizar la mezcla.
9. Agregar el 80% de agua en el tanque de mezclado agitar hasta homogenización total de la mezcla.
10. Agregar el metasilicato de sodio en un intervalo aproximado de 1 min hasta su disolución.
11. Agregar la soda caustica al tanque de mezcla y agitar hasta homogenización.
12. Dejar reposar la mezcla mínimo 1 hora hasta disminuir el volumen de las burbujas. Aforar con agua hasta completar el volumen total. Agitar hasta homogenizar el producto.

FICHA TÉCNICA DESENGRASANTE BÁSICO

Sección 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO QUÍMICO Y DE LA EMPRESA

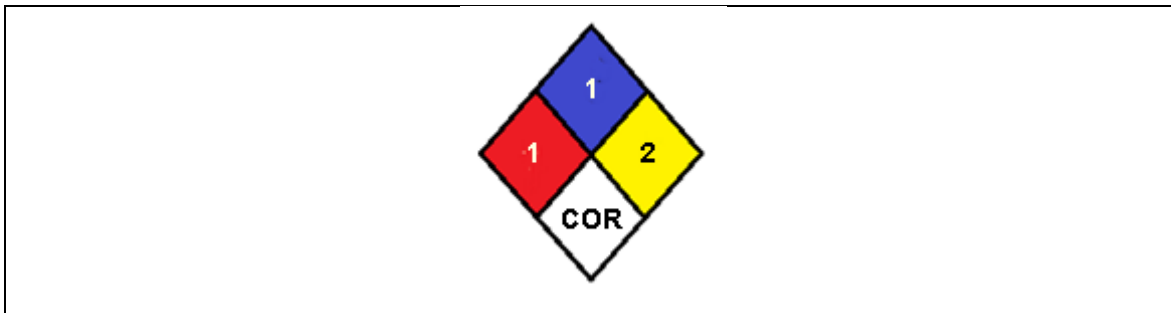
| | |
|---|---|
| NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO | DESENGRASANTE BÁSICO |
| SINONIMOS | Detergente básico industrial. |
| FABRICANTE | ZUMO TECNOLOGIA ZUMOTEC S.A. CALLE 6 N°13-65 BOD 1 Bucaramanga. Teléfono: 6717887 gerencia@zumotec.com |
| EMPRESA QUE DESARROLLO LA HOJA DE SEGURIDAD | ZUMO TECNOLOGIA ZUMOTEC S.A. Se utilizaron bases de datos para complementar la información. |
| ORGANISMOS DE ATENCION DE EMERGENCIAS | BOMBEROS: Bucaramanga 123,(7)6336995, Medellín 123, Bogotá (1)3602896, 3602861, Cali (2)8895964, |

Sección 2: COMPOSICIÓN, INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

| | |
|------------------|--|
| USOS | <p>El DETERGENTE LÍQUIDO cumple una función de limpieza enfocado a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El lavado de superficies impregnadas con grasa. • En el sector de los alimentos para el lavado de cocinas industriales, estufas, freidoras, hornos, etc • Para la limpieza de engranajes, piezas de vehículos, tornos, fresadoras, y similares. |
| PRINCIPIO ACTIVO | Soda caustica |
| OTROS | <ul style="list-style-type: none"> • Secuestrante • Surfactantes |

Sección 3: IDENTIFICACION DE PELIGROS

IDENTIFICACION DE RIESGOS MATERIALES SEGÚN NCH 1411 (HMTS RATING)



EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD

| EXPOSICION | SINTOMAS |
|------------|---|
| INHALACIÓN | Puede causar irritación de las membranas mucosas. |
| INGESTIÓN | Ligeramente nocivo, puede ser dañino en bajo grado si se ingiere, puede causar malestar abdominal, vómito y diarrea |
| PIEL | El contacto prolongado puede causar irritación con posible enrojecimiento de la piel o dermatitis. |
| OJOS | El contacto puede causar irritación con posibles quemaduras del tejido ocular, con enrojecimiento y lagrimeo. |

Sección 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS.

| EXPOSICION | PRIMEROS AUXILIOS |
|------------|-------------------|
|------------|-------------------|

| | |
|------------|--|
| INHALACIÓN | Trasladar a la víctima al aire libre. Limpie su nariz hasta eliminar completamente residuos del producto. Si los síntomas persisten consulte a su médico. |
| PIEL | Retirar la ropa y calzado. Lavar la zona con abundante agua y jabón. Evitar contactos dérmicos prolongados. |
| OJOS | Lavar con abundante agua mínimo durante 15 minutos girando el globo ocular, abriendo y cerrando los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica. |
| INGESTIÓN | Lavar la boca con agua. Suministrar abundante agua. No inducir el vómito. Buscar atención médica. |

Nota para los médicos: El tratamiento para el paciente debe ser según los síntomas presentados.

Sección 5: MEDIDAS PARA EXTINCIÓN DE INCENDIOS

| | |
|--------------------------------------|--|
| PELIGROS DE INCENDIO Y/O EXPLOSIÓN | No es inflamable. Esta solución no presenta peligro de explosión. |
| MEDIO DE EXTINCIÓN | En caso de incendio deben usarse extintores de acuerdo al material inflamado. |
| EQUIPO DE PROTECCIÓN | El personal debe utilizar aparato de respiración autónomo contra humos y equipo de protección completo. |
| INSTRUCCIONES PARA COMBATIR EL FUEGO | Utilizar el equipo de protección personal. Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Utilizar cualquier medio apropiado para extinguir fuego de los alrededores. |

Sección 6: MEDIDAS PARA VERTIDO ACCIDENTAL

Evacuar o aislar el área. Usar equipo de protección personal. Recoger con un material absorbente (arena o vermiculita) y colocar en recipientes cerrados para eliminación. Ventilar el local y lavar el lugar donde se haya derramado el producto una vez retirado por completo.

Sección 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

| | |
|----------------|---|
| MANEJO | <ul style="list-style-type: none">• No fumar ni beber en el sitio de trabajo.• Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar.• Mantener el producto bien tapado, en su envase original o en un envase adecuado para su uso.• No ingerir. |
| ALMACENAMIENTO | <ul style="list-style-type: none">• Lugares ventilados, frescos y secos.• Rotular los recipientes adecuadamente, protegidos de la luz solar.• No envasar el producto en recipientes de aluminio, cobre o hierro galvanizado. |

Sección 8: CONTROLES DE EXPOSICION, PROTECCION PERSONAL

| | |
|-------------------------|---|
| CONTROLES DE INGENIERÍA | Ventilación local adecuada, duchas y estaciones lavaojos. |
| PROTECCIÓN RESPIRATORIA | No se espera que sea necesaria. |

| | |
|-----------------------------|---|
| PROTECCIÓN DE PIEL | Usar ropa de laboratorio y guantes. |
| PROTECCIÓN DE OJOS Y ROSTRO | Utilizar gafas protectoras contra productos químicos. |

Sección 9: PROPIEDADES FISICOQUIMICAS

| | |
|----------------------------------|----------------------|
| APARIENCIA Y ESTADO FISICO. | Líquido translúcido. |
| OLOR | Característico |
| DENSIDAD | Aprox 1.1 g/mL |
| PH | 12-14 |
| SOLUBILIDAD | Es soluble en agua |
| TEMPERATURA DE EBULLICION (°C) | No disponible |
| TEMPERATURA DE FUSION (°C) | No disponible |
| TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN (°C) | No Inflamable |
| TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN (°C) | No Inflamable |
| LIMITES DE INFLAMABILIDAD (%V/V) | No Inflamable |

Sección 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

| | |
|-------------|--|
| ESTABILIDAD | Estable en condiciones normales de uso y almacenamiento. |
|-------------|--|

| | |
|--|---|
| CONDICIONES A EVITAR | Contacto con materiales incompatibles. |
| INCOMPATIBILIDAD CON OTROS MATERIALES | Evitar el contacto con productos oxidantes fuertes, aldehídos, halógenos, ácidos orgánicos fuertes. |
| PRODUCTOS DE DESCOMPOSICION PELIGROSOS | Monóxido de carbono , Dioxido de carbono |

Sección 11: INFORMACION TOXICOLÓGICA

| | |
|----------------------------|---|
| SUSTANCIA CONSIDERADA COMO | Cancerígena: No Teratogénica: No Mutagénica: No |
|----------------------------|---|

Sección 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

El principio activo es perjudicial para la vida acuática solamente a altas concentraciones. Las concentraciones usadas en el producto no representan un riesgo de ecotoxicidad.

Sección 13: CONSIDERACIONES DE DISPOSICION

Diluir con abundante agua. No vierta altas concentraciones a fuentes de agua. Eliminar los desperdicios y residuos de conformidad con la normativa promulgada por las autoridades locales.

Sección 14: INFORMACION SOBRE EL TRANSPORTE

El producto no se considera tóxico o peligroso para el transporte.
Use solo unidades autorizadas para el transporte de materiales peligrosos que cumplan con la regulación y demás autoridades así como con las sugerencias hechas por el fabricante.

Sección 15: INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad se elaboró según la Norma Técnica Colombiana NTC 4435.

Sección 16: INFORMACION ADICIONAL

ZUMOTEC S.A. no se hace responsable por el mal uso del producto, cada usuario debe revisar estas recomendaciones de acuerdo con su aplicación específica.

MANUAL DESENGRASANTE NEUTRO

3. MANUAL DE PRODUCTOS

***Referencia* : DESENGRASANTE NEUTRO**

3.1 Descripción del producto. EL DESENGRASANTE NEUTRO es un detergente líquido de pH neutro que tiene como objetivo eliminar y/o remover la grasa de origen vegetal y todo tipo de suciedad adherida a superficies.

3.2 Usos del Producto. EL DESENGRASANTE BÁSICO cumple una función de limpieza enfocado a:

- El lavado de áreas afectadas con grasa.
- En el sector de los alimentos (restaurantes y afines) para el lavado de utensilios de cocina como platos, ollas, estufas, hornos, etc
- Limpieza de suciedad producto de la exposición al ambiente.

3.3 Indicaciones de uso del producto.

Para la limpieza de superficie y demás aplique una cantidad necesaria a la superficie que se va a limpiar y pase un paño húmedo.

Si la superficie o el utensilio presenta grasa difícil de remover, aplique el DESENGRASANTE NEUTRO deje actuar por unos minutos, frote y pase un paño húmedo.

Nota: ver ficha técnica del DESENGRASANTE NEUTRO.

3.4 Efectos adversos para la salud

La exposición al DESENGRASANTE NEUTRO puede afectar la salud con efectos como:

- Puede causar leve irritación de las membranas mucosas.
- Ligeramente nocivo, puede ser dañino en bajo grado si se ingiere, puede causar malestar abdominal, vómito y diarrea.
- No causa irritación al contacto con la piel
- El contacto puede causar leve irritación con posibles quemaduras del tejido ocular, con enrojecimiento y lagrimeo.

Si presenta alguno de estos síntomas debe comunicarlo inmediatamente para su atención inmediata.

3.5 Características fisicoquímicas y organolépticas del producto

| ANÁLISIS | ESPECIFICACIONES | TÉCNICA |
|---------------------|-------------------------|---------------------|
| Aspecto y color | Líquido traslucido | Organoléptica |
| Olor | Limón | Organoléptica |
| Gravedad específica | 0,95 – 1,05 | Gravimétrica |
| Turbidez | < 10% | Espectrofotométrica |
| Viscosidad | 5,5 – 10,5 Poise | Viscosimétrica |
| pH (20° C) | 7.03 | Potenciométrica |

3.6 Características microbiológicas del producto

| PARÁMETRO | ESPECIFICACIONES | TÉCNICA |
|--------------------------------------|-------------------------|----------------|
| Recuento total de mesófilos | Max 100 ufc/mL | Placa profunda |
| Recuento total de hongos y levaduras | Max 10 ufc/mL | Placa profunda |

3.7 Composición

| MATERIA PRIMA | % PARTICIPACIÓN |
|----------------------|------------------------|
| Agua | 93.5% |
| Limoneno | 0.5% v/v |
| Butilglicol | 4% p/v |
| Polisorbato Tween 80 | 1% v/v |
| Alcohol | 0.5% v/v |

| | |
|-----|----------|
| LES | 0.5% v/v |
|-----|----------|

3.8 Equipo de fabricación

- Sistema de agitación
- Tanque de mezclado

3.9 Procedimiento de fabricación

13. Depositar el Limoneno, etanol, butilglicol y tween 80. Agitar hasta homogenizar la mezcla.
14. Agregar la anterior mezcla a un tanque de mezclado que contiene la cantidad de agua necesaria.
15. Agregar el LES y agitar p hasta homogeneizar
16. Dejar reposar la mezcla mínimo 2 horas hasta disminuir el volumen de las burbujas. Aforar con agua hasta completar el volumen total. Agitar hasta homogenizar el producto.

Sección 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO QUÍMICO Y DE LA EMPRESA

| | |
|-------------------------------|---|
| NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO | DESENGRASANTE NEUTRO |
| SINONIMOS | Detergente Neutro industrial. |
| FABRICANTE | ZUMO TECNOLOGIA ZUMOTEC S.A. CALLE 6 N°13-65 BOD 1 Bucaramanga. Teléfono: 6717887 |

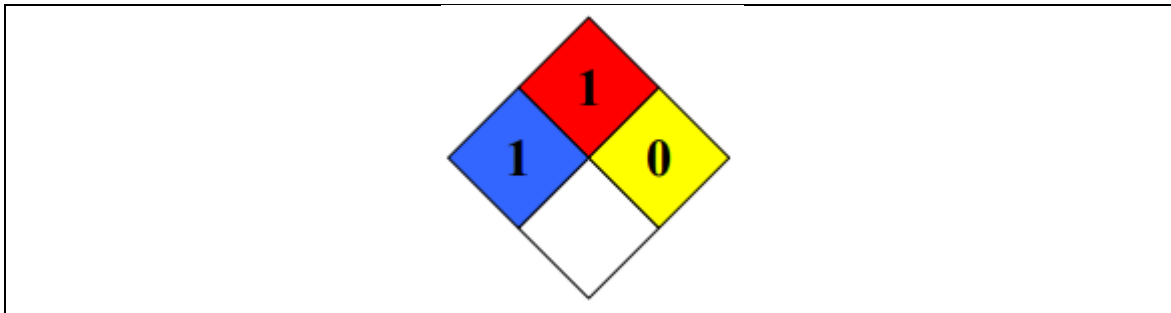
| | |
|---|--|
| | gerencia@zumotec.com |
| EMPRESA QUE DESARROLLO LA HOJA DE SEGURIDAD | ZUMO TECNOLOGIA ZUMOTEC S.A. Se utilizaron bases de datos para complementar la información. |
| ORGANISMOS DE ATENCION DE EMERGENCIAS | BOMBEROS: Bucaramanga 123,(7)6336995, Medellín 123, Bogotá (1)3602896, 3602861, Cali (2)8895964, |

Sección 2: COMPOSICIÓN, INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

| | |
|------------------|--|
| USOS | <p>El DETERGENTE LÍQUIDO cumple una función de limpieza enfocado a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El lavado de áreas afectadas con grasa. • En el sector de los alimentos (restaurantes y afines) para el lavado de utensilios de cocina como platos, ollas, estufas, hornos, etc • Limpieza de suciedad producto de la exposición al ambiente. |
| PRINCIPIO ACTIVO | Butilglicol |
| OTROS | <ul style="list-style-type: none"> • Solventes • Surfactantes |

Sección 3: IDENTIFICACION DE PELIGROS

IDENTIFICACION DE RIESGOS MATERIALES SEGÚN NCH 1411 (HMTS RATING)



EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD

| EXPOSICION | SINTOMAS |
|-------------------|--|
| INHALACIÓN | Puede causar leve irritación de las membranas mucosas |
| INGESTIÓN | Ligeramente nocivo, puede ser dañino en bajo grado si se ingiere, puede causar malestar abdominal, vómito y diarrea. |
| PIEL | No causa irritación al contacto con la piel |
| OJOS | El contacto puede causar leve irritación con posibles quemaduras del tejido ocular, con enrojecimiento y lagrimeo |

Sección 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS.

| EXPOSICION | PRIMEROS AUXILIOS |
|-------------------|---|
| INHALACIÓN | Trasladar a la víctima al aire libre. Limpie su nariz hasta eliminar completamente residuos del producto. Si los síntomas persisten consulte a su médico. |
| PIEL | Lavar con agua. |

| | |
|-----------|--|
| OJOS | Lavar con abundante agua mínimo durante 15 minutos girando el globo ocular, abriendo y cerrando los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica. |
| INGESTIÓN | Lavar la boca con agua. Suministrar abundante agua. No inducir el vómito. Buscar atención médica. |

Nota para los médicos: El tratamiento para el paciente debe ser según los síntomas presentados.

Sección 5: MEDIDAS PARA EXTINCIÓN DE INCENDIOS

| | |
|--------------------------------------|--|
| PELIGROS DE INCENDIO Y/O EXPLOSIÓN | No es inflamable. Esta solución no presenta peligro de explosión. |
| MEDIO DE EXTINCIÓN | En caso de incendio deben usarse extintores de acuerdo al material inflamado. |
| EQUIPO DE PROTECCIÓN | El personal debe utilizar aparato de respiración autónomo contra humos y equipo de protección completo. |
| INSTRUCCIONES PARA COMBATIR EL FUEGO | Utilizar el equipo de protección personal. Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Utilizar cualquier medio apropiado para extinguir fuego de los alrededores. |

Sección 6: MEDIDAS PARA VERTIDO ACCIDENTAL

Usar equipo de protección personal. Recoger con un material absorbente (arena o vermiculita) y colocar en recipientes cerrados para eliminación. Ventilar el local y lavar el lugar donde se haya derramado el producto una vez retirado por completo.

Sección 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

| | |
|----------------|--|
| MANEJO | <ul style="list-style-type: none"> • No fumar ni beber en el sitio de trabajo. • Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar. • Mantener el producto bien tapado, en su envase original o en un envase adecuado para su uso. • No ingerir. |
| ALMACENAMIENTO | <ul style="list-style-type: none"> • Lugares ventilados, frescos y secos. • Rotular los recipientes adecuadamente, protegidos de la luz solar. • No envasar el producto en recipientes de aluminio, cobre o hierro galvanizado. |

Sección 8: CONTROLES DE EXPOSICION, PROTECCION PERSONAL

| | |
|-------------------------|---|
| CONTROLES DE INGENIERÍA | Ventilación local adecuada, duchas y estaciones lavaojos. |
| PROTECCIÓN RESPIRATORIA | No se espera que sea necesaria. |
| PROTECCIÓN DE PIEL | Guantes. |

| | |
|-----------------------------|---|
| PROTECCIÓN DE OJOS Y ROSTRO | Utilizar gafas protectoras contra productos químicos. |
|-----------------------------|---|

Sección 9: PROPIEDADES FISICOQUIMICAS

| | |
|----------------------------------|----------------------|
| APARIENCIA Y ESTADO FISICO. | Líquido translúcido. |
| OLOR | Característico |
| DENSIDAD | Aprox 1.1 g/mL |
| PH | 7.03 |
| SOLUBILIDAD | Es soluble en agua |
| TEMPERATURA DE EBULLICION (°C) | No disponible |
| TEMPERATURA DE FUSION (°C) | No disponible |
| TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN (°C) | No Inflamable |
| TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN (°C) | No Inflamable |
| LIMITES DE INFLAMABILIDAD (%V/V) | No Inflamable |

Sección 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

| | |
|----------------------|--|
| ESTABILIDAD | Estable en condiciones normales de uso y almacenamiento. |
| CONDICIONES A EVITAR | Contacto con materiales incompatibles. |

| | |
|--|---|
| INCOMPATIBILIDAD CON OTROS MATERIALES | Evitar el contacto con productos oxidantes fuertes, aldehídos, halógenos, ácidos orgánicos fuertes. |
| PRODUCTOS DE DESCOMPOSICION PELIGROSOS | Monóxido de carbono , Dioxido de carbono |

Sección 11: INFORMACION TOXICOLÓGICA

| | |
|----------------------------|---|
| SUSTANCIA CONSIDERADA COMO | Cancerígena: No Teratogénica: No Mutagénica: No |
|----------------------------|---|

Sección 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

El principio activo es perjudicial para la vida acuática solamente a altas concentraciones. Las concentraciones usadas en el producto no representan un riesgo de ecotoxicidad.

Sección 13: CONSIDERACIONES DE DISPOSICION

Diluir con abundante agua. No vierta altas concentraciones a fuentes de agua. Eliminar los desperdicios y residuos de conformidad con la normativa promulgada por las autoridades locales.

Sección 14: INFORMACION SOBRE EL TRANSPORTE

El producto no se considera tóxico o peligroso para el transporte.

Use solo unidades autorizadas para el transporte de materiales peligrosos que cumplan con la regulación y demás autoridades así como con las sugerencias hechas por el fabricante.

Sección 15: INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad se elaboró según la Norma Técnica Colombiana NTC 4435.

Sección 16: INFORMACION ADICIONAL

ZUMOTEC S.A. no se hace responsable por el mal uso del producto, cada usuario debe revisar estas recomendaciones de acuerdo con su aplicación específica.