

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Producción de biodiésel a partir de
aceite usado en una planta portátil de 115 litros de capacidad

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional
presentado por
Diego Alejandro Robles Mijangos
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala,

2017

Producción de biodiésel a partir de
aceite usado en una planta portátil de 115 litros de capacidad

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Producción de biodiésel a partir de
aceite usado en una planta portátil de 115 litros de capacidad

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional
presentado por
Diego Alejandro Robles Mijangos
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala,

2017

Vo. Bo.

(f.) _____

MSc. Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

Tribunal Examinador

(f.) _____

MSc. Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

(f.) _____

Ing. Cristián Rossi Sosa

(f.) _____

Ing. Juan José Lira Prera

Fecha de aprobación: Guatemala 5 de diciembre de 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida en donde he aprendido varias lecciones que me servirán en un futuro para ser un gran profesional y, sobre todo, una mejor persona.

A mis padres, Oscar Robles y María Mijangos, quienes nunca dejaron de creer en mí a lo largo de toda mi vida estudiantil, siendo mi soporte incondicional tanto en casa como fuera de la misma, por los valores bajo los que me criaron y por ser un excelente ejemplo como personas. Los amo, son la razón principal por la que busco ser mejor cada día.

A mis hermanos y hermanas, especialmente a Flor, por toda la confianza y apoyo puestos en mí. Todos son un ejemplo de que con perseverancia nada es imposible.

A mi novia, por toda la comprensión y ayuda en los buenos y malos momentos vividos en estos años de carrera a los cuales sobrevivimos juntos. Te adoro.

A mi asesor, MSc. Ing. Gamaliel Zambrano, por su apoyo con su conocimiento y por la confianza puesta en mí a lo largo del desarrollo del presente trabajo de graduación.

Al Ing. Cristián Rossi, por su apoyo incondicional desde el primer año de la carrera. Su confianza en mí me permitió seguir creciendo como estudiante.

Al Departamento de Ingeniería Química, por estar siempre en los momentos necesarios para el desarrollo del trabajo de graduación, sin su ayuda y confianza no hubiera terminado a tiempo

A mis amigos, por todo el cariño, la confianza y el apoyo demostrado durante los cinco años de carrera. Por los buenos y malos momentos que valieron la pena para llegar a este punto de nuestras vidas.

ÍNDICE

	Página
LISTADO DE CUADROS	ix
LISTADO DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
A. GENERAL.....	3
B. ESPECÍFICOS	3
III. JUSTIFICACIÓN	5
IV. MARCO TEÓRICO.....	7
A. ¿QUÉ ES BIODIÉSEL?	7
B. PANORAMA HISTÓRICO DEL BIODIÉSEL:.....	9
C. PRODUCCIÓN DEL BIODIÉSEL.....	10
1. FUENTES DE BIODIÉSEL.....	10
2. QUÍMICA DEL ACEITE Y DEL BIODIÉSEL.....	11
D. COMBUSTIBLE ALTERNATIVO.....	12
E. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIODIÉSEL	13
F. ASTM	14
1. NÚMERO ÁCIDO.....	15
2. AGUA Y SEDIMENTOS.	16
3. VISCOSIDAD	16

G.	TRANSESTERIFICACIÓN	17
H.	SAPONIFICACIÓN	18
V.	ANTECEDENTES.....	19
VI.	METODOLOGÍA	26
A.	USO DE LA PLANTA DEMOSTRATIVA.	26
B.	USO DE LA PLANTA MÓVIL.....	28
C.	LAVADO DEL BIODIÉSEL.....	29
D.	SECADO DEL BIODIÉSEL.....	31
E.	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN	31
F.	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD	32
G.	DETERMINACIÓN DEL pH.....	33
H.	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ÁCIDO	34
I.	DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS	35
J.	DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA.....	37
VII.	RESULTADOS.....	38
VIII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	41
IX.	CONCLUSIONES	48
X.	RECOMENDACIONES	50
XI.	BIBLIOGRAFÍA	52
XII.	ANEXOS	55
A.	DIAGRAMA DEL PROCESO	55
B.	DATOS DE PLACA.....	55
C.	DATOS ORIGINALES.....	57
D.	DATOS CALCULADOS.....	68
E.	ECUACIONES	71
F.	CÁLCULOS DE MUESTRA	75
1.	PROPAGACIÓN DE ERROR Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	75
2.	NÚMERO ÁCIDO.....	76
3.	AGUA Y SEDIMENTOS	77
4.	VISCOSIDAD	77

5.	DENSIDAD	78
G.	FIGURAS DE LOS EQUIPOS, SISTEMAS Y PRODUCTOS OBTENIDOS EMPLEANDO LAS DOS PLANTAS	78
H.	MANUAL DE USO DE LA PLANTA DEMOSTRATIVA	83
1.	INFORMACIÓN DE SEGURIDAD.....	83
2.	TÉRMINOS BÁSICOS DEL BIODIÉSEL.....	84
3.	CONSEJOS PARA LA SELECCIÓN DEL ACEITE	86
4.	TITULACIÓN.	87
5.	PRUEBAS RECOMENDADAS AL BIODIÉSEL	88
6.	DIAGRAMA DEL EQUIPO.....	90
7.	METODOLOGÍA DE USO	91
8.	SOLUCIÓN DE PROBLEMAS.....	93
9.	PREGUNTAS FRECUENTES	94
10.	HOJAS DE SEGURIDAD	96
I.	GLOSARIO	146

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades del biodiésel con los métodos de prueba aprobados por la norma ASTM para todos los grados del combustible.....	12
Cuadro 2. Cajetín de la planta demostrativa de 18 L de capacidad del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.	23
Cuadro 3. Cajetín de los accesorios y partes correspondientes a la planta móvil de 115 gal de capacidad del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.	25
Cuadro 4. Velocidades de rotación requeridas para cumplir con una fuerza centrífuga relativa (rcf) de 800 dependiendo del diámetro de oscilación de la centrífuga.	36
Cuadro 5. Caracterización promedio del aceite utilizado como materia prima tanto en la planta demostrativa de 18 L como en la móvil de 435.3L (115 gal).	39
Cuadro 6. Porcentaje de conversión de aceite a biodiésel de la planta demostrativa de 18 L y de la móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad.....	39
Cuadro 7. Porcentaje de recuperación de metanol de la planta demostrativa de 18 L.	39
Cuadro 8. Resultado de las pruebas basadas en las normas ASTM D 6751-06 para el biodiésel obtenido de la planta demostrativa de 18 L y para la planta móvil de 435.3 L (115 gal).	39
Cuadro 9. Caracterización del biodiésel lavado y seco obtenido a partir de la planta demostrativa de 18 L y de la planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad.	40
Cuadro 10. Costos de producción de biodiésel y cantidad de lotes requeridos para la recuperación de la inversión de la planta demostrativa y móvil.	40
Cuadro 11. Cuadro comparativo de las plantas empleadas en la producción de biodiésel.	40
Cuadro 12. Datos de placa de los equipos empleados para la determinación de las distintas propiedades del aceite y del biodiésel, tanto lavado como sin lavar.	55
Cuadro 13. Datos de la cristalería utilizada para la determinación de las distintas propiedades del aceite y del biodiésel, tanto lavado como sin lavar.	57
Cuadro 14. Masas empleadas para la producción de biodiésel en la planta demostrativa de 18 L de capacidad.....	57
Cuadro 15. Masas obtenidas en la producción de biodiésel empleando la planta demostrativa de 18 L.	57
Cuadro 16. Masas empleadas para la producción de biodiésel en la planta móvil de 435.3 L (115 gal).	58
Cuadro 17. Masas obtenidas en la producción de biodiésel utilizando la planta móvil de 435.3 L (115 gal).	58

Cuadro 18. Datos originales obtenidos para la caracterización del aceite utilizado en la planta..... demostrativa y la planta móvil.	58
Cuadro 19. Volúmenes empleados en los lavados del biodiésel de la planta demostrativa de..... 18 L de capacidad.	59
Cuadro 20. Volúmenes de agua utilizados para el lavado del biodiésel producido en la planta móvil..... de 435.3 L (115 gal) de capacidad.	59
Cuadro 21. Valores del pH del biodiésel antes y después de realizar los lavados para la planta demostrativa.	59
Cuadro 22. Índices de refracción del biodiésel sin lavar y lavado de la planta demostrativa de 18 L de capacidad.	60
Cuadro 23. Índices de refracción del biodiésel lavado de la planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad.	60
Cuadro 24. Datos de pH obtenidos para el biodiésel sin lavar y lavado de la planta demostrativa de 18 L de capacidad.	61
Cuadro 25. pH del biodiésel lavado de la planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad.	61
Cuadro 26. Masas del picnómetro lleno con las muestras de biodiésel, lavado y sin lavar, para la determinación de la densidad en la planta demostrativa.	62
Cuadro 27. Masas del picnómetro lleno con las muestras de biodiésel lavado para la determinación de la densidad en la planta móvil.	62
Cuadro 28. Tiempos obtenidos para la determinación de la viscosidad del biodiésel lavado de la planta demostrativa.	63
Cuadro 29. Tiempos obtenidos para la determinación de la viscosidad del biodiésel lavado de la planta móvil.	63
Cuadro 30. Volúmenes empleados en la estandarización de la solución de hidróxido de potasio previo a cada análisis del número ácido del biodiésel lavado.	64
Cuadro 31. Masas de biodiésel y volúmenes de hidróxido de potasio empleados en la determinación del número ácido para los lotes de la planta demostrativa.	64
Cuadro 32. Masas de biodiésel y volúmenes de KOH empleados en la determinación del número ácido de los lotes de la planta móvil.	64
Cuadro 33. Datos obtenidos para la determinación del porcentaje de agua y sedimentos en el biodiésel lavado para la planta demostrativa.	65
Cuadro 34. Datos obtenidos para la determinación del porcentaje de agua y sedimentos en el biodiésel lavado para la planta móvil.	65

Cuadro 35. Cantidades promedio de las primas utilizadas en la planta demostrativa de 18 L con sus respectivos costos de venta.	66
Cuadro 36. Cantidades utilizadas de los servicios auxiliares de la planta demostrativa de 18 L de capacidad con sus respectivos costos.	66
Cuadro 37. Datos para la obtención del consumo eléctrico en la producción de biodiésel a partir de la planta demostrativa de 18 L.	66
Cuadro 38. Datos para la obtención del consumo eléctrico en la producción de biodiésel a partir de la planta móvil de 435.3 L (115 gal).	67
Cuadro 39. Costo de equipos de seguridad requeridos al emplear la planta demostrativa de producción de biodiésel de 18 L y la planta móvil de 435.3 L (115 gal).	67
Cuadro 40. Salario mínimo y prestaciones tomadas en cuenta para la determinación del costo de producción de biodiésel de la planta de 18 L de capacidad.	67
Cuadro 41. Datos obtenidos en la caracterización del aceite usado para la producción de biodiésel en la planta demostrativa y la móvil.	68
Cuadro 42. Conversiones del aceite a biodiésel, tanto lavado como sin lavar, de cada lote producido en la planta demostrativa de 18 L de capacidad.	68
Cuadro 43. Conversiones del aceite a biodiésel de cada lote producido en la planta móvil de 435.3 L (115 gal).	68
Cuadro 44. Porcentajes de recuperación del metanol y de pérdidas de la planta de 18 L de capacidad.	68
Cuadro 45. Porcentajes de pérdidas de la planta de 435.3 L (115 gal) de capacidad.	68
Cuadro 46. Densidades del biodiésel lavado y sin lavar de los diferentes lotes de la planta demostrativa.	69
Cuadro 47. Densidades del biodiésel lavado y sin lavar de los diferentes lotes de la planta móvil.	69
Cuadro 48. Números de acidez obtenidos para los distintos lotes producidos tanto en la planta demostrativa.	69
Cuadro 49. Números de acidez obtenidos para los distintos lotes producidos tanto en la planta móvil.	69
Cuadro 50. Viscosidades del biodiésel lavado a partir de la planta demostrativa.	70
Cuadro 51. Viscosidades del biodiésel lavado a partir de la planta móvil.	70
Cuadro 52. Energía necesaria para la fabricación de un lote de biodiésel en la planta demostrativa de 18 L de capacidad.	71
Cuadro 53. Energía necesaria para la fabricación de un lote de biodiésel planta móvil de 435.3 L (115 gal) capacidad.	71
Cuadro 54. Costo por mano de obra para la planta demostrativa y la planta móvil de producción de biodiésel.	71

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de las moléculas de glicerol y de un ácido graso libre.	7
Figura 2. Estructura de un triglicérido (unión entre la molécula de glicerol con tres ácidos grasos libres). ...	7
Figura 3. Reacción general de transesterificación de un triglicérido.	8
Figura 4. Mecanismo de transesterificación de un triglicérido en medio básico.	8
Figura 5. Conversión de los mono, di y triglicéridos con el paso del tiempo para la formación de ésteres..... de alquilo.....	17
Figura 6. Reacción de saponificación.	18
Figura 7. Esquema de la planta demostrativa RNE280 del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.....	22
Figura 8. Diagrama del equipo de la planta móvil Freedom Biofuelers LLC del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.	24
Figura 9. Balance de masa y energía de la planta demostrativa de 18 L de capacidad.	38
Figura 10. Balance de masa y energía de la planta móvil de 435.3 L (115 gal).	38
Figura 11. Diagrama de bloques del proceso de producción de biodiésel.	55
Figura 12. Diagrama de flujo para la elaboración de biodiésel a partir de aceite usado.	55
Figura 13. Inicio de la reacción entre el aceite usado y el metóxido de sodio en la planta demostrativa del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.....	78
Figura 14. Separación de la glicerina del tanque de reacción al tanque de almacenamiento de la planta..... demostrativa de 18 L del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG	79
Figura 15. Biodiésel sin lavar libre de glicerina obtenido en la planta demostrativa del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.	79
Figura 16. Separación del agua del biodiésel luego de la aspersion en el tanque de lavado del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.	80
Figura 17. Separación del agua del biodiésel luego de la aspersion en el tanque de lavado.	80
Figura 18. Reactor empleado para el secado del biodiésel producido en la planta demostrativa del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG posterior a los lavados realizados.....	80
Figura 19. Reactor empleado para el lavado y secado del biodiésel producido en la planta demostrativa posterior a las lavadas del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.....	81
Figura 20. Biodiésel lavado y seco obtenido a partir de la planta demostrativa de 18 L de capacidad.	81
Figura 21. Sistema empleado para la determinación del número ácido del biodiésel obtenido en la planta..... demostrativa y móvil.	81

Figura 22. Sistema empleado para la determinación de la viscosidad del biodiésel y aceite del
Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG. 82
Figura 23. Cambio de coloración en el agua de lavado de la planta móvil de 435.3 L (115 gal). 82

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo consistió en producir biodiésel empleando una planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad a partir de aceite vegetal usado como combustibles en vehículos con motor diésel. En la metodología se detallaron las cantidades de los reactivos a utilizar y el proceso para la utilización de la planta móvil de 435.3 L (115 gal) con el de la planta demostrativa de 18 L y de los análisis requeridos para el biodiésel obtenido. Se realizó la mezcla del aceite vegetal usado con metanol e hidróxido de sodio en la planta demostrativa y en la planta móvil, empleando sistemas de calentamiento y agitación para favorecer a la reacción y reduciendo el tiempo en el que ocurría la misma. Se detalla la duración de las distintas pruebas y análisis realizados al biodiésel obtenido en cada planta. Al biodiésel producido en ambas plantas se le hicieron pruebas para comprobar si cumplía o no con los estándares de agua y sedimentos por centrifugación, viscosidad cinemática y número de ácido establecidos por la norma internacional ASTM. Se determinó que la eficiencia de conversión de aceite en la planta móvil era de $80.57 \pm 1.44\%$ y en la demostrativa fue de $80.36 \pm 0.50\%$. El biodiésel producido en la planta demostrativa de 18 L cumple con los tres estándares de calidad de la norma ASTM evaluados, mientras que el de la planta móvil cumple únicamente con el número ácido y viscosidad, sin embargo, no cumple con el máximo permitido para agua y sedimentos. Por último, se realizó el manual de uso de la planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad al trabajo, a manera de que pudiese ser empleada por cualquier persona que cuente con las materias primas necesarias.

I. INTRODUCCIÓN

El biodiésel es un biocombustible líquido que se obtiene de la reacción de transesterificación de los aceites vegetales, grasas animales o aceites de cocina usados con alcohol en presencia de un catalizador (ácido o básico), de la cual resulta un compuesto capaz de emplearse en motores diésel sin modificación alguna a la estructura, y un subproducto conocido como glicerol o glicerina. Se presentan distintas ventajas al emplear el biodiésel como fuente principal de combustible ya que es un compuesto más amigable al medio ambiente, aprovecha un residuo (aceite usado) para la obtención de un producto más valioso y útil, y, por último, conlleva a una reducción de la cantidad de gases de efecto invernadero en comparación con los hidrocarburos derivados del petróleo siendo esta la ventaja más relevante.

El presente trabajo describe la producción de biodiésel a partir de aceite usado empleando la vía básica para la reacción. Se emplearon dos plantas, una demostrativa de 18 L y una móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad, con el fin de comparar el porcentaje de conversión de cada una con la planta piloto que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. También se realizó análisis de agua y sedimentos, número ácido y viscosidad al biodiésel producido para determinar si cumple o no con los estándares de calidad establecidos por la norma internacional ASTM.

La razón principal del trabajo es la elaboración de un producto que pueda hacer frente a los combustibles derivados del petróleo y otros, con la finalidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación de los suelos y aguas por la disposición del aceite, el cual es comúnmente desechado por las empresas o negocios de fritura. Es por esto por lo que se considera importante el desarrollo del manual de la planta móvil para que pueda ser utilizada por cualquier persona sin tener un conocimiento profundo sobre el tema, para posteriores capacitaciones y de esta manera generar un desarrollo económico para distintas personas, principalmente las de escasos recursos siempre que se cuente con las materias primas y servicios auxiliares requeridos.

Los resultados presentan los porcentajes de conversión del aceite a biodiésel, también el porcentaje de recuperación de metanol así como la caracterización tanto del biodiésel como del aceite que se utilizó en cada una de las plantas. También se toman en cuenta los resultados obtenidos para las pruebas de la ASTM, el costo de producción de 1 L de biodiésel en cada planta donde se toman en cuenta las materias primas, servicios auxiliares, equipo de seguridad y la mano de obra. Por último, se determinó, de acuerdo con el costo de producción y a un precio de venta determinado, la cantidad de lotes requeridos para la recuperación de la inversión de cada una de las plantas.

En el siguiente documento se detallan los objetivos del trabajo, la metodología empleada para la producción del biodiésel y de los análisis realizados, diagramas de los equipos, del proceso, datos originales y calculados. También se muestra los resultados experimentales del porcentaje de conversión, de recuperación de metanol, los valores obtenidos para los estándares de calidad, el costo de producción y la cantidad de lotes requeridos para la recuperación de la inversión. Se presenta también una sección de resultados, análisis y discusión de los mismos y los cálculos de muestra con los cuales se obtuvo los valores requeridos.

II. OBJETIVOS

A. GENERAL

Producir biodiésel con aceite vegetal usado de procesos de fabricación de alimentos, empleando una planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad para que pueda ser utilizado en vehículos con motor diésel.

B. ESPECÍFICOS

Realizar la caracterización del aceite vegetal usado, empleado como materia prima con la obtención de diferentes propiedades físicas (densidad, índice de refracción, porcentaje de humedad, pH y viscosidad cinemática) del mismo.

Producir biodiésel empleando una planta demostrativa de 18 L y una planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad para determinar el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos por la norma ASTM D 6751-06, para emplearlo en vehículos con motor diésel, con pruebas específicas a nivel laboratorio.

Determinar el porcentaje de conversión de aceite a biodiésel de la planta móvil de 435.3 L (115 gal) y compararla con la eficiencia de la planta demostrativa de 18 L y la planta piloto que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para determinar cuál es más eficiente.

Obtener la eficiencia de recuperación de metanol de la planta demostrativa de 18 L de capacidad midiendo la masa del alcohol condensado después de evaporarse del producto de la reacción para recuperar parte del metanol utilizado como materia prima.

Caracterizar el biodiésel producido en la planta demostrativa de 18 L y en la planta móvil de 435.3 L (115 gal) obteniendo distintas propiedades físicas (densidad, índice de refracción, porcentaje de agua y sedimentos, pH y viscosidad cinemática) para tener un registro de las mismas.

Determinar el costo de producción de biodiésel para la planta demostrativa de 18 L y para la planta móvil de 435.3 L (115 gal) tomando en cuenta la materia prima, el consumo energético y la mano de obra necesaria, para determinar si este combustible es competitivo respecto a los precios actuales de los combustibles comerciales.

Determinar la cantidad de lotes que se deben producir en la planta demostrativa y la planta móvil para la recuperación de la inversión inicial en las mismas de acuerdo con el costo de venta por litro del biodiésel.

Elaborar el manual de uso de la planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad, realizando distintas corridas en la misma, para ser utilizado en actividades del Departamento de Ingeniería Química e Ingeniería Química Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala.

III. JUSTIFICACIÓN

En el año 2014 se determinó que en Guatemala el 12.60% de los vehículos para transporte, tomando en cuenta automóviles, motocicletas, autobuses, camiones, entre otros, utilizaban combustible diésel según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y que el consumo promedio de este combustible en el año 2016 fue de 998,533.92 barriles (158,766,893.28 L) según el Ministerio de Energía y Minas, siendo este hidrocarburo el de mayor consumo en el país durante ese periodo. La importación de este combustible se puede reducir por la posible mezcla con biodiésel, obteniendo de esta forma un producto que puede generar un beneficio económico y ambiental para el país y para los habitantes. Las mezclas de biodiésel con diésel convencional o su utilización como sustancia pura puede usarse en cualquier tipo de motor diésel sin llevar a cabo ninguna modificación a la estructura interna del mismo, si es que el motor fue fabricado después del año 2009.

Debido a la reducción en las reservas de petróleo, al incremento en el consumo de combustibles fósiles no renovables, al aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero que resultan de la combustión de hidrocarburos y la tendencia al incremento de los precios de los mismos, se considera necesario encontrar otras fuentes de combustible para la generación de energía que sean técnicamente factibles y económicamente más rentables. La planta móvil de 435.3 L (115 gal) de biodiésel del Departamento de Ingeniería Química e Ingeniería Química Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala permite transformar un residuo, en este caso aceite vegetal usado, en un compuesto que puede ser empleado para la producción de energía. La combustión de este producto al utilizarse puro resulta en un beneficio ambiental ya que reduce considerablemente las emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂) y de compuestos nitrogenados (NO_x).

La facilidad de obtención del aceite vegetal usado es uno de los beneficios en la producción de biodiésel debido a que este es una materia prima empleada en grandes cantidades por industrias de alimentos y por restaurantes locales de frituras. Comúnmente las empresas deben de pagar para poder desecharlo adecuadamente, por lo que representa un costo que muchas de estas buscarían evitar vendiendo el residuo como materia prima o por medio de un acuerdo entre las dos partes para llegar a beneficiarse.

Esta planta se puede utilizar en cualquier tipo de comunidad como caseríos, cabeceras municipales o aldeas, alrededor del país, que cuente con la cantidad requerida de materia prima y con los servicios auxiliares de agua y electricidad. Esta situación resultaría de conveniencia para distintos sectores de la población que se transportan usando motores diésel, ya que se da la oportunidad de producir su propia fuente de combustible. El manual de uso de la planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad permitiría una correcta utilización de la misma contando con los riesgos asociados al manejo de los reactivos y del equipo en sí. Se

reduciría la contaminación del aire, del suelo y del agua al aprovechar el aceite usado que queda en grandes cantidades en establecimientos de comida y en la industria alimenticia.

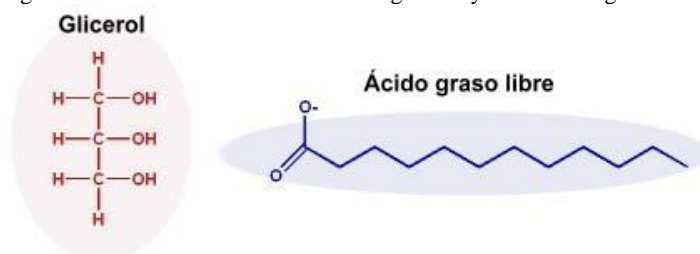
IV. MARCO TEÓRICO

A. ¿QUÉ ES BIODIÉSEL?

El biodiésel está compuesto por ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga que se obtienen a partir de aceites vegetales o de grasas animales. Es un combustible alternativo sujeto a un proceso químico para la extracción de glicerina. El término biodiésel alude al combustible en su estado puro que es conocido también como B100 que fue designado así por los Departamentos de Energía y Transporte de los Estados Unidos de América. Este combustible puede emplearse en su estado puro, no obstante, es utilizado más frecuentemente como mezclas con el diésel convencional.

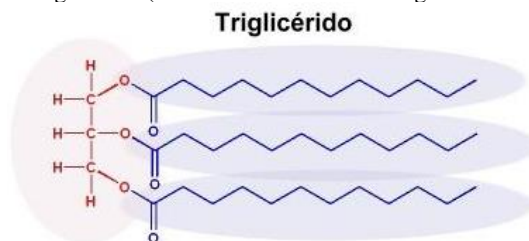
La mayor cantidad de componentes de los aceites vegetales y de las grasas animales son los triésteres de glicerol o triglicéridos. Estos compuestos son ésteres de ácidos grasos unidos a una molécula de glicerol. El perfil o la composición del aceite vegetal o grasa animal depende de las moléculas de ácidos grasos contenidos en los triglicéridos, esto se debe a que se pueden encontrar distintas cadenas de los ácidos que forman parte de la estructura principal del mismo y cada una de estas cadenas aporta distintas propiedades físicas y químicas (Knothe, Van Gerpen y Krahl, 2005).

Figura 1. Estructura de las moléculas de glicerol y de un ácido graso libre.



Fuente: <http://ibcbioquimica.blogspot.com>

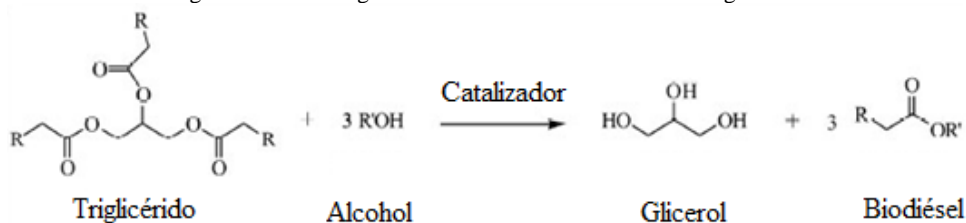
Figura 2. Estructura de un triglicérido (unión entre la molécula de glicerol con tres ácidos grasos libres).



Fuente: <http://ibcbioquimica.blogspot.com>

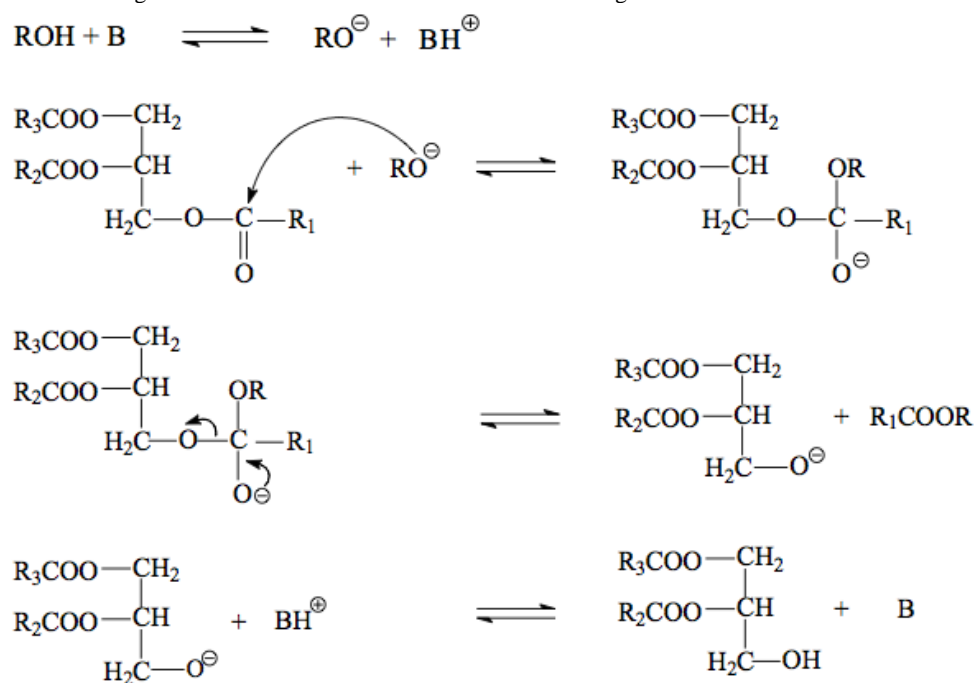
Para obtener biodiésel, el aceite o la grasa que se utiliza como materia prima se somete a una reacción química a la cual se le conoce como transesterificación. Se necesita el contacto entre cualquiera de las dos sustancias anteriores que posea los triglicéridos con un alcohol (normalmente metanol) y un catalizador (comúnmente es una base) para que ocurra esta reacción. De esta manera, se obtienen como productos los ésteres de alquilo de la mezcla de ácidos grasos presentes en el aceite o grasa. Debido a la separación que ocurre en los ácidos grasos del triglicérido, se obtiene como subproducto glicerol.

Figura 3. Reacción general de transesterificación de un triglicérido.



Fuente: Avhad y Marchetti, 2015.

Figura 4. Mecanismo de transesterificación de un triglicérido en medio básico.



Fuente: Montero, Stoycheva, García y Vásquez, 2014.

Lo que ocurre a nivel molecular en la transesterificación es una sustitución nucleofílica en el grupo acilo. Como primer paso se desprotona el alcohol con la base para poder obtener un ion alcóxido, de esta manera el ion ataca a uno de los grupos carbonilo del triglicérido dando paso a la formación de un intermediario tetraédrico. Luego el oxígeno del intermediario cede sus electrones para poder llevar a cabo la

eliminación del éster de alquilo dejando también como producto un anión de diglicérido. El catalizador protonado obtenido en el primer paso se desprotona cediendo el átomo de hidrógeno para estabilizar las cargas en el diglicérido. Este ciclo se repite otras dos veces por lo cual se requieren tres moléculas de alcohol para reaccionar con el triglicérido y de esta manera conseguir los tres ésteres de alquilo junto con la molécula de glicerol (glicerina). Como resultado se obtiene una cadena larga de carbonos con hidrógenos unidos a ellos y en una de las puntas se encuentre el grupo funcional de éster (Wade, 2011).

B. PANORAMA HISTÓRICO DEL BIODIÉSEL:

El biodiésel se refiere al combustible diésel a base de aceite vegetal o grasa animal que consiste en cadenas largas de alquil (metil, propil o etil) ésteres. Comúnmente se hace mediante la reacción química entre los lípidos del aceite o grasas con alcohol en un catalizador que puede ser ácido o básico, aunque el último es el que se usa con mayor frecuencia.

En el año 1900 Rudolf Diesel, el inventor alemán del motor diésel, demostró en la Exhibición Mundial de París su motor de ignición por compresión, utilizando aceite de maní. El impartió un discurso en 1912 indicando que “el uso de aceites vegetales para combustible de motores puede ser insignificante hoy, pero tales aceites pueden convertirse, con el paso del tiempo, tan importantes como el petróleo y productos de alquitrán de hulla del momento de la actualidad”. A pesar de la visión de Diesel hace más de un siglo, el biodiésel únicamente ha ganado importancia desde los inicios del nuevo milenio (Borgman, 2007).

Los aceites vegetales fueron usados hasta los años 20's, cuando se realizó una modificación al motor que le permitió utilizar un residuo de diésel de petróleo. Aunque el motor diésel ganó aceptación mundial, el biodiésel no tuvo la misma suerte. Con su alto precio, disponibilidad y los subsidios del gobierno, el diésel de petróleo se convirtió en la opción principal para el motor diésel. A mediados de los años 70's, una escasez de combustible revivió el interés en desarrollar el biodiésel como una alternativa al diésel. Sin embargo, mientras el mercado del petróleo fue subvencionado cada vez más, el biodiésel fue relegado una vez más a un estatus minoritario “alternativo”. Estas luchas políticas y económicas continúan limitando el impacto del biodiésel en la industria hoy en día (McDonnell, Shane y McNulty, 1999).

El biodiésel fue introducido en Sudáfrica antes de la Segunda Guerra Mundial en vehículos pesados. Las recientes preocupaciones ambientales y sobre todo la economía doméstica han promovido el resurgimiento en el uso del biodiésel alrededor del mundo. En 1991 la Comunidad Europea aprobó un 90% de reducción de impuestos por el uso de biocombustibles en donde se incluía el biodiésel. Las plantas de biodiésel son desarrolladas por varias compañías en Europa (Peterson, 2007).

C. PRODUCCIÓN DEL BIODIÉSEL

1. FUENTES DE BIODIÉSEL. Se pueden utilizar varias fuentes como materia prima para la producción del biodiésel. La mayoría son de origen vegetal, aunque también puede obtenerse de fuentes animales. Dependiendo de la disponibilidad y la producción, la materia prima puede ser clasificada en tres categorías principales: plantas productoras de aceite, grasas animales y aceite de cocina reciclado (Ahmad *et al.*, 2013). Se detalla un listado de fuentes que se usan para la obtención de biodiésel:

- Aceites vegetales
- Aceite vegetal residual
- Algas
- Estiércol de vaca
- Sebo de vaca
- Manteca de cerdo
- Microorganismos
- Árboles silvestres
- Aguas residuales por bacterias
- Aceite usado de procesos de fritura

Los aceites vegetales se consideran una buena fuente para la elaboración de biodiésel ya que es renovable en la naturaleza, se pueden producir a una gran escala y son amigables con el medio ambiente. Este grupo involucra aceites comestibles y no comestibles. Alrededor de 95% del biodiésel es producido a partir de aceites comestibles debido a que estos se producen en varias regiones y las propiedades del combustible que se obtiene a partir de estos son adecuadas para ser usadas como un sustituto del diésel convencional. La desventaja de usar los aceites comestibles es que la competencia con la venta de los mismos en el supermercado aumenta el precio del biodiésel (Kansedo, Lee y Bhatia, 2009).

Se debe buscar en lo posible que la fuente de biodiésel cumpla con dos requisitos: bajos costos de producción y que la misma sea a gran escala. Los aceites refinados tienen costos elevados de producción y una baja producción; por otra parte, los aceites no comestibles tienen bajos costos de producción y se encuentran más disponibles que los aceites reciclados. Se deben considerar también el porcentaje de aceite y el rendimiento por hectárea (Ahmad *et al.*, 2013).

2. QUÍMICA DEL ACEITE Y DEL BIODIÉSEL. Los aceites de diferentes fuentes poseen distintas composiciones de los ácidos grasos. La diferencia radica en el largo y en el número de enlaces insaturados que contienen. Las grasas y los aceites son compuestos hidrofóbicos en el reino animal y vegetal los cuales están constituidos por una molécula de glicerol y tres moles de ácidos grasos a los cuales se les denomina triglicéridos (Sonntag, 1979).

Alrededor de 90 – 98 % de los aceites y grasas se componen de triglicéridos, el resto son moléculas de mono y diglicéridos. Los triglicéridos contienen una cantidad determinada de oxígenos. Cuando tres ácidos grasos que componen a la molécula del aceite son iguales se le conoce normalmente como triglicérido simple, sin embargo, cuando los ácidos no son iguales o no se parecen entonces se le denomina como triglicérido de ácidos grasos mixtos, estos se encuentran saturados con hidrógeno y no poseen enlaces dobles en su estructura. A los triglicéridos que les falta un hidrógeno y que es reemplazado por un doble enlace se les conoce como monosaturados; a los que tienen más de un doble enlace por la falta de hidrógenos son conocidos como poliinsaturados. Los que se encuentran completamente saturados conllevan a la formación excesiva de depósitos en el motor en el cual se ha usado el biodiésel (Ahmad *et al.*, 2013).

Los aceites, ésteres y diésel poseen un número distinto de moléculas de carbono e hidrógeno, no obstante, el último compuesto no posee ninguna molécula de oxígeno presente en su estructura. Por otra parte, en el caso de los aceites vegetales, la resistencia a la oxidación se ve afectada de manera considerable por la composición de los ácidos grasos. El largo de las moléculas de los aceites y la presencia de oxígeno en su estructura sugieren que algunas propiedades del combustible a base de aceite van a diferir de manera notable de las que se obtengan para los combustibles hidrocarburos (Goering, Schwab, Daugherty, Pryde y Heakin, 1982).

El diésel derivado del petróleo contiene únicamente átomos de hidrogeno y carbono que se ordenan de forma lineal o ramificada, y en configuraciones aromáticas. La estructura lineal es la más recomendada para la obtención de una combustión de mejor calidad (Kapur, Bhasin y Marthur, 1982). El combustible diésel puede contener tanto hidrocarburos saturados como insaturados, pese a que estos últimos no se encuentran en grandes cantidades, provoca problemas por oxidación del combustible. El diésel de petróleo se compone aproximadamente de un 75% de hidrocarburos saturados (las parafinas son el compuesto principal de este tipo) y el otro 25% lo componen hidrocarburos de tipo aromáticos (en este se toman en cuenta el naftaleno y el alquilbenceno). La fórmula promedio del biodiésel es $C_{12}H_{23}$, variando en un rango de $C_{10}H_{20}$ y $C_{15}H_{28}$ (Ahmad, *et al.*, 2013).

Cuadro 1. Propiedades del biodiésel con los métodos de prueba aprobados por la norma ASTM para todos los grados del combustible.

Propiedad	Método de prueba	Requisito
Calcio y magnesio, combinados, ppm ($\mu\text{g/g}$), max.	EN 14538	5
Punto de inflamabilidad (taza cerrada), $^{\circ}\text{C}$, min.	D93	93
Control de alcohol		
1. Contenido de metanol, % (m/m), max.	EN 14110	0.2
2. Punto de inflamabilidad, $^{\circ}\text{C}$, min	D93	130
Agua y sedimentos, % (v/v), max.	D2709	0.05
Viscosidad cinemática, mm^2/s , 40°C	D445	1.9-6.0
Ceniza sulfatada, % (m/m), max.	D874	0.02
Cinta de cobre, corrosión, max.	D130	No. 3
Número de cetano, min	D613	47
Punto de turbidez, $^{\circ}\text{C}$	D2500	Reportar
Residuo de carbono, % (m/m), max.	D4530	0.05
Número ácido, mg KOH/g, max.	D664	0.5
Glicerina libre, % (m/m), max.	D6584	0.02
Glicerina total, % (m/m), max.	D6584	0.24
Contenido de fósforo, % (m/m), max.	D4951	0.001
Temperatura de destilación, equivalente a la atmosférica, 90% de recuperación, $^{\circ}\text{C}$, max.	D1160	360
Sodio y potasio combinados, ppm ($\mu\text{g/g}$), max.	EN 14538	5
Estabilización a la oxidación, horas, min	EN 15751	3

D. COMBUSTIBLE ALTERNATIVO

Los combustibles tipo diésel tienen un papel importante en la economía industrial de cualquier país. La alta demanda energética en el mundo industrializado y el gran uso de combustibles fósiles están llevando a un agotamiento rápido tanto de los recursos de combustibles fósiles como de la degradación ambiental (Ahmad, Ajab, Zafar y Sultana, 2013).

Las reservas mundiales de petróleo se encuentran distribuidas desigualmente por lo que muchas regiones dependen de otras para sus requerimientos de combustible. La degradación de la calidad del aire debido a las emisiones de la combustión es el principal efecto adverso de los combustibles a base de petróleo. Todos estos factores requieren de una búsqueda constante y el desarrollo sostenible de fuentes de energías renovables que sean amigables con el medio ambiente (Ahmad *et al.*, 2013).

Fuentes de biomasa, particularmente los aceites vegetales, han atraído mucho la atención como fuentes alternativas de energía. Son renovables, no tóxicas y se pueden producir a partir de recursos como la agricultura y las plantas. Su uso asociado a los efectos adversos en el ambiente depende de la fuente material del biodiésel o de la formulación y el tipo de motor en el que se emplea. El biodiésel saturado produce emisiones bajas en NO_x , pero se observa un aumento de NO_x para el biodiésel cuando se emplea para motores

pesados. Generalmente el biodiésel produce menos emisiones dañinas y gases de efecto invernadero (Sinha, Agarwal y Garg, 2008).

Se han hecho esfuerzos sistemáticos para utilizar aceite vegetal como combustible en motores. El combustible diésel mineral es una mezcla compleja con átomos de carbono que varían entre 12 y 18, mientras que los aceites vegetales son una mezcla de compuestos orgánicos que varían de una simple cadena de compuestos recta a estructuras complejas de proteínas y vitaminas solubles en grasas a las que se les conoce normalmente como triglicéridos (Srivastava y Verna, 2008).

Los aceites vegetales usualmente son triglicéridos con un número de cadenas ramificadas de distintas longitudes y diferentes grados de saturación. Los aceites vegetales tienen alrededor del 10% menos de valor de calefacción que el diésel mineral debido al oxígeno presente en sus moléculas. La viscosidad del mismo es muchas veces mayor que el diésel mineral por su alta masa molecular y su estructura más extensa. El punto de cetano es comparable con el del diésel mineral (Barnwal y Sharma, 2005).

La alta viscosidad de los aceites vegetales comparadas con la del diésel mineral ocasiona dificultades para su bombeo y rocío. La mezcla ineficiente del combustible con el aire resulta a una combustión incompleta. El alto punto de inflamabilidad y la baja volatilidad producen un aumento en la formación de depósitos de carbón, coquización del inyector, y la dilución y/o degradación del aceite lubricante. Con el aceite vegetal como combustible, el desempeño de un motor a corto plazo es comparable con el del diésel mineral, pero a largo plazo con aceites o mezclas del mismo conllevan a severos depósitos en el motor, pegado del anillo del pistón, coquización del inyector y espesamiento del aceite lubricante (Peterson, Reece, Cruz y Thompson, 1991).

Los aceites deben modificarse para acercar lo más posible sus propiedades de combustión a las del diésel mineral. Las modificaciones son la reducción de la viscosidad y el aumento de la volatilidad. Se han realizado esfuerzos considerables para desarrollar derivados de aceites vegetales con propiedades y rendimientos parecidos a los de los hidrocarburos combustibles. La mejor forma de hacer que el aceite sea compatible con los motores que ya existen es convertirlo a biodiésel (Ahmad *et al.*, 2013).

E. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIODIÉSEL

El uso de biodiésel y sus mezclas más comunes (B5, B10, B20, B50 y B100) puede llevar a cabo la reducción de las emisiones netas de los gases de efecto invernadero. El efecto más importante que tiene el hecho de emplear biodiésel es que resulta en una disminución general de la formación de ozono. Las emisiones producidas por la combustión del biodiésel son menos reactivas con la luz solar comparadas con las que se producen al quemar gasolina, lo que resulta en un bajo potencial de formación de ozono dañino.

El biodiésel se considera como una fuente de energía renovable debido a que es el principal resultado de la conversión de la energía solar en energía utilizable (Ahmad *et al.*, 2013).

Se listan algunas de las ventajas que se han encontrado en el uso de biodiésel como fuente de energía:

- Está hecho a partir de fuentes renovables o de un residuo (aceite vegetal usado).
- Su desempeño es tan bueno como el del diésel convencional derivado.
- La contaminación es menor comparada con la del diésel derivado del petróleo.
- Es relativamente menos inflamable que el diésel convencional.
- Se pueden llevar a cabo mezclas entre el biodiésel y el diésel que se obtiene de la refinación del petróleo.
- Se degrada por acción biológica y reduce el riesgo de contaminación del suelo y del agua subterránea
- Está libre de azufre (elemento principal de la lluvia ácida).
- Es económico debido a que no se requiere de modificaciones al motor comparado con otros combustibles obtenidos a partir de fuentes biológicas.
- Alarga la vida útil del motor en el cual se esté empleando.
- Las plantas de producción de biodiésel son mucho más simples y más amigables ambientalmente si se comparan con las refinerías petroleras.
- Las emisiones de CO₂ en la combustión son menores comparadas a la del diésel convencional.
- Mejora la eficiencia y operación del ciclo de vida del motor

Dentro de las desventajas del biodiésel se encuentran las siguientes:

- Poca cantidad de materia prima si se usan aceites vírgenes como usados.
- Precios más elevados que el petrodiesel.
- Problemas técnicos que se encuentran relacionados con su uso en climas fríos
- Problemas con su estabilidad de almacenamiento.
- El contenido energético es un poco menor que el del diésel derivado del petróleo.
- Si el biodiésel producido es de baja calidad se aumentan las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) comparado con el diésel convencional.

F. ASTM

La American Society for Testing and Materials (ASTM) fue creada en el año 1898, es una de las mayores organizaciones internacionales que se encarga de desarrollar normas voluntarias por consenso. Es una organización sin fines de lucro, que brinda un foro para la creación y publicación de normas que son voluntarias por consenso y que aplican a materiales, productos, sistemas y servicios que cualquier persona o empresa pueda tener. Los miembros que forman parte de ASTM representan tanto a productores como usuarios, consumidores, gobiernos y el mundo académico de más de 100 países. Esta organización se encarga

del desarrollo de documentos técnicos que son la base para la fabricación, gestión y elaboración de códigos y regulaciones (ASTM, 2017).

La norma en ASTM es un documento que se desarrolló y estableció dentro de los principios de consenso de la organización, y que cumple con los requisitos de los procedimientos y regulaciones que la misma empresa instituyó. Se elaboran con la participación de todas las partes interesadas en el desarrollo o uso de las normas. Las normas que establece la ASTM son voluntarias ya que esta organización no exige que se estén observando constantemente. No obstante, las autoridades gubernamentales con facultad normativa generalmente dan fuerza de ley a las normas voluntarias, mediante citas en las leyes o regulaciones (ASTM, 2017).

El juego de normas D6751 establece un nivel mínimo de la calidad que debe tener el combustible, esto debe de ser considerado por los productores y los consumidores para saber que esperar del producto. Estas normas también ofrecen a los fabricantes de los equipos en los que se utilizará el biodiésel una herramienta para saber de qué manera va a influir el combustible en el comportamiento y en la vida útil de los mismos. Con estos documentos se brinda una ayuda para el respaldo del crecimiento del mercado del biodiésel donde se crean más oportunidades para el desarrollo económico y la independencia energética (ASTM, 2017).

1. NÚMERO ÁCIDO. El número ácido se utiliza para determinar el nivel de los ácidos grasos libres o los ácidos de procesamiento que puedan estar presentes en el biodiésel. Un valor elevado del número ácido para biodiésel ha demostrado que aumenta los depósitos en el sistema de combustible y puede incrementar la probabilidad de corrosión en el mismo.

El número ácido en el biodiésel es una medición distinta al número ácido del diésel derivado del petróleo. En el primero se miden los ácidos grasos libres o la degradación de los subproductos que no se encuentran en el diésel convencional. El aumento de las temperaturas de reciclado en los nuevos diseños de sistemas de combustible puede acelerar la degradación del mismo, lo que podría dar lugar a altos valores de ácido y al aumento del potencial de taponamiento del filtro

Los productos de petróleo, tanto nuevos como viejos, el biodiésel y las mezclas del mismo pueden contener constituyentes ácidos que están presentes como aditivos o como productos degradantes que se forman durante el servicio, tales como los productos de la oxidación. La concentración de estos materiales se puede determinar por titulación con bases. El número ácido se usa como guía en el control de calidad de formulaciones de aceites lubricantes y, en ocasiones, como un medidor de la degradación del aceite lubricante en servicio.

En esta prueba se realiza una solución de hidróxido de potasio y una solución de ftalato ácido de potasio, ambas con una concentración de 0.01 M. Se estandariza la solución de hidróxido de potasio usando la de ftalato. Se obtiene el blanco por la titulación del 2-propanol utilizando fenolftaleína como indicador. Por último, se disuelve una muestra en 2-propanol y se titula con la solución de KOH. El número ácido es calculado por una diferencia entre el volumen empleado en la titulación de la muestra con el volumen usado en el blanco.

2. AGUA Y SEDIMENTOS. La prueba para el estándar de agua y sedimentos mide el volumen en porcentaje de una muestra del biodiésel con un rango de densidades de 770 – 900 kg/m³ a 15 °C. En la realización de esta prueba se toma una muestra de 100 mL y se centrifuga a una fuerza centrífuga relativa de 800 durante 10 minutos en un rango de temperatura de 21 – 32 °C en un tubo de centrifuga específico. Luego de la centrifugación se lee el volumen de agua y sedimentos que se sedimentaron en el fondo del tubo y se reporta como un porcentaje volumétrico.

Una cantidad apreciable de agua y sedimentos en los combustibles tienden a provocar ensuciamiento de las instalaciones de manejo de este y ocasionar problemas en el sistema de quemadores o inyectores en motores. Una acumulación de sedimentos en los tanques de almacenamiento y en los filtros pueden obstruir el flujo del combustible del tanque a la cámara de combustión. El agua puede causar corrosión en los tanques y equipos, y si hay jabones presentes, es probable que se formen emulsiones. También se favorece el crecimiento microbiano en las interfases de los sistemas de combustible.

3. VISCOSIDAD. Para algunos motores puede ser ventajoso especificar un máximo de la viscosidad debido a la pérdida de la potencia en la bomba de inyección y a las fugas en el inyector. El máximo de la viscosidad por otra parte se encuentra limitado por las consideraciones involucradas en el diseño y tamaño del motor y por las características del sistema de inyección. El límite máximo de viscosidad del biodiésel (6.0 mm²/s @ 40°C) es mayor que el máximo permitido en las especificaciones D975 Grado 2-D y 2-D bajo en azufre. La mezcla del biodiésel con diésel derivado del petróleo puede resultar en una viscosidad por encima del límite superior permitido en la especificación D975.

Muchos productos del petróleo y algunos materiales que no son derivados del mismo son utilizados como lubricantes, y la correcta operación de los equipos depende de la viscosidad apropiada del líquido que se está usando. La viscosidad de muchos combustibles de petróleo es importante para la estimación del almacenamiento adecuado, manejo y condiciones de operación. Por ende, determinar de manera acertada la viscosidad es esencial para las especificaciones de varios productos.

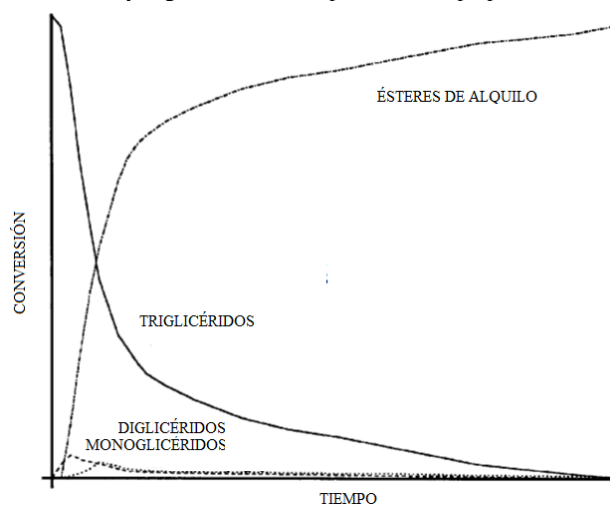
G. TRANSESTERIFICACIÓN

La transesterificación, también conocida como alcoholólisis, es una reacción química de un aceite o una grasa con un alcohol en presencia de un catalizador para formar ésteres y glicerol. Para la producción de biodiésel involucra una secuencia de tres reacciones reversibles que ocurren de manera consecutiva en donde los triglicéridos son convertidos a diglicéridos y luego estos se convierten a monoglicéridos seguidos por la obtención del glicerol. En cada uno de los pasos se produce un éster, por lo cual se obtienen tres moléculas partiendo de un triglicérido (Knothe, *et. al*, 2005).

Los alcoholes que pueden ser utilizados en esta reacción pueden ser metanol, etanol, propanol, butanol y alcohol amílico, sin embargo, el metanol suele ser el que más se utiliza debido a su bajo costo. Se utiliza un catalizador para aumentar la tasa y el rendimiento de obtención de biodiésel. Los tipos de cadenas más comunes en los aceites vegetales y las grasas animales son los siguientes: palmítico, esteárico, oleico, linoleico y linolenico (Knothe, *et. al*, 2005).

En la Figura, se puede observar el comportamiento de la conversión de los mono, di y triglicéridos con el paso del tiempo a ésteres de alquilo. Cuando el tiempo tiende al infinito en la reacción de transesterificación se asegura que se dé la mayor conversión de los gliceroles en ésteres, siendo los triglicéridos los que más tiempo requieren debido al tamaño de la molécula. Sin embargo, le toma más tiempo a los mono y diglicéridos en comenzar a reaccionar.

Figura 5. Conversión de los mono, di y triglicéridos con el paso del tiempo para la formación de ésteres de alquilo.

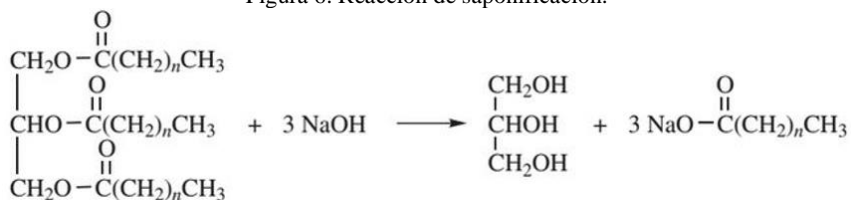


Fuente: Knothe, Gerpen y Krahl, 2005.

H. SAPONIFICACIÓN

La saponificación es una reacción química que se da por la disociación de un aceite o una grasa (grupo carboxilato) en un medio alcalino, provocando una separación entre los productos que se forman, siendo estos los ácidos grasos y el glicerol. Cada ácido graso que se disoció se vuelve a asociar con el álcali en donde se obtienen sales sódicas de los mismos. Generalmente las grasas se encuentran constituidas por múltiples cadenas de carbono, entre 8 -20, que se encuentran adheridas al glicerol, la reacción entre el triglicérido y la soda cáustica empleada es la característica principal de una reacción de saponificación (Othmer, 2007).

Figura 6. Reacción de saponificación.



Fuente: Othmer, 2007.

Para llevar a cabo la neutralización de los ácidos grasos este proceso es llevado en dos etapas:

1. Hidrólisis de los aceites y grasas: en esta etapa se lleva a cabo la separación de los ácidos grasos de la glicerina y de las impurezas, para poder hacer esto se utiliza vapor y agua. Se necesita de un catalizador para acelerar la reacción, siendo el óxido de zinc el más común para este tipo de reacción. Como la reacción de saponificación es reversible se debe de lograr un lavado de la glicerina de forma inmediata ya que la presencia de este en el medio afecta a la cinética de reacción. En el reactor se debe garantizar un buen contacto entre los compuestos utilizados, por lo que el uso de baffles internos el mismo con agitación genera un flujo turbulento, logrando una conversión de hasta el 99% (Austin, 1984). Luego de separar la glicerina se realiza un secado al vacío donde se elimina la humedad presente y se enfría el ácido graso.

2. Neutralización con bases: se añade NaOH o de KOH con los cuales se asegura la obtención de un jabón de alta calidad garantizando un control estequiométrico de los reactivos y una excelente mezcla. Con el fin del emulsificar los ácidos grasos de la etapa anterior, estos deben de someterse a temperaturas entre 50 – 70 °C, así como la solución de hidróxido y sales. La reacción se ocurre entre 85 – 90 °C, por lo que se requieren sistemas de control ya que la reacción de neutralización es exotérmica y si no se controla la temperatura puede ocurrir un sobrecalentamiento, ebullición o la formación de espuma (Othmer, 2007).

V. ANTECEDENTES

En el artículo “Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiésel” escrito por M. Medina, Y. Ospino y L. Tejada se lleva a cabo la reacción de transesterificación de los aceites por medio ácido y por medio básico. En este se utilizaron también aceites obtenidos de distintos restaurantes de la ciudad de Cartagena. Uno de los temas a tratar en este documento fue respecto a los pretratamientos requeridos del aceite y la purificación del biodiésel obtenido. Se realizaron pruebas para determinar cuál variable era la que más afectaba a la producción del biocombustible obteniendo que el metanol es el reactivo que más afecta al rendimiento, comparado con el catalizador, tanto ácido como básico, utilizado en la reacción

En el trabajo “*Calidad del combustible biodiésel y la norma ASTM*” escrito por G. Knothe se hace mención a la producción de biodiésel empleando aceites vegetales, grasas animales y aceites de cocina usados mediante la reacción de transesterificación. Se habla de los factores que afectan a la calidad del biocombustible producido y cómo es que con los estándares de la norma ASTM son utilizados para poder determinar si el producto es o no de calidad.

En el artículo escrito por A. Varty y S. Lishawa titulado “*Haciendo biodiésel de aceite vegetal usado*” se tocan los temas de las ventajas que posee el biodiésel comparado con otros combustibles más comunes y empleados hoy en día a nivel mundial; se trata también la facilidad de producción de este producto a un nivel laboratorio y algunos de los riesgos en que se incurre al momento de la elaboración del mismo; otro tema que se menciona son alguna de las propiedades físicas que se deben de analizar del biodiésel para comprobar la calidad ya que estos son de vital importancia para el buen funcionamiento del motor en el cual será empleado para su posterior combustión.

En el artículo escrito por D. Young y Y. Guo de “*Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production*” se pusieron a prueba tres catalizadores: hidróxido de sodio, hidróxido de potasio y el metóxido de sodio para la reacción con aceite comestible de canola y con aceite usado para freír. En ambos casos se evaluaron distintas propiedades al biodiésel obtenido: contenido de ésteres, la viscosidad cinemática y el número ácido y se compararon los resultados. Se investigó y se hizo una correlación entre las variables que influyen a la reacción para la obtención óptima del biocombustible.

En el artículo de “*Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test*” elaborado por X. Meng, G. Chen y Y. Wang, hace referencia a la recolección de residuos de aceite de cocina por medio de una agencia en las principales ciudades de China. Se realizó una investigación de las condiciones de reacción que tienen un mayor impacto en la eficiencia de conversión: relación molar entre el

aceite y el metanol, cantidad de catalizador a utilizar, tiempo de reacción y la temperatura de reacción. Se determinó que la relación óptima entre el aceite y el metanol era de 9:1, la cantidad de hidróxido de sodio es de 1% (m/m) del contenido de aceite, la temperatura y el tiempo más adecuados son de 50 °C y 90 min respectivamente.

En la Universidad del Valle de Guatemala el departamento de Ingeniería Química se ha encargado de llevar a cabo la producción de biodiésel empleando una planta piloto. En el artículo publicado por J. Andrés Hernández, Gamaliel Zambrano y Cristián Rossi acerca de la “Producción de biodiesel a escala de planta piloto utilizando catálisis ácida y básica” se menciona la capacidad de la planta la cual es de 45 galones cada día. Se llegó a obtener una eficiencia de conversión del aceite a biodiésel del 84.79 %. Dentro del procedimiento realizado por los ingenieros se llevó a cabo pruebas a partir de las normas ASTM con el fin de que el desempeño del biocombustible en el vehículo fuera bueno.

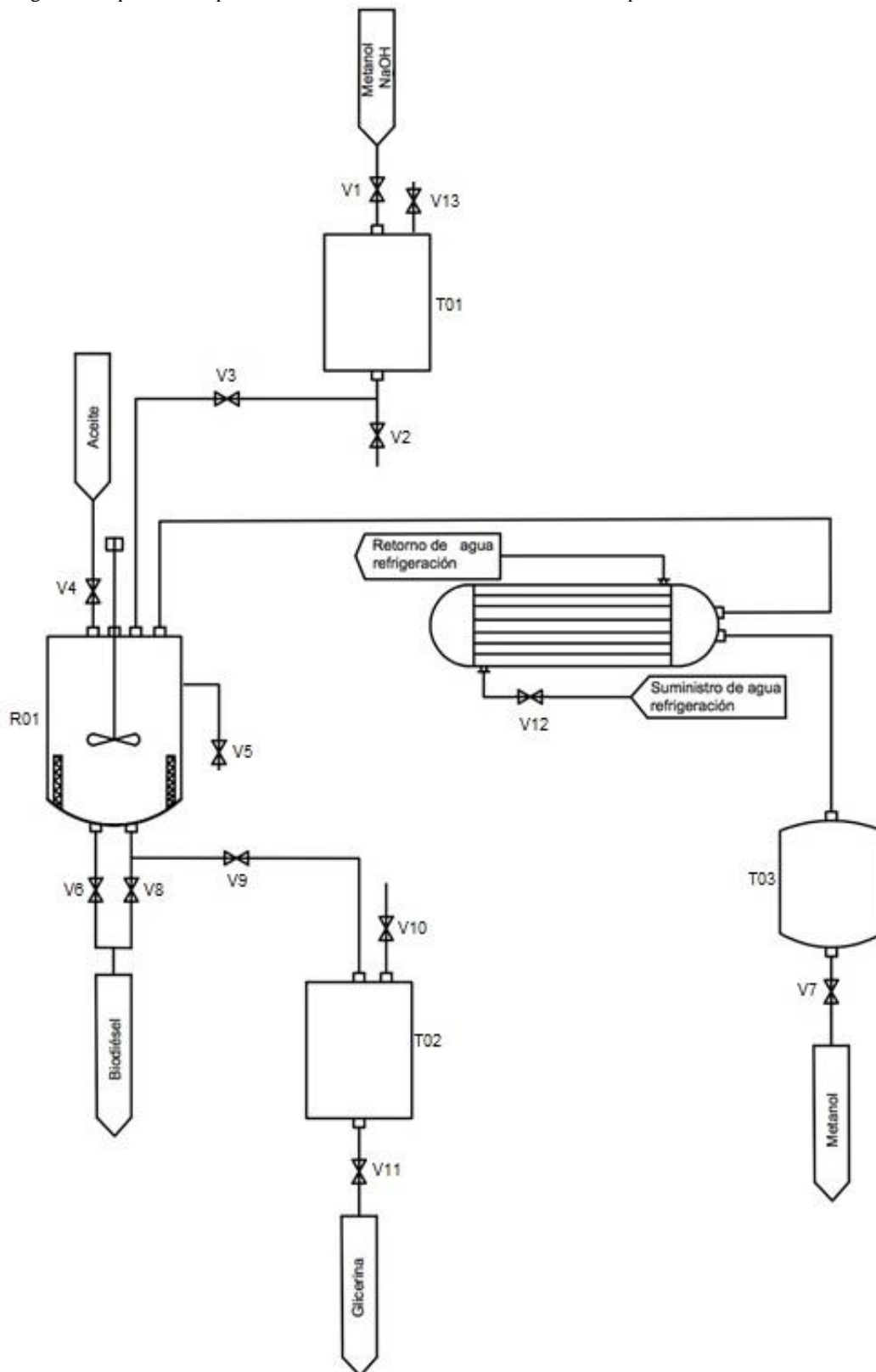
En otro artículo publicado por Gamaliel Zambrano, Cristián Rossi y J. Andrés Hernández se realizó el estudio de la “Emisión de gases en vehículo experimental diésel-biodiésel”, el vehículo utilizado fue un Nissan Frontier Modelo 2012, el cual al emplear el biodiésel completamente puro (B100) en lugar de diésel de petróleo redujo sus cantidades de emisión de monóxido de carbono en un 71.58%. El estudio consistió principalmente en encontrar la correlación entre la concentración de biodiésel que se tenía de la mezcla con los gases emitidos por el vehículo al combustionar, esto a distintas revoluciones por minuto. También se analizó el rendimiento del pick-up al emplear las distintas mezclas, encontrando que al utilizarse el biodiésel puro se dio una disminución del 11.82% en el mismo por la diferencia entre las capacidades caloríficas del diésel con el biocombustible.

La planta demostrativa de 18 L de capacidad marca hft EDUCATION modelo RNE280 está elaborada con una estructura de soporte de acero inoxidable. Posee un panel de control en la parte superior izquierda en donde se encuentran los circuitos eléctricos y un controlador PID (Proporcional, Integrado y Derivado). Como parte de la estructura se tienen tres tanques. El primero es el superior en donde se ingresa la mezcla del alcohol con el catalizador; el segundo es el tanque de reacción en donde se ingresa el aceite usando un embudo y en donde ocurre la reacción con la mezcla del primer tanque, este cuenta con un agitador y calentador eléctrico los cuales se controlan desde el panel; y el último tanque es para la decantación de la glicerina. Se tiene una ampolla para la recuperación y almacenamiento del alcohol en la parte inferior izquierda. El equipo cuenta también con un intercambiador de calor que permite la recuperación del alcohol evaporado en el tanque de reacción, sin embargo, al equipo se le realizó la adaptación de una bomba centrífuga que permite utilizar agua de un reservorio como líquido refrigerante en un circuito cerrado, que enfría el condensador del metanol. Las válvulas de bola son parte importante en el sistema, estas deben de accionarse de forma manual con el fin de transferir, drenar o tomar muestras de los líquidos en cualquier punto de la planta.

La planta móvil marca Freedom Biofueler está compuesta por una estructura de hierro que se encarga de sostener a un tanque de reacción de 435.3 L (115 gal) de capacidad nominal, una bomba centrífuga, un tanque de producción de metóxido de sodio de 62.5 L (16.5 gal) de capacidad, un filtro de cartucho, una bomba de extracción de metanol y un despachador de combustible. El equipo cuenta con una resistencia ubicada en la parte superior como método de calentamiento y emplea la bomba centrífuga para favorecer la agitación de la mezcla. Un medidor de temperatura acoplado en la tubería de salida de la bomba centrífuga y por último un dispensador de combustible. Es recomendable utilizar esta planta para que la mezcla entre el aceite y el metóxido ocupen un volumen total de 360 L (95 gal), cubriendo por completo la resistencia para una mejor transferencia de calor.

El aceite usado como materia prima para la planta demostrativa de 18 L de capacidad se obtuvo de una empresa de alimentos, la cual vende el material por litro al Departamento de Ingeniería Química e Ingeniería Química Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala. El aceite empleado en la planta móvil se obtuvo a partir de la Municipalidad de la Ciudad de Guatemala, con la cual se tiene un acuerdo para ser transformado y de esta manera evitar la contaminación de los suelos y las aguas.

Figura 7. Esquema de la planta demostrativa RNE280 del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.

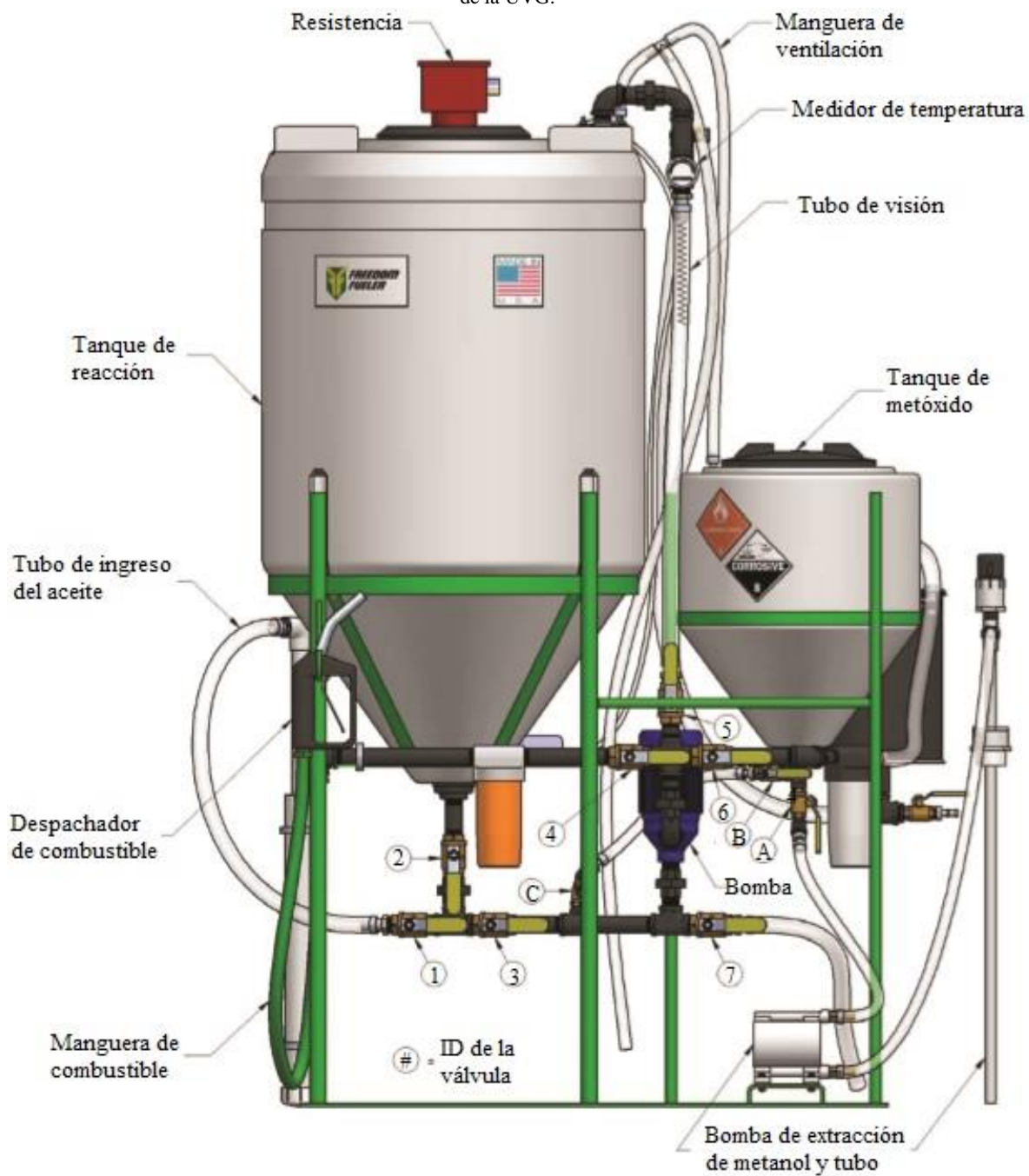


Nota: referirse al cajetín de los componentes de la planta demostrativa de 18 L en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Cajetín de la planta demostrativa de 18 L de capacidad del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.

Ítem	Descripción
R01	Tanque de reacción
T01	Tanque de almacenamiento de metóxido de sodio
T02	Tanque de decantación de glicerina
T03	Ampolla de recuperación de metanol
V1	Válvula de bola de entrada del metóxido de sodio
V2	Válvula de bola de salida del metóxido de sodio
V3	Válvula de bola de ingreso del metóxido de sodio al tanque de reacción.
V4	Válvula de bola de entrada del aceite vegetal usado
V5	Válvula de bola para toma de muestras del tanque de reacción
V6	Válvula de bola para toma de muestras en la parte inferior del tanque de reacción.
V7	Válvula de bola de salida de la ampolla de recuperación de metanol
V8	Válvula de bola de salida del producto del tanque de reacción
V9	Válvula de bola de ingreso al tanque de decantación de glicerina
V10	Válvula de bola de entrada al tanque de decantación de glicerina
V11	Válvula de bola de salida de la glicerina del tanque de decantación de glicerina
V12	Válvula de bola de entrada de agua al intercambiador de calor
V13	Válvula de bola para salida del aire del tanque de almacenamiento de metóxido de sodio

Figura 8. Diagrama del equipo de la planta móvil Freedom Biofuelers LLC del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.



Fuente: Freedom Biofuelers, LLC 2012.

Nota: referirse al cajetín de los componentes de la planta móvil de 115 gal de capacidad el Cuadro 3.

Cuadro 3. Cajetín de los accesorios y partes correspondientes a la planta móvil de 115 gal de capacidad del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Ítem	Descripción
(1)	Válvula de bola para entrada de aceite
(2)	Válvula de bola de salida del tanque de reacción
(3)	Válvula de bola intermedia de salida del tanque de reacción
(4)	Válvula de bola de paso al dispensador de combustible
(5)	Válvula de bola de entrada al tanque de reacción para recirculación
(6)	Válvula de bola de entrada del metóxido de sodio al tanque de reacción
(7)	Válvula de bola de descarga de producto del tanque de reacción
A	Válvula de bola de entrada al sistema de recirculación del tanque de metóxido de sodio
B	Válvula de bola de salida del metóxido de sodio del tanque
C	Válvula de bola de entrada de metóxido de sodio a la corriente de recirculación del tanque de reacción

VI. METODOLOGÍA

A. USO DE LA PLANTA DEMOSTRATIVA.

Reactivos:

- Aceite vegetal usado (industria alimenticia)
- Metanol al 99%
- Hidróxido de sodio en escamas

Equipo:

- Báscula OHAUS
- Planta demostrativa RNE280*
- Balanza digital

Preparación del metóxido de sodio:

- Se añadió 2.34 kg de metanol en una cubeta.
- Se pesó en una balanza digital 96.0 g de hidróxido de sodio dentro de un beaker. Se molió el hidróxido de sodio con un mortero para reducir su tamaño. Se añadió cuidadosamente el hidróxido dentro la cubeta conteniendo el metanol (este procedimiento se realizó rápido ya que el NaOH es higroscópico).
- Se agitó la solución con una paleta de madera hasta disolver por completo el hidróxido en el metanol.

Ingreso de las materias primas al sistema:

- Se verificó que todas las válvulas de la planta se encontraran cerradas.
- Se pesó 11.4 kg de aceite en una cubeta empleando la báscula.
- Se abrieron las válvulas V1 y V3 de la planta y se agregó el aceite empleando el embudo al tanque de reacción R01.
- Se encendió el calentador en el panel de control y se ajustó a una temperatura de 45 °C.
- Se abrió la válvula V1 y V13 para ingresar el metóxido de sodio hacia el tanque de alimentación T01 por el embudo.

Procedimiento para hacer la reacción en la planta:

- Se encendió el agitador en el panel de control y se operó en su máxima velocidad, luego se abrió la válvula V3 cuando el aceite había alcanzado los 45 °C para permitir que el metóxido de sodio ingresara al tanque de reacción R01.
- Se ajustó la temperatura del calentador a 60 °C.

- Se permitió que la reacción ocurriera por las siguiente 3 horas.
- Luego del tiempo establecido se hizo una prueba 3-27 sin detener la agitación ni calentamiento.
 - La prueba consistió en tomar una muestra de la mezcla abriendo la válvula V5 empleando un beaker.
 - Se midieron 27 mL de metanol y 3 mL de la muestra con una probeta.
 - Empleando un tubo de ensayo se mezclaron vigorosamente los dos líquidos.
 - Se verificó el fondo del tubo para determinar si había presencia de aceite en la parte inferior del mismo.
 - Si se tenía aceite el resultado se consideraba como negativo, por otra parte, si no había presencia de este compuesto la prueba era positiva.
- Si el resultado era positivo se detenía la agitación y se pasaba al siguiente paso, pero, si el resultado era negativo se operaba la planta media hora más y se repetía la prueba 3-27 al finalizar este tiempo.
- Se evaporó el metanol ajustando la temperatura del calentador a 80°C.
- Se verificó la presencia de agua de enfriamiento en el tanque reservorio y se accionó la bomba de recirculación abriendo la válvula V12 para permitir el flujo en el condensador.
- Se esperó que el metanol comenzara a condensar en el tanque de condensados T03. Se abrió la válvula V7 para igualar la presión y recuperar el metanol en otro recipiente.
- Se apagó el agitador y el calentador y se esperó a la separación de las dos fases, de la glicerina y del biodiésel.
- Se dejó enfriar el tanque por dos horas hasta alcanzar una temperatura de 35 °C aproximadamente.
- Se abrió la válvula V9 para decantar la glicerina en el tanque de glicerina T02. Luego se abrió la válvula V10 para liberar presión en el llenado. Se dejó pasar una pequeña cantidad de biodiésel al tanque de glicerina para asegurarse que no existiera presencia de glicerina en el reactor.
- Se abrió la válvula V4 para evitar vacío en el tanque R01 y se extrajo el biodiésel por la válvula V8.
- Se determinó la masa de glicerina, metanol y biodiésel obtenido a partir de la reacción en la planta.

*Para una mejor comprensión del sistema y nomenclatura referirse a la Figura 7 en la sección de Antecedentes.

B. USO DE LA PLANTA MÓVIL

Reactivos:

- Aceite vegetal usado (municipalidad)
- Metanol al 99 %
- Hidróxido de sodio en escamas

Equipo:

- Báscula
- Planta móvil Freedom Biofuelers, LLC**

Ingreso del aceite al sistema:

- Se pesó en una báscula 252.42 kg de aceite vegetal usado, empleando varias cubetas para almacenarlo.
- Se verificó que todas las válvulas del sistema de la planta se encontraran cerradas.
- Se abrieron las válvulas 2, 3 y 5 de la planta en donde se vertió alrededor de 10 gal de aceite para que la bomba se cebara.
- Se cerró la válvula 2 y se llenó con aceite la manguera de acceso del aceite usado conectada a la válvula 1. Rápidamente se abrió la válvula 1 y se encendió la bomba de recirculación permitiendo la entrada del aceite al tanque de reacción.
- Se llenó la cubeta con aceite en la cual se introdujo el tubo de ingreso con el mismo material proveniente de las demás cubetas empleadas en el pesaje. Al finalizar de llenar el tanque de reacción se cerró la válvula 1.
 - En el caso de que no funcionara el cebado de la bomba, se ingresó el aceite en la parte superior del tanque de reacción, removiendo la tapadera negra y con ayuda de las cubetas plásticas.
- Se abrió la válvula 2 y se encendió la bomba de recirculación para recircular el aceite. Al mismo tiempo se encendió la resistencia para permitir el calentamiento del aceite hasta que llegara a 40 – 45 °C en el medidor de temperatura ubicado en la parte superior de la tubería de recirculación (el tiempo aproximado de calentamiento fue de 1.5 – 2 horas).

Preparación del metóxido de sodio:

- Se pesó 55.02 kg de metanol en varias cubetas utilizando una báscula.
- Se pesó 2.52 kg de hidróxido de sodio dentro de una bolsa plástica empleando la báscula.
- Utilizando el reactor de dilución de hidróxido de sodio en metanol de la planta piloto del Departamento de Ingeniería Química e Ingeniería Química Industrial de la Universidad del Valle de

Guatemala se realizó la mezcla del metóxido de sodio, empleando la mitad de cada una de las cantidades mencionadas anteriormente.

- De la primera mitad de metóxido se ingresó aproximadamente 15 L por la parte superior de la planta utilizando una cubeta. El resto se ingresó en el tanque de metóxido.
- Se giró la válvula 2 más de la mitad y se abrió por completo la válvula B. La válvula C se giró a la mitad permitiendo el paso del metóxido de sodio a la corriente con aceite.
- Se añadió la otra parte de metóxido preparado al tanque de almacenamiento de metóxido.

Procedimiento para hacer la reacción en la planta:

- Al vaciarse el tanque de metóxido se cerraron las válvulas B y C, abriendo la válvula 2 permitiendo el paso de una mayor cantidad de aceite en la recirculación.
- Se recirculó la mezcla de metóxido y aceite hasta alcanzar una temperatura constante entre 50 – 55 °C según el medidor de temperatura, a partir de este momento se tomó el tiempo de reacción.
- Se dejó operar el equipo cinco horas y se tomó muestras a las 3 y 4 horas en la parte superior, de la mezcla que caía de la recirculación, y en la parte inferior abriendo la válvula 7 para realizar una prueba 3-27.
- Al finalizar la reacción se desconectó la bomba y la resistencia
- Se cerraron las válvulas 2 y 3 y se abrió la válvula 7 para remover el líquido remanente en la tubería de salida de la bomba.
- Se cerraron las válvulas 5 y 7 y se permitió que enfriara la mezcla por tres horas permitiendo una separación entre la glicerina y el biodiésel.
- Se decantó la glicerina abriendo las válvulas 2, 3 y 7, dejando pasar un poco del biodiésel para garantizar que únicamente se retuviera biodiésel en el tanque de reacción.
- Luego de otras tres horas se volvió a decantar la glicerina repitiendo el mismo paso anterior y se cerraron todas las válvulas.

**Para una mejor comprensión del sistema y nomenclatura referirse a la Figura 8 en la sección de Anexos.

C. LAVADO DEL BIODIÉSEL

El biodiésel que se produjo contenía cierta cantidad de catalizador (ya que por definición este no se transforma en un producto y solo favorece la formación de otros), glicerina y metanol. Debido a estas impurezas el rendimiento del combustible se ve reducido, sin embargo, todos estos compuestos eran solubles en agua y podían extraerse mediante el lavado del combustible con agua.

Reactivos:

- Agua desmineralizada
- Biodiésel sin lavar

Equipo:

- Guantes y lentes de protección
- Rociador
- Papel indicador de pH (de ácido y básico)
- Recipiente para lavar
- Ampolla de decantación

Procedimiento para el biodiésel de la planta demostrativa:

- Se midió el pH inicial del biodiésel sin lavar con una tira de papel indicador.
- Se ingresó el biodiésel sin lavar en el recipiente de lavado (ver Figura 16 en la sección de Anexos)
- Se empleó un rociador con agua destilada y se roció suavemente la superficie del biodiésel empleando las cantidades indicadas en el Cuadro 18 en la sección de Anexos.
- Se esperó por dos horas a que se diera la separación del agua del biodiésel en el fondo del recipiente de lavado.
- Se decantó, en el recipiente de lavado el biodiésel del agua, abriendo la única válvula del recipiente. Al llegar a la interfase se decantó el líquido usando una ampolla de decantación de 500 mL para facilitar la recuperación del biodiésel.
- Se midió el pH del agua de lavado y se realizó el mismo procedimiento hasta que el agua de lavado presentara un valor cercano al neutro (pH igual 7).

Procedimiento para el biodiésel de la planta móvil:

- Se abrió las válvulas 2, 3 y 4 y se encendió la bomba de recirculación
- Usando el dispensador del combustible se ingresó la mitad del biodiésel crudo al reactor de la planta piloto en donde se realizaron los lavados respectivos (ver Figura 19 en la sección de Anexos) abriendo la válvula de agua de la manguera para rociar el combustible desde la parte superior.
- Cada 40 minutos se abrió la válvula en la parte inferior del reactor para decantar el agua de lavado.
- Se cerró la válvula de agua luego de 10 lavados.

Después de lavado, el biodiésel tendrá una apariencia turbia por las moléculas de agua que se encuentran suspendidas en el mismo. Esta cantidad de agua debió ser removida por calentamiento y se le conoce como secado.

D. SECADO DEL BIODIÉSEL

Reactivos:

- Biodiésel lavado

Equipo:

- Caldera pirotubular
- Reactor enchaquetado R-450
- Reactor enchaquetado T.CH.494
- Termómetro de -10 – 420 °C

Procedimiento planta demostrativa:

- Se añadió el biodiésel de la planta móvil con una cubeta al reactor que se muestra en la Figura 16 en la sección de Anexos.
- Se conectó el reactor R-450 a un tomacorriente, se encendió el calentador presionando el botón verde de ON y se giró la palanca a la derecha. Se fijó la temperatura entre 100 – 115 °C. Se mantuvo un control constante sobre la temperatura del biodiésel para evitar evaporarlo.
- Se calentó el biodiésel por cuatro horas, observando un cambio de color considerable en el mismo combustible y se drenó abriendo la válvula de salida del reactor.

Procedimiento planta móvil:

- Se añadió el biodiésel de la planta móvil al reactor T.CH.494 usando el dispensador de combustible para lo que se abrieron las válvulas 2,3 y 4, y se conectó la bomba de recirculación a un tomacorriente de la planta
- Usando el software de la planta piloto del Departamento de Ingeniería Química e Ingeniería Química Industrial se calentó durante nueve horas la mitad del volumen de la planta móvil empleando vapor de la caldera.
- Se enfrió el combustible y se trasladó al tanque cúbico de almacenamiento del biodiésel.
- Se midió la diferencia de altura para determinar el volumen ingresado al tanque.

E. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN

Reactivos:

- Agua destilada
- Biodiésel sin lavar
- Biodiésel lavado

Equipo:

- Refractómetro digital RX-5000
- Baño térmico

Procedimiento:

- Se encendió el refractómetro digital
- Se colocó una gota de agua destilada previamente calentada a 24°C en un baño térmico empleando una piceta en el lente y se oprimió el botón de blanco para estandarizar el equipo.
- Se limpió el lente del refractómetro con un kimwipe de evitando dañar el equipo.
- Se colocó una gota del biodiésel previamente calentado a 24 °C en el baño térmico sin lavar en el refractómetro y se presionó el botón “start” para obtener el valor del índice de refracción.
- Del mismo lote de biodiésel se sacaron dos muestras de 2 mL previamente homogeneizadas mediante la agitación de las mismas con una varilla de vidrio.
- Se repitió el mismo procedimiento para el biodiésel lavado y seco.

F. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

Reactivos:

- Biodiésel sin lavar
- Biodiésel lavado
- Acetona

Equipo:

- Balanza digital analítica Boeco Germany
- Picnómetro Brand Duran Germany

Procedimiento:

- Se anotó el valor del volumen aforado que brinda el picnómetro de fábrica.
- Se obtuvo la masa del picnómetro en una balanza digital analítica.
- Se colocó una muestra de biodiésel previamente homogeneizado por agitación con una varilla de vidrio en un beaker.
- Se añadió la muestra de biodiésel al picnómetro hasta aforarlo por completo y se dejó caer el tapón para que el líquido pasara a través del capilar del mismo.
- Se limpió cuidadosamente el picnómetro por la parte exterior, asegurando que solo el líquido contenido dentro del mismo fuera a ser tomado en cuenta para la medición de la masa.
- Se anotó la masa del picnómetro que brinda la balanza digital analítica.
- Se llevó a cabo el procedimiento tres veces para poder obtener un promedio de cada lote obtenido.

- Se empleó el mismo procedimiento con el biodiésel lavado y seco.

*Ver la Ecuación 10 y el apartado 5 de los Cálculos de muestra en la sección de Anexos para una mejor comprensión de la determinación de la densidad para el líquido.

G. DETERMINACIÓN DEL pH

Reactivos:

- Biodiésel sin lavar
- Biodiésel lavado
- Solución buffer (pH 4, 7 o 10)

Equipo:

- Potenciómetro
- Electrodo Metrohm para líquidos viscosos.

Calibración del equipo

- Se encendió el potenciómetro. Se colocó el electrodo para líquidos viscosos en la parte posterior del potenciómetro.
- Se presionó la tecla “setup” dos veces y luego se presionó “enter” para borrar una estandarización ya existente.
- Se removió la tapa del electrodo, se limpió con un kimwipe y se sumergió de 1 – 2 cm en la solución buffer elegida (pH 4, 7 o 10).
- Se presionó el botón “std” para ingresar al modo de estandarización. Se esperó hasta que se estabilizara la lectura.
- Se presionó nuevamente el botón “std” para iniciar la estandarización. El medidor reconoció automáticamente el buffer y mostró de nuevo la pantalla de medición.
- Se limpió el electrodo rociándolo con agua destilada (nunca se debe secar por completo)
- Se repitió el procedimiento desde el tercer hasta el sexto punto con las demás soluciones buffer.

Medición

- Se encendió el potenciómetro.
- Se removió la tapa del electrodo y sumergió el electrodo de 1 – 2 cm en la muestra. Se agitó una vez y se esperó hasta que la lectura se estabilizara.
- Se anotaron los valores de pH y temperatura.

Mantenimiento del equipo

- Se enjuagó el electrodo con agua posterior a cada medición realizada.

H. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ÁCIDO

Reactivos:

Solución de hidróxido de potasio (0.01 mol/L):

- Se preparó la solución de KOH pesando 0.5600 g de este reactivo en una balanza digital analítica y se añadió a 1 L de 2-propanol en un balón aforado de 1000 mL.
- Se hirvió suavemente por 10 minutos en una estufa eléctrica.
- Se dejó la solución protegida del dióxido de carbono por dos días.

Ftalato ácido de potasio:

- Se colocó alrededor de 2 g de ftalato ácido de potasio en un beaker a 120°C por 2 horas en la estufa eléctrica.
- Se enfrió en un desecador.

Solución de ftalato ácido de potasio (0.01 mol/L):

- Se pesó 1.0000 g de ftalato ácido de potasio seco en la balanza digital analítica.
- Se diluyó con agua destilada en un balón de aforar de 500 mL.

Equipo:

- Balanza digital analítica Boeco Germany
- Balón aforado
- Bureta
- Estufa eléctrica
- Desecador

Estandarización del titulante (Solución 0.01 M de KOH):

- Se pipeteó 2 mL de la solución de ftalato ácido de potasio en un beaker y se añadieron 50 mL de agua destilada libre de CO₂.
- Se añadieron tres gotas de fenolftaleína y se agitó el beaker.

- Se tituló la muestra con la solución de KOH 0.01 M.
- Se prepararon dos soluciones más para estandarizar el titulante y obtener un promedio del valor del mismo.

Determinación del blanco del solvente

- Se midió 50 mL de 2-propanol en un beaker.
- Se añadió 3 gotas de fenolftaleína como indicador.
- Se agitó la muestra y se tituló con la solución de KOH 0.01 M. Se anotó el volumen empleado hasta el punto de viraje (se observó al virar a un rosado pálido que se mantuvo en la solución por 30 s).

Análisis de la muestra

- Se pesó 5.0 g de biodiésel en un beaker en la balanza digital
- Se midió 50 mL de 2-propanol en una probeta y se añadió al beaker con el biodiésel. Se mezcló vigorosamente sin salpicar ni añadir aire en el solvente.
- Se añadió tres gotas de fenolftaleína como indicador.
- Se añadió 50 mL de la solución 0.01 M de KOH a una bureta y se tituló hasta obtener el viraje en el color de la solución.

**El procedimiento se basa en el estándar D664-11a de la ASTM para el número ácido de productos de petróleo por titulación potenciométrica. Para un mayor detalle del mismo dirigirse al documento mencionado.

I. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS

Reactivos:

- Biodiésel lavado

Equipo:

- Centrífuga Damon / IEC Division
- Tacómetro Extech Instruments

Cuadro 4. Velocidades de rotación requeridas para cumplir con una fuerza centrífuga relativa (rcf) de 800 dependiendo del diámetro de oscilación de la centrífuga.

Diámetro de oscilación		rpm a una rcf de 800
in	cm	
12	30.5	2160
13	33.0	2080
14	35.6	2000
15	38.1	1930
16	40.6	1870
17	43.2	1820
18	45.7	1770
19	48.3	1720
20	50.8	1680
21	53.3	1640
22	55.9	1600
23	58.4	1560
24	61.0	1530

*El diámetro de oscilación fue medido entre las puntas opuestas de los tubos cuando se encuentran en posición de rotación. La fuerza centrífuga relativa es la fuerza centrífuga que se requiere para que se dé una separación entre dos componentes.

Control de la temperatura

- Se observó que la temperatura de la muestra se encontrara en equilibrio con la temperatura del laboratorio (entre 21 – 32 °C).
- Se obtuvo una muestra del lote en un beaker y se agitó con una varilla de vidrio por 10 minutos para asegurar la homogeneidad de la misma.

Llenado del tubo de centrífuga

- Se llenaron cuatro tubos de centrífuga hasta la marca de 50 mL directamente del contenedor de la muestra.
- Se taparon los tubos y se colocaron dentro de la centrífuga.

Operación de la centrífuga

- Se encendió la centrífuga, se midieron las revoluciones por minuto con el tacómetro de tal manera que cumpliera con la velocidad requerida en el Cuadro 4.
- Se dejó funcionando el equipo durante 10 minutos.
- Se detuvo la centrífuga y se removieron los tubos
- Se estimó y anotó el valor en conjunto del volumen de agua y de sedimentos en el fondo del tubo.

**El procedimiento se basa en el estándar D2709-16 de la ASTM para agua y sedimentos en combustibles de destilación media por centrifugación. Para un mayor detalle del mismo dirigirse al documento mencionado.

J. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA

Reactivos:

- Biodiésel lavado

Equipo:

- Viscosímetro Cannon Instruments
- Pinzas
- Soporte universal
- Baño térmico
- Cronómetro Casio

Medición del tiempo:

- Se llenó el viscosímetro con biodiésel hasta la mitad del balón del mismo.
- Se ajustó y mantuvo el viscosímetro empleando el soporte universal y las pinzas al baño térmico que se encontraba a 40 °C para que alcanzar un equilibrio térmico (observar Figura 22 en la sección de Anexos para una mayor comprensión del sistema empleado)
- Empleando un bulbo se succionó el biodiésel por encima de la primera línea.
- Se tomó el tiempo que le requirió a la muestra pasar de la primera marca a la segunda con el cronómetro. Se anotó el dato del tiempo.
- Se calculó la viscosidad cinemática, ν , en milímetros cuadrados por segundo, de cada corrida realizada. Se tomó en cuenta la constante del viscosímetro para el cálculo.
- Se hizo el mismo procedimiento tres veces para poder obtener un promedio de la viscosidad.

Limpieza del viscosímetro:

- Entre las determinaciones sucesivas de la viscosidad cinemática, se limpió el viscosímetro realizando varios enjuagues con agua, seguidos por el solvente secante.
- Se secaba el viscosímetro con aire por 2 minutos hasta que la última traza de solvente hubiese sido removida.

**El procedimiento se basa en el estándar D445-17a de la ASTM para la viscosidad cinemática de líquidos opacos y transparentes. Para un mayor detalle del mismo dirigirse al documento mencionado.

VII. RESULTADOS

Figura 9. Balance de masa y energía de la planta demostrativa de 18 L de capacidad.

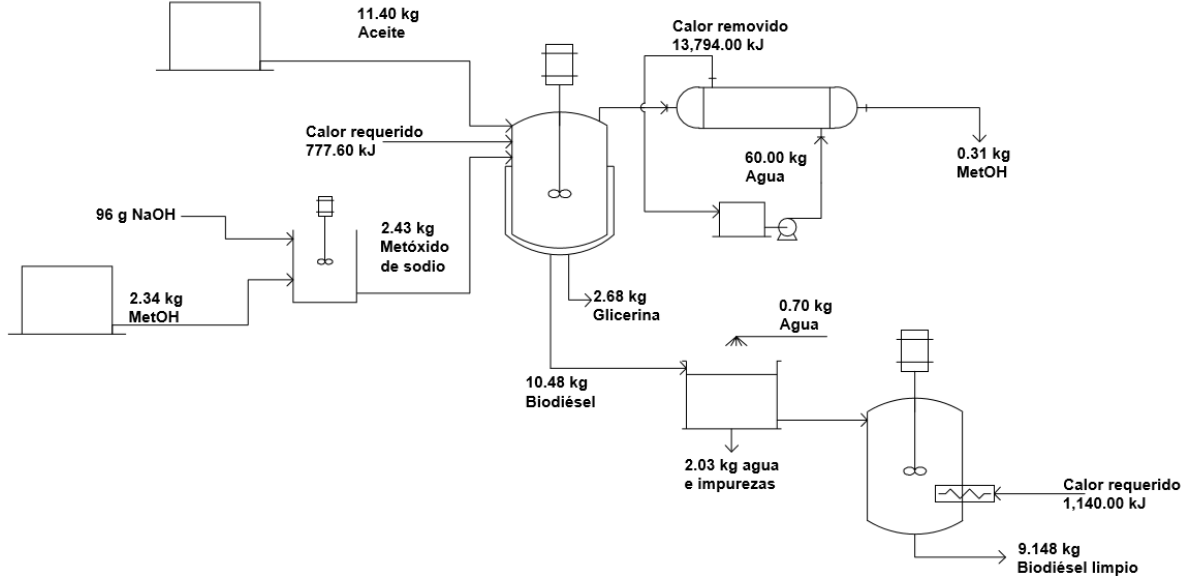
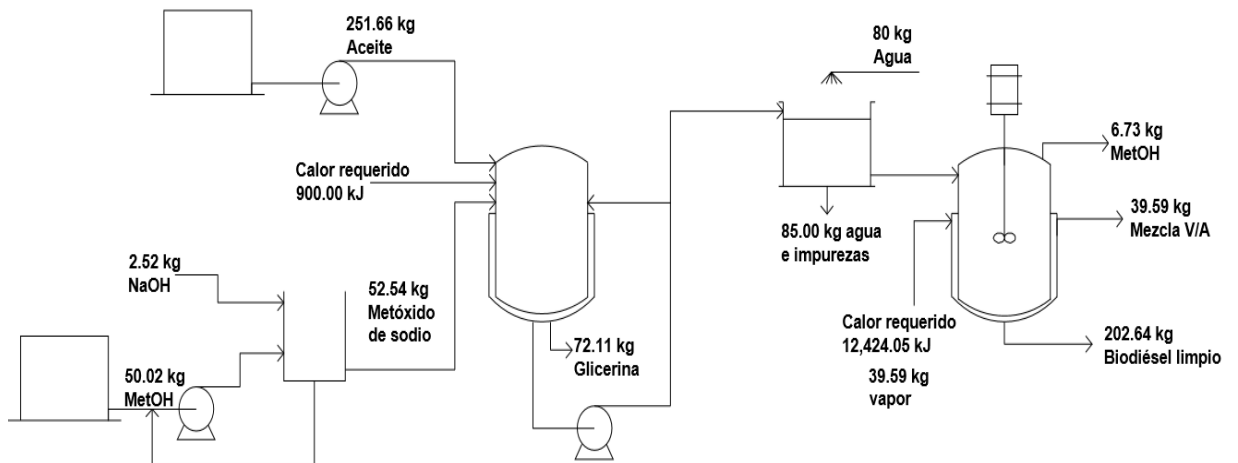


Figura 10. Balance de masa y energía de la planta móvil de 435.3 L (115 gal).



Cuadro 5. Caracterización promedio del aceite utilizado como materia prima tanto en la planta demostrativa de 18 L como en la móvil de 435.3L (115 gal).

Dato	Planta demostrativa		Planta móvil	
	Valor	Incertidumbre	Valor	Incertidumbre
Densidad (g/cm ³)	0.912	3.66E-05	0.915	3.02E-04
pH	4.650	0.002	4.784	0.002
Índice de refracción	1.47183	1.73E-05	1.47274	0.00002
Porcentaje de humedad (%)	0.39%	1.04E-05	0.13%	4.16E-06
Viscosidad (mm ² /s)	35.148	2.02E-02	40.111	2.30E-02

*Todos los valores obtenidos para cada propiedad son promedio. **El valor de la viscosidad cinemática se obtuvo a 40°C. Los demás datos se obtuvieron a 25 °C (temperatura ambiente del laboratorio). ***El aceite de la planta demostrativa era de una industria alimenticia de frituras y el de la planta móvil era de puestos de comida recolectado por la municipalidad de la ciudad de Guatemala.

Cuadro 6. Porcentaje de conversión de aceite a biodiésel de la planta demostrativa de 18 L y de la móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad.

Planta	Valor (%)	Incertidumbre	Desviación estándar
Demostrativa	80.36	0.50	1.39
Móvil	80.44	1.77	0.91

*Los valores obtenidos son promedio de las distintas corridas realizadas en cada una de las plantas. **El aceite de la planta demostrativa era de una industria alimenticia de frituras y el de la planta móvil era de puestos de comida recolectado por la municipalidad de la ciudad de Guatemala.

Cuadro 7. Porcentaje de recuperación de metanol de la planta demostrativa de 18 L.

Valor	Incertidumbre	Desviación estándar
13.45%	1.97%	1.57%

*El dato obtenido es un promedio de los cinco lotes producidos en cada una de las plantas utilizadas.

Cuadro 8. Resultado de las pruebas basadas en las normas ASTM D 6751-06 para el biodiésel obtenido de la planta demostrativa de 18 L y para la planta móvil de 435.3 L (115 gal).

Propiedad	Planta demostrativa			Planta móvil		
	Valor	Incertidumbre	Desviación estándar	Valor	Incertidumbre	Desviación estándar
Número ácido (mg KOH / g)	0.063	0.049	2.89E-02	0.315	0.045	1.20E-01
Agua y sedimentos (% V/V)	NA	---	---	4.17%	1.60E-03	1.25E-02
Viscosidad (mm ² /s)	4.62	0.01	0.05	4.74	5.60E-03	7.14E-02

*Los valores obtenidos de las pruebas son un promedio de las distintas corridas realizadas en cada una de las plantas.

**NA indica que no es apreciable algún valor.

Cuadro 9. Caracterización del biodiésel lavado y seco obtenido a partir de la planta demostrativa de 18 L y de la planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad.

Propiedad	Planta demostrativa			Planta móvil		
	Valor	Incertidumbre	Desviación Estándar	Valor	Incertidumbre	Desviación Estándar
Agua y sedimentos (% V/V)	NA	---	---	4.17%	1.60E-03	1.25E-02
Densidad (g/cm ³)	0.875	6.60E-04	8.20E-04	0.877	5.12E-04	3.69E-03
Índice de refracción	1.45532	3.87E-05	5.88E-05	1.45484	3.00E-05	4.04E-04
pH	5.470	3.88E-03	1.29E-01	5.340	3.00E-03	4.63E-02
Número ácido (mg KOH / g)	0.063	0.049	2.89E-02	0.315	0.045	1.20E-01
Viscosidad (mm ² /s)	4.62	0.01	0.05	4.74	5.60E-03	7.14E-02

*Los valores obtenidos para cada propiedad son un promedio de las distintas corridas realizadas en cada planta.

Cuadro 10. Costos de producción de biodiésel y cantidad de lotes requeridos para la recuperación de la inversión de la planta demostrativa y móvil.

Dato	Planta demostrativa	Planta móvil
Costo de producción (Q)	25.74	5.68
Cantidad de lotes	5,413	169

*En el costo se tomaron en cuenta únicamente las materias primas, servicios auxiliares, equipo de seguridad y la mano de obra.

Cuadro 11. Cuadro comparativo de las plantas empleadas en la producción de biodiésel.

Dato	Planta demostrativa (18 L)	Planta móvil (435.3 L)
Porcentaje de conversión	80.36 %	80.44 %
Porcentaje de recuperación de metanol	13.45 %	0.00%
Estándar de número ácido	X	X
Estándar de porcentaje de agua y sedimentos	X	X
Estándar de viscosidad cinemática	X	X
Costo de producción	25.74	5.68
Cantidad de lotes	5,413	169

*La X indica que cumple con el estándar mencionado.

Se llevó a cabo la elaboración del Manual de Uso de la Planta Móvil de 115 gal de capacidad del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, referirse a la página 84 de la sección de Anexos para utilizar el mismo al momento de operar la planta.

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Uno de los aspectos importantes a tomar en cuenta fue la determinación de las propiedades del aceite usado, ya que esta es la principal materia prima para la elaboración del biocombustible. Las propiedades que se determinaron se encuentran en el Cuadro 5 de la sección de Resultados. Dentro de los datos obtenidos, el porcentaje de humedad es uno de los más relevantes debido a que el contenido de agua presente en el mismo puede dar paso a la reacción de saponificación, en donde se obtiene como producto principal jabón en lugar de biodiésel. El aceite vegetal de la industria alimenticia empleado para la planta demostrativa contiene un mayor contenido de agua (0.39%) que el aceite municipal (0.13%). Esto se observó con la formación de jabones que se separaban en la decantación de la glicerina los cuáles no se pudieron cuantificar debido a que se mezclaban con el subproducto. Por otra parte, la humedad presenta un problema ya que reduce el porcentaje de conversión del aceite a biodiésel, también conlleva a la necesidad de otras etapas para la purificación del combustible y aumentan la probabilidad de que se formen emulsiones en el proceso de lavado, esto afecta nuevamente al rendimiento.

Comúnmente se emplea aceite usado antes que un aceite virgen para la producción de biodiésel. Una de las razones por la que se realiza de esta forma es debido a que se considera un producto residual, por lo que es aprovechado para reducir la contaminación de las aguas y los suelos, ya que se dispone del mismo en el alcantarillado público, y se recicla para obtener un producto con una aplicación diferente. Otra razón es el costo que representa emplear un aceite nuevo o virgen, ya que este es mayor, aumentando el costo de venta del biodiésel que se produce. Por otra parte, el aceite usado se vende a un menor precio, a pesar de que conlleva procesos de purificación tales como filtración y secado antes de ingresar al sistema, por lo que el precio de venta disminuye. La razón principal por la cual se usa el aceite usado antes que cualquier aceite virgen se debe a que empleando este producto como materia prima se evita la contaminación de los suelos y las aguas.

En la producción de biodiésel se empleó una relación de aproximadamente 5:1 de aceite con alcohol para las dos plantas, en ambas el alcohol representa un 20% (m/m) del aceite usado. El catalizador, hidróxido de sodio, se empleó en una cantidad del 1% (m/m) del aceite usado como se indica comúnmente en los antecedentes. De esta manera se garantiza que todo el aceite sea convertido a biodiésel en la reacción, ya que el metanol se encuentra como un reactivo en exceso, del cual se puede recuperar 13.45% de la masa empleada en la planta demostrativa. En la planta móvil no es posible llevar a cabo la recuperación del metanol debido a que la resistencia del equipo de calentamiento no es capaz de elevar la temperatura más de 55 °C, por lo que la mayor parte del alcohol es retenido en la glicerina y otra en menor cantidad se queda en el biodiésel. El metanol es removido en los procesos de lavado y posteriormente en el deshidratado del biodiésel.

Con el dato de la planta demostrativa se determinó que se necesita el volumen recuperado de metanol de ocho lotes para obtener el volumen de metanol requerido en la fabricación de un noveno lote, reduciendo de esta manera los costos de fabricación del biodiésel. Se considera importante la evaporación del metanol porque si este compuesto es retenido dentro del biodiésel al momento de emplearlo como combustible en cualquier vehículo se daña el sistema de inyección del mismo, además de ser un compuesto explosivo que puede perjudicar al motor. En el caso de la planta móvil el metanol se pierde por completo en las etapas de lavado y de secado.

Al momento de operar las plantas se tomaron en cuenta dos factores: el tiempo y la temperatura de reacción. El tiempo varió dependiendo del resultado de la prueba 3-27. El tiempo estimado de reacción eran tres horas, al pasar este tiempo se realizaba la prueba la cual se basaba en la toma de una muestra de 3 mL del tanque de reacción que se mezclaba con 27 mL de metanol en un recipiente, agitándolo constantemente durante cinco minutos, si se obtenía la separación de aceite del metanol en el fondo del recipiente se dejaba la muestra 30 minutos más en el reactor. Pasado este tiempo era necesario repetir la prueba para comprobar cualitativamente que todos los ácidos grasos habían reaccionado con el metanol. Se determinó que el tiempo de reacción requerido para la conversión de la mayor parte del aceite fue de 3 – 3.5 horas para la planta demostrativa, mientras que para la planta móvil fue de 4.5 – 5 horas. La temperatura a la cual se llevó a cabo la reacción se mantuvo constante, siendo 60 °C a la cual se operaron las plantas.

Dentro de los equipos utilizados para la producción del biodiésel se contó con una planta demostrativa de 18 L de capacidad, a la cual se le adaptó una bomba centrífuga y un reservorio, esto con el fin de emplear únicamente un volumen determinado de agua que se utilizaría en el intercambiador de calor mediante la recirculación del líquido al mismo reservorio. Tomando en cuenta que solo se emplea un volumen fijo de agua de enfriamiento para la producción de un lote de biodiésel, los costos se ven disminuidos ya que no se desperdicia el líquido, sin embargo, el tiempo de evaporación y recuperación del metanol al terminar la reacción aumenta debido a que esta va aumentando su temperatura y reduciendo su eficiencia para enfriar.

Entre las diferencias que muestran ambas plantas son la forma en la que realizan la agitación de la mezcla de aceite con metóxido de sodio, ya que la demostrativa contiene un agitador doble de hélice con agitación tipo axial mientras que la planta móvil emplea la bomba centrífuga como medio de agitación por recirculación al tanque de reacción, este método se considera menos efectivo debido a que no crea una mayor turbulencia para que ocurra de forma más eficiente la transferencia de masa, aumentando el choque entre compuestos. Otro aspecto de comparación es el método de calentamiento de ambas plantas, ya que la demostrativa emplea un sistema automatizado de resistencia en donde se fija la temperatura para aumentar la temperatura y esta se mantiene en ese valor hasta que sea modificado por el usuario en el panel de control, mientras que el método de calentamiento de la planta móvil es usando una resistencia, la cual mantuvo la mezcla a una única temperatura durante la reacción por lo que el tiempo para la obtención del biodiésel aumentó. También por

los volúmenes con los que se trabajó era más complicado para la resistencia de la planta móvil homogeneizar la temperatura en todo el tanque de reacción, aumentando esto el tiempo de operación.

En dos de los cinco lotes realizados en la planta demostrativa se formó jabón, la razón principal por la que esto ocurrió se debe al porcentaje de agua que se encontraba en el aceite, 0.39% (m/m), y otro factor que influenció a la formación de estos productos no deseados fueron los sólidos suspendidos en el aceite. Estos sólidos se obtenían del aceite ya que se realizaba un mezclado en el tanque que contenía la materia prima para tener una muestra homogenizada que representara al aceite. Es recomendable que el aceite sea filtrado para la remoción de los sólidos suspendidos, reduciendo la probabilidad de formar jabones en el tanque de reacción que afecten la calidad del producto. En la planta móvil se redujo la cantidad de sólidos suspendidos debido a que el aceite municipal se filtró en un filtro prensa previo a ser utilizado, removiendo compuestos que permiten la absorción de agua y reduciendo las posibilidades en la formación de jabones.

El proceso de lavado del biodiésel es de vital importancia, en este se remueven las impurezas y otros compuestos tales como: jabones, sales, glicerina, metanol, etc., los cuales pueden afectar al desempeño del biocombustible al momento de ser utilizado. También se remueve el catalizador de hidróxido de sodio empleado ya que este no forma parte de los productos, debido a esto el biodiésel sin lavar se encuentra con un pH inicial bastante básico. En el Cuadro 16 de la sección de Anexos se encuentran los volúmenes utilizados para los lavados del biodiésel y en el Cuadro 18 se observan los cambios de pH de inicial a final en cada uno de los lotes producidos tanto para la planta demostrativa como para la planta móvil. Es conveniente realizar los lavados hasta que el agua se encuentre clara y con un pH cercano al neutro, de esta manera se puede asegurar que el catalizador ha sido removido de forma exitosa del biodiésel (observar Figura No. en la sección de Anexos para comprender el cambio en el color del agua de lavado).

Debido a los volúmenes de aceite y metanol utilizados para la producción del biodiésel en la planta móvil fue necesaria un mayor número de lavados y, por ende, una mayor cantidad de agua requerida, esto se debe a que se utilizó una mayor cantidad de hidróxido de sodio como catalizador y por el metanol presente en el mismo, ya que el alcohol posee una mayor afinidad por el agua debido a los puentes de hidrógeno presentes en ambos compuestos.

Cabe mencionar que el método por el cual se llevó a cabo el lavado para ambas plantas fue por aspersión de agua mediante, de esta manera se evita que el agua y el biodiésel entren en contacto de manera violenta, y aumenta el área de contacto entre ambos líquidos, removiendo una mayor cantidad de impurezas y otros compuestos. Este procedimiento se realizó creando una neblina con las cantidades de agua de los cuadros 16 y 17, siendo el primer lavado el de mayor volumen ya que se busca la mayor cantidad de remoción de compuestos no deseados en la planta demostrativa. El tiempo de separación entre la fase acuosa y la fase del biodiésel fue de dos horas por lavado para la planta demostrativa, asegurando de esta manera que la mayoría

de las moléculas de agua se hayan separado del biodiésel para su posterior decantación. En la planta móvil el lavado fue de forma continua por la facilidad del reactor empleado, que permitió la decantación del agua por la sección cónica del mismo (observar Figura 17 en la sección de Anexos).

Uno de los inconvenientes en la etapa de lavado fue la pérdida de biodiésel debido a la formación de emulsiones dentro del tanque empleado para realizar la purificación del biocombustible. Se dio paso a la formación de dos fases en el proceso de lavado del biodiésel en la planta demostrativa: emulsión y agua de lavado, las cuales deben de ser descartadas afectando al porcentaje de conversión de aceite a biodiésel. Utilizando un embudo de decantación se recuperó la mayor cantidad de biodiésel del agua de lavado y de las emulsiones formadas en cada lote.

El secado se realizó con la evaporación de agua dentro de un reactor. En este equipo se llevó a cabo la transferencia de calor de la resistencia eléctrica que formaba parte de la chaqueta del equipo al biodiésel lavado que se encontraba dentro del mismo, manteniendo la temperatura del combustible en el tanque alrededor de los 100 °C, siendo esta más que suficiente para vaporizar el agua por la presión atmosférica (0.966 atm aproximadamente) a la cual se trabajó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias. Se debe considerar el hecho de que el punto de ebullición del biodiésel es de 130 °C, por lo que si no se tiene un control adecuado de la temperatura esto puede incurrir en pérdidas del producto de interés. El reactor también contaba con un agitador, con este se favorecía la transferencia de calor ya que el régimen del biodiésel era turbulento, al mismo tiempo esto favorecía la transferencia de masa al ambiente, separando las moléculas de agua remanente en el biodiésel de forma más rápida y eficiente. El tiempo de secado en el reactor utilizado para la planta demostrativa fue de aproximadamente cinco horas mientras que el biodiésel de la planta móvil requirió de 18 horas para secar por completo el volumen, esto se ve afectado por la capacidad del reactor.

En el Cuadro 4 de la sección de Resultados se puede observar el porcentaje de conversión de aceite a biodiésel para las dos plantas utilizadas. En la demostrativa se obtuvo en promedio un porcentaje de conversión del 80.36% con una incertidumbre de ± 0.50 % y una desviación estándar de 1.39%, mostrando de esta manera que existe un mayor error debido a la diferencia entre los datos que por los errores aportados por los equipos y cristalería empleada para su determinación. Por otra parte, para la planta móvil se tiene que un 80.57 % se convirtió en biodiésel, en esta la incertidumbre era ± 1.44 % y la desviación era de 1.10%, esta planta muestra una mayor eficiencia de conversión en un tiempo mayor que la demostrativa. Los factores de agitación y temperatura son los de mayor influencia en la conversión del aceite a biocombustible en la planta móvil, esto ya que el medio de agitación no es el más eficiente, aunque la decantación de glicerina permitiendo el paso de biodiésel para asegurarse que no queden rastros del mismo compuesto también afecta. Es necesario que disminuya la temperatura de la mezcla para que ambos compuestos den paso a la formación de dos fases claramente separadas.

El porcentaje de conversión se pudo ver afectado por distintos factores durante todo el proceso de producción del biodiésel. En los cuadros 41 y 42 del apartado de Datos Calculados en la sección de Anexos se observan los porcentajes de pérdidas en cada uno de los lotes producidos, en la planta demostrativa y la móvil respectivamente. En ambas plantas se pueden encontrar pérdidas por trasvase de los materiales, aunque esta fuente resulta ser la de menor contribución. Por otra parte, en la planta demostrativa resulta complicado recuperar todo el material que entra a la planta, principalmente en el tanque de decantación de la glicerina. Otra fuente de pérdidas de material resulta en la disposición de biodiésel debido a la formación de las emulsiones al lavar el biodiésel saliente de las plantas; por último, en el proceso de secado si no se tiene un control constante de la temperatura se puede dar una evaporación de cierta cantidad de biodiésel junto con el agua.

Se realizaron pruebas a nivel laboratorio para determinar si la planta demostrativa como la planta móvil cumplían o no con los estándares de calidad establecidos la organización internacional ASTM, siendo estas pruebas específicas para biodiésel: agua y sedimentos, número ácido y viscosidad cinemática.

La primera prueba en llevarse a cabo fue la de número ácido o número de acidez, esta se considera importante debido a que es una manera de medir el número de grupos de ácidos carboxílicos que se encuentran en un compuesto químico, como pueden ser los ácidos grasos que forman parte de los aceites o grasas que se usaron como materias primas. De esta forma se puede tener una medida de la cantidad de aceite que pudo no haber reaccionado. En el Cuadro 1 de la sección de Marco Teórico se puede observar el límite máximo permitido por la norma ASTM para la acidez expresada en miligramos de hidróxido de potasio por gramo de muestra.

Para realizar las titulaciones se estandarizó la solución de hidróxido de potasio con otra de ftalato ácido de potasio, de esta manera se conocía realmente la molaridad de la solución de KOH. Se determinó que en promedio para los lotes producidos en la planta demostrativa el valor del número ácido era de $0.063 \frac{mg\ KOH}{g}$, este dato se encuentra por debajo del límite máximo establecido por la norma internacional el cual es de $0.5 \frac{mg\ KOH}{g}$. En el cuadro 45 se encuentran los valores del número de acidez obtenido en la planta móvil, mostrando que la mayor cantidad de los ácidos grasos libres se convirtieron en biodiésel. Por otra parte, en la planta móvil también se cumplió con el límite, sin embargo, los valores fueron mayores obteniendo un promedio de $0.289 \frac{mg\ KOH}{g}$, mostrando que la cantidad de ácidos grasos se encuentra en una mayor cantidad, por lo que el volumen requerido de hidróxido de potasio es mayor para su neutralización.

Otra prueba realizada fue la del porcentaje de agua y sedimentos presentes en el biodiésel lavado y seco obtenido en ambas plantas, esta se realizó para asegurarse que ninguna cantidad de estos compuestos se encuentre en el producto ya que causa ensuciamiento y problemas en los sistemas de combustión. Para la

realización de esta prueba fue necesario utilizar tubos de centrífuga con la mitad del volumen indicado en la metodología, sin embargo, se realizaron varias pruebas y el porcentaje se calculó en base a los 50 mL de muestra empleados para determinar el porcentaje en volumen de agua y otros compuestos. La centrífuga operó a una velocidad mayor de la indicada en el Cálculo 9 en el apartado de Cálculos de Muestra para la sección de Anexos para asegurar que se cumpliera con el requisito de fuerza centrífuga relativa indicada por el método, la cual dependía de la distancia de punta a punta. El Cuadro 30 muestra los resultados obtenidos en las corridas realizadas con la centrífuga para la determinación del porcentaje volumétrico de la prueba, demostrando que en ninguna de las pruebas realizadas es apreciable un volumen de agua y sedimentos, por lo que el biodiésel producido en la planta demostrativa aprueba con este aspecto respecto a la norma. Para la planta móvil se obtuvieron los volúmenes de sedimentos en el Cuadro 31, siendo estos mucho mayores a los permitidos por la norma ASTM para el contenido de agua y sedimentos, estos se encontraban compuestos principalmente por jabones que se formaban al enfriarse el biodiésel. Es recomendable emplear una mayor cantidad de lavados para remover estos compuestos y de esta manera evitar los daños al motor del equipo.

La última propiedad tomada en cuenta para determinar si el combustible cumplía con los estándares de calidad seleccionados fue la viscosidad. La medición se llevó a cabo con un viscosímetro empleando un baño térmico para mantener la temperatura de 40 °C constante durante la medición como se puede observar en la Figura 18. Esta propiedad es un dato relevante ya que a partir de este se puede evitar tanto fugas en el inyector del motor de combustión como pérdida de potencia de la bomba de inyección del combustible. Los datos de tiempos obtenidos en triplicado se muestran en el Cuadro 25 en el apartado de Datos Originales de la sección de Anexos y en el Cuadro 26 del apartado de Datos Calculados para la misma sección se encuentran los valores obtenidos de viscosidad del biodiésel. En promedio para la planta demostrativa se obtuvo un valor de $4.62 \pm 0.01 \text{ mm}^2/\text{s}$ y para la planta móvil fue de $4.74 \pm 0.04 \text{ mm}^2/\text{s}$ encontrándose ambos productos dentro del rango establecido para la viscosidad de la norma ASTM.

Es importante determinar el costo de producción de cada lote de biodiésel. Para esto se tomaron en cuenta los costos de las materias primas, de los servicios auxiliares (agua y energía eléctrica y vapor en el caso de la planta móvil), el equipo de seguridad necesario, y de la mano de obra. Los datos de materias primas y equipos de seguridad se obtuvieron a partir del área de compras del departamento de Ingeniería Química e Ingeniería Química Industrial. Para los servicios auxiliares se empleó el dato brindado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) de tarifa industrial y a la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA). El salario por hora de la mano de obra se basó en el salario mínimo establecido por el Ministerio de Trabajo y Previsión Social, tomando en cuenta las prestaciones que se encuentran detalladas en el Cuadro 37. en el apartado de Datos Originales en los Anexos.

Cada una de las plantas cuenta con distintos equipos que afectan al consumo tanto de energía como de agua. Al ser la planta móvil de mayor volumen, por su elevado porcentaje de conversión y por el bajo

consumo energético por parte de los equipos eléctrico que posee se obtiene un precio por litro de Q5.68 mientras que la planta demostrativa conlleva a un alto costo de producción principalmente por el consumo de servicios auxiliares, elevándose el precio de producción hasta Q25.74 por cada litro producido. Otro aspecto que afecta a la planta es el tiempo que se debe de operar, ya que con esto se incurre a gastos de energía y mano de obra, siendo esta última la de mayor aporte al gasto.

En el Cuadro 8 del apartado de Datos Calculados en los Anexos se muestran los costos obtenidos de producción de un litro de biodiésel y la cantidad de lotes que se deben de producir para la recuperación de la inversión en cada una de las plantas trabajadas. Es importante determinar la cantidad de lotes que deben elaborarse ya que lo que se busca con este tipo de equipos es generar ganancias lo más pronto posible. En el Cuadro 8 se muestra que debido a una inversión más alta y la baja producción en volumen de la planta demostrativa se requieren de 5,413 lotes, mientras que en la planta móvil se requieren de 169 lotes, que es un valor menor que se ve afectado por su bajo costo de inversión y su diferencia en el precio de producción y de venta. Comparado con los precios del diésel derivado de petróleo el biodiésel se encuentra en desventaja por su precio, no obstante, si se realizan mezclas entre ambos compuestos el precio puede disminuir y se logra también reducir las emisiones que aportan al efecto invernadero.

IX. CONCLUSIONES

El aceite utilizado para la producción de biodiésel en la planta demostrativa presentó una densidad de $0.912 \pm 3.02\text{E-}04 \text{ g/cm}^3$, un índice de refracción de 1.47183 ± 0.00002 , una viscosidad de $35.643 \pm 0.020 \text{ mm}^2/\text{s}$, un pH de 4.650 ± 0.002 y por último un porcentaje de humedad de $0.33 \pm 5.26\text{E-}06 \%$ mientras que el aceite empleado para la producción de biodiésel en la planta móvil fue caracterizado presentando una densidad de $0.915 \pm 3.02\text{E-}04 \text{ g/cm}^3$, un índice de refracción de 1.47183 ± 0.00002 , una viscosidad de $40.111 \pm 0.023 \text{ mm}^2/\text{s}$, un pH de 4.784 ± 0.002 y por último un porcentaje de humedad de $0.13 \pm 4.16\text{E-}06 \%$.

En la planta demostrativa de 18 L de capacidad es viable la recuperación promedio de $13.45 \pm 1.97 \%$ de los 2.34 kg de metanol que se emplean como materia prima con lo que se lleva a cabo la reducción de la pérdida de este reactivo al realizar la transesterificación del aceite vegetal usado.

El biodiésel producido en la planta demostrativa presentó una densidad de $0.875 \pm 6.60\text{E-}04 \text{ g/cm}^3$, un índice de refracción de $1.45532 \pm 3.87\text{E-}04$, una viscosidad de $4.62 \pm 0.01 \text{ mm}^2/\text{s}$, un pH de $5.470 \pm 3.88\text{E-}03$, un porcentaje de agua y sedimentos no apreciable y un número ácido de $0.063 \pm 0.049 \frac{\text{mg KOH}}{\text{g}}$, cumpliendo de esta manera con los tres estándares de calidad analizados de la norma ASTM; el biodiésel elaborado en la planta móvil presentó una densidad de $0.877 \pm 5.12\text{E-}04 \text{ g/cm}^3$, un índice de refracción de $1.45484 \pm 3.00\text{E-}05$, una viscosidad de $4.74 \pm 5.60\text{E-}03 \text{ mm}^2/\text{s}$, un pH de $5.340 \pm 3.00\text{E-}03$, un porcentaje de agua y sedimentos de $4.17 \pm 1.60\text{E-}03 \%$ (v/v) y un número ácido de $0.315 \pm 0.045 \frac{\text{mg KOH}}{\text{g}}$, cumpliendo con dos estándares de calidad, no obstante, no cumple con el porcentaje de agua y sedimentos establecidos por la norma ASTM que se presentan en el Cuadro 1 de la sección de Marco Teórico para ser considerado un producto de calidad.

El porcentaje de conversión de aceite vegetal usado a biodiésel en la planta demostrativa de 18 L de capacidad fue de $80.36 \pm 0.50 \%$ mientras que en la planta móvil de 435.3 L (115 gal) fue mayor, obteniendo una conversión del $80.44 \pm 1.77\%$, siendo esta la de mejor conversión y superando ambas a la planta piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle con una conversión del 75.00%.

El costo de producción de un litro de biodiésel tomando en cuenta los costos de materias primas, servicios auxiliares y equipo de seguridad es de Q25.74 y de Q5.68 para la planta demostrativa y móvil respectivamente por lo que no se considera que el de la demostrativas sea un producto competitivo ante los combustibles comerciales convencionales derivados del petróleo debido a que no se emplea como una planta industrial, sin embargo la planta móvil se puede considerar competitiva debido a la cantidad que se produce en la misma.

La cantidad de lotes que se deben producir para recuperar la inversión de la planta demostrativa de 18 L de capacidad son 5,413 y los que se necesitan para recuperar la inversión de la planta móvil son 169 asumiendo un precio de venta por litro de biodiésel de Q30.00 por litro.

Se elaboró el manual de uso para la planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad para su posterior utilización en actividades del Departamento de Ingeniería Química e Ingeniería Química Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala (ver página 84) el cual consta de: información de seguridad, términos básicos, consejos para selección del aceite, el procedimiento para titulación de los ácidos grasos, pruebas que se recomiendan, diagrama del equipo, metodología, solución de problema, preguntas frecuentes y hojas de seguridad de los reactivos.

X. RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo el secado del aceite usado como siguiente paso de la filtración previo a utilizarlo dentro de la planta demostrativa o móvil debido a que dentro de los sólidos que se encuentran en el mismo, se puede hallar un porcentaje de agua capaz de saponificar para dar paso a la formación de jabón en lugar del producto de interés que es el biodiésel.

Llevar a cabo una titulación de los ácidos grasos libres que se encuentran en el aceite para poder determinar la cantidad necesaria de hidróxido de sodio (NaOH) que se debe agregar a cualquiera de las plantas para poder neutralizarlos. De esta forma se asegura que el porcentaje de aceite que se convierte a biodiésel es alto y que la calidad será mejor.

Emplear un aceite que no tenga mucho tiempo almacenado debido a que se da la oxidación del mismo. También asegurarse que el aceite se encuentre protegido contra el agua y la humedad ya que esto es un factor que afecta a la obtención de biodiésel, dando paso a la formación de jabones.

Determinar la cantidad mínima requerida de metanol para que ocurra la reacción en la planta móvil, debido a que el tanque de almacenamiento/producción de metóxido de sodio no posee la capacidad adecuada para almacenar la mezcla al emplear 250 kg de aceite para la producción de biodiésel.

Realizar el acoplamiento de una resistencia de mayor potencia a la planta móvil con el fin de mejorar el sistema de calentamiento para que se alcancen valores mayores a 55 °C, de esta manera se favorece a la formación de los productos en la reacción y el tiempo de conversión disminuye ya que la resistencia empleada no es el equipo más eficiente. Al momento de llevar a cabo el cambio de resistencia se deben de considerar las conexiones eléctricas del sistema para evitar un cortocircuito o sobrecalentamiento de los cables, sistemas de venteo para evitar una sobrepresión por los gases que se producen dentro del tanque de reacción, las limitaciones de temperatura de trabajo de la bomba para evitar daños a la misma, adecuar un pirómetro al tanque y adaptar un reóstato a la resistencia para tener control sobre la temperatura de la mezcla en el tanque y de operación del sistema.

Idear un sistema de recuperación de metanol para la planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad posterior a la instalación de la resistencia de mayor potencia ubicándolo en el mismo equipo tomando en cuenta el intercambiador de calor necesario para condensar el gas de metanol que se pueda producir y el tanque de almacenamiento de agua de refrigeración con el que funcionaría el equipo, debido a que se emplea

una gran cantidad de metanol que es perdido por completo en la glicerina y en el lavado y secado del biodiésel.

Realizar los lavados del biodiésel en un recipiente transparente o que cuente con un visor en la parte inferior que sea inerte al mismo, de esta forma se puede tener un mejor control del proceso para asegurar que se dio por completo la separación entre la fase acuosa y la oleosa.

Realizar cuidadosamente la separación por medio de decantación entre el biodiésel y el agua de lavado, de esta manera se procura evitar que se dé la formación de emulsiones las cuales afectan al porcentaje de conversión de aceite al biocombustible.

Es recomendable tratar el agua de lavado del biodiésel debido a que esta se encuentra muy alcalina y con varias impurezas que pueden contaminar las aguas residuales que se dirigen a distintos cuerpos receptores (ríos o lagos).

Se recomienda llevar a cabo un análisis de la emisión de gases de combustión en el vehículo experimental, perteneciente al del Departamento de Ingeniería Química e Ingeniería Química Industrial, utilizando el biodiésel producido tanto en la planta demostrativa como en la móvil para determinar la composición de los mismos y el rendimiento del biocombustible producido.

Utilizar el equipo de protección adecuado (bata de laboratorio, botas industriales, guantes y lentes) ya que se está trabajando con diferentes reactivos que son perjudiciales para la salud del ser humano, al igual que al momento de manipular el biodiésel y llevara cabo las respectivas pruebas al mismo.

XI. BIBLIOGRAFÍA

Ahmad, M., Ajab, M., Zafar, M. y S. Sultana. (2013). *Practical Handbook on Biodiesel Production and Properties*. CRC Press, Florida. 156 pp.

Avhad, M. y J. Marchetti. (2015). *A review on recent advancement in catalytic materials for biodiesel production*. Renewable and Sustainable Energy Review. Vol. 50: 696 – 718 pp.

Barnwal, B. y M. Sharma. (2005). *Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India*. Renewable and Sustainable Energy Review. 9:363–378 pp.

Borgman, D. (2007). *Agriculture, bio-fuels and striving for greater energy independence*. Jonh Deere bio-fuels white paper. 10 pp.

Goering, C., Schwab, A., Daugherty, M., Pryde, E. y J. Heakin. (1982). *Fuel properties of eleven oils*. Transactions of ASAE 25: 1472 – 1483 pp.

Hernández, J., Zambrano, G. y C. Rossi. (2014). *Producción de biodiesel a escala planta piloto utilizando catálisis ácida y básica*. Revista de la Universidad del Valle de Guatemala. Vol. 28: 90 – 94 pp.

Kansedo, J., Lee, K. y S. Bhatia. (2009). *Cerbera odollam (sea mango) oil as a promising nonedible feedstock for biodiesel production*. Fuel Vol. 88: 1148 – 1150 pp.

Kapur, J., Bashin, D. y K. Marthur. (1982). *Oilseeds for food and industrial applications*. Chemical Age India 33 (9): 475 – 482 pp.

Knothe, G., Van Gerpen, J. y J. Krahl. (2005). *The biodiesel handbook*. AOCS Press, Illinois. 303 pp.

Knothe, G. (2010). *Calidad del combustible biodiésel y la norma ASTM*. Revista PALMAS. Vol. 31: 162 – 171 pp.

McDonnell, K., Shane, M. y P. McNulty. (1999). *Result of engine and vehicle testing of semi-refined rapeseed oil*. 10th International Rapeseed Congress Canberra, Australia.

Medina, M., Ospino, Y. y L. Tejeda. (2014). *Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiésel*. Revista Luna Azul. Vol. 40: 25 – 34 pp.

Meng, X., Chen, G. y Y. Wang. (2008). *Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test*. Fuel Processing Technology. Vol. 89: 851 – 857 pp.

Montero, G., Stoycheva, M., García, C. y A. Vásquez. (2014). *Current Status of Biodiesel production in Baja California, Mexico*. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/260115215_9_Current_Status_of_Biodiesel_Production_in_Baja_California_Mexico [con acceso el 15 de septiembre de 2017].

Othmer, K. (2007). *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. 5a edición. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey. 944 pp.

Peterson, C. (2007). *Biodiesel from field to fuel*. Welcoming remarks. University of Idaho. Obtenido de: <http://web.cals.uidaho.edu/biodiesel/files/2012/11/Chucks-welcome.pdf> con acceso el 27 de julio de 2017.

Peterson, C., Reece, D., Cruz, R. y J. Thompson. (1991). *A comparison of ethyl and methyl esters of vegetable oils as diesel fuel substitute. Liquid fuels from renewable resources*. In Proceedings of an Alternative Energy Conference of ASAE, 99–110 pp.

Sinha, S., Agarwal, A. y S. Garg. (2008). *Biodiesel development from rice bran oil: transesterification process optimization and fuel characterization*. Energy Conversion and Management. 49 (5): 1248 – 1257.

Sonntag, N. (1979). *Structure and composition of fats and oils. Bailey's industrial oil and fat products*. 4a ed. Vol. 1: p. 1. Wiley and Sons, Nueva York.

Srivastva, P. y M. Verna. (2008). *Methyl ester of karanja oil as an alternative renewable source energy*. Fuel 87:1673 – 1677 pp.

Varty, A. y S. Lishawa. s.f. *Haciendo biodiésel de aceite vegetal usado*. Obtenido de: <https://greenteacher.com/article%20files/haciendobiodiesel.pdf> [28 de septiembre de 2017].

Wade, L. (2011). *Química orgánica: volumen 2*. 7ma edición. Pearson Educación, México D.F. 656 pp.

Young, D. y Y. Guo (2006). *Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production*. Fuel Processing Technology. Vol. 87: 883 – 890 pp.

Zambrano, G., Rossi, C. y J. Hernández. (2014). *Emisión de gases en vehículo experimental diésel-biodiésel*. Revista de la Universidad del Valle de Guatemala. Vol. 27: 64 – 67 pp.

ASTM. (2017). *Frequently Asked Questions*. Obtenido de: <https://www.astm.org/FAQ/index-spanish.html#anchor1> [16 de septiembre de 2017].

XII. ANEXOS

A. DIAGRAMA DEL PROCESO

Figura 11. Diagrama de bloques del proceso de producción de biodiésel.

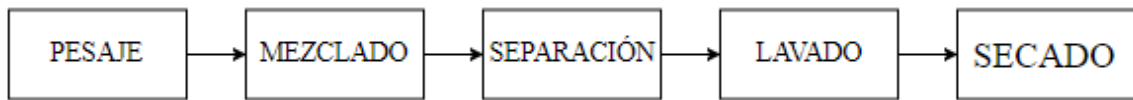
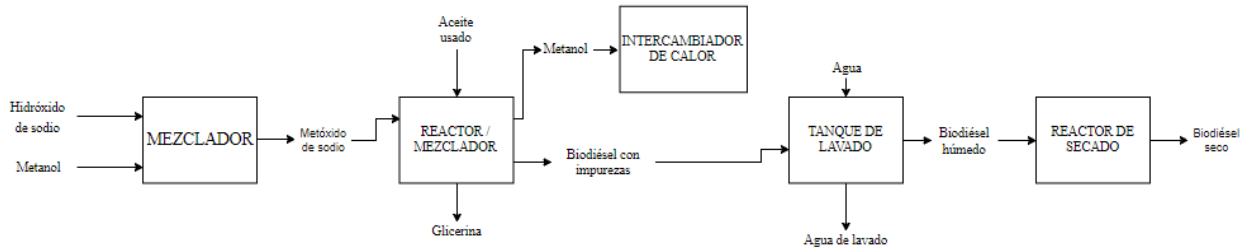


Figura 12. Diagrama de flujo para la elaboración de biodiésel a partir de aceite usado.



B. DATOS DE PLACA

Cuadro 12. Datos de placa de los equipos empleados para la determinación de las distintas propiedades del aceite y del biodiésel, tanto lavado como sin lavar.

Equipo	Dato	
Estufa eléctrica	Marca	Thermo Scientific
	Modelo	Cimarec+
	Rango temperatura	0 – 540 °C
	Rango agitación	0 – 1500 rpm
Refractómetro	Marca	ATAGO
	Modelo	RX-5000
	Rango	1.33333
	Incertidumbre	± 0.00001
Potenciómetro	Marca	Accumet Basic
	Modelo	AB15 Plus
	Rango pH	0 – 14
	Incertidumbre	± 0.001

Continuación Cuadro. 12.

Equipo	Dato	
Báscula	Marca	OHAUS
	Modelo	3000 series
	Rango	0.00 – 60.00 kg
	Incertidumbre	± 0.02
Balanza digital	Marca	OHAUS
	Modelo	Valor 3000 xtreme
	Rango	0 – 220 g
	Incertidumbre	± 1 g
Balanza digital analítica	Marca	Boeco Germany
	Modelo	BBC
	Rango	0 – 220 g
	Incertidumbre	± 0.0001 g
Reactor	Marca	TH Talleres Hernández
	Modelo	R – 450
	Rango temperatura	0 – 400 °C
	Incertidumbre temperatura	± 2.5 °C
	Rango agitación	0 – 18 Hz
	Incertidumbre agitación	± 0.1 Hz
	Voltaje	220 V
	Potencia	4.75 kW
Reactor	Marca	TH Talleres Hernández
	Modelo	T.CH.494
	Capacidad	150 L
Centrífuga	Marca	Damon / IEC Division
	Modelo	AE0748
	Voltaje	115 V
	Amperaje	7 A
Picnómetro	Potencia	3/4 HP
	Marca	Brand Duran Germany
	Modelo	Blau Durand
	Capacidad	25 cm ³
Termómetro	Rango	- 12 – 400 °C
	Incertidumbre	± 0.5 °C
Cronómetro	Marca	Casio
	Modelo	HS-3
	Rango	0:00'00''00 – 9:59'59''99
Tacómetro	Incertidumbre	0:00'00''14
	Marca	Extech Instruments
	Modelo	461920
	Rango	2 – 99,999 rpm
Viscosímetro	Incertidumbre	± 0.1 rpm
	Marca	Cannon Instrument Company
	Modelo	T144
	Tamaño	200
	Constante a 40 °C	0.09572 mm ² /s ²

Cuadro 13. Datos de la cristalería utilizada para la determinación de las distintas propiedades del aceite y del biodiésel, tanto lavado como sin lavar.

Cristalería	Dato	
Balón aforado de 1000 mL	Marca	Superior Marenfield
	Modelo	NS24
	Capacidad	1000 mL
	Incertidumbre	± 0.4 mL
Balón aforado de 500 mL	Marca	LMS
	Modelo	NS 19/26
	Capacidad	500 mL
	Incertidumbre	± 0.25 mL
Bureta de 50 mL	Marca	LMS
	Modelo	AS ISO385
	Capacidad	50 mL
	Incertidumbre	± 0.05 mL
Pipeta de 10 mL	Marca	KIMAX
	Modelo	No. 37019
	Capacidad	10 mL
	Incertidumbre	± 0.1 mL
Embudo de decantación	Marca	Premier
	Capacidad	500 mL

C. DATOS ORIGINALES

Cuadro 14. Masas empleadas para la producción de biodiésel en la planta demostrativa de 18 L de capacidad.

Dato	1	2	3	4	5
	m (kg)	m (kg)	m (kg)	m (kg)	m (kg)
Aceite	11.42	11.40	11.30	11.40	11.40
Metanol	2.34	2.34	2.34	2.32	2.34
Hidróxido de potasio	0.09	0.01	0.10	0.01	0.01
TOTAL	13.85	13.84	13.74	13.82	13.84

Cuadro 15. Masas obtenidas en la producción de biodiésel empleando la planta demostrativa de 18 L.

Dato	1	2	3	4	5
	m (kg)	m (kg)	m (kg)	m (kg)	m (kg)
Glicerina	2.56	2.82	2.80	2.72	2.52
Biodiésel sin lavar	10.52	10.38	10.40	10.60	10.50
Biodiésel lavado	8.96	9.02	9.26	9.18	9.32
TOTAL	11.52	12.19	12.34	12.21	12.11

**El total se encuentra basado en la suma del biodiésel lavado con la glicerina.

Cuadro 16. Masas empleadas para la producción de biodiésel en la planta móvil de 435.3 L (115 gal).

Dato	1	2	3
	m (kg)	m (kg)	m(kg)
Aceite	252.42	251.66	251.66
Metanol	50.02	50.04	50.02
Hidróxido de sodio	2.52	2.52	2.52
TOTAL	304.96	304.22	304.20

Cuadro 17. Masas obtenidas en la producción de biodiésel utilizando la planta móvil de 435.3 L (115 gal).

Dato	1	2	3
	m (kg)	m (kg)	m (kg)
Glicerina	71.20	72.66	72.48
Biodiésel lavado	206.15	200.01	201.76
TOTAL	277.35	272.67	274.24

Cuadro 18. Datos originales obtenidos para la caracterización del aceite utilizado en la planta demostrativa y la planta móvil.

Propiedad	Dato	Planta demostrativa		Planta móvil	
		Valor	Incertidumbre	Valor	Incertidumbre
Densidad	m picnómetro lleno (g)	43.5818		43.6829	
		43.5821	0.0001	43.6912	0.0001
		43.5825		43.6879	
Índice de refracción	m picnómetro vacío (g)	20.5953	0.0001	20.6189	0.0001
		1.47183		1.47275	
		1.47180	0.00001	1.47274	0.00001
pH	pH	1.47185		1.47274	
		4.346		4.800	
		4.689	0.001	4.765	0.001
Porcentaje de humedad	m inicial (g)	4.916		4.788	
		0.900		0.730	
		1.034	0.001	0.812	0.001
Viscosidad	Tiempo (s)	0.856		0.765	
		0.897		0.729	
		1.029		0.811	
Viscosidad	Tiempo (s)	0.853		0.764	
		369.12		418.63	
		375.32	0.01	419.73	0.01
		372.65		418.78	

*La masa del picnómetro vacío se asumió constante para la determinación de la densidad en ambas plantas y el volumen del picnómetro era de 25.210 cm³. **El tiempo de por corrida para la viscosidad se midió cuando el líquido se encontraba a 40 °C.

Cuadro 19. Volúmenes empleados en los lavados del biodiésel de la planta demostrativa de 18 L de capacidad.

No. de lavado	V agua (mL)
1	300
2	100
3	100
4	100
5	100
TOTAL	700

*Se graduó el aspersor de tal manera que 15 sprays eran equivalentes a 10 mL de agua.

Cuadro 20. Volúmenes de agua utilizados para el lavado del biodiésel producido en la planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad.

Lavados	
No.	V (L)
1	8
2	8
3	8
4	8
5	8
6	8
7	8
8	8
9	8
10	8
TOTAL	80 L

Cuadro 21. Valores del pH del biodiésel antes y después de realizar los lavados para la planta demostrativa.

Lote	pH inicial	pH final
1	11.456	7.382
2	11.063	7.216
3	10.512	7.125
4	10.865	7.205
5	10.751	7.148

Cuadro 22. Índices de refracción del biodiésel sin lavar y lavado de la planta demostrativa de 18 L de capacidad.

Lote	Corrida	Biodiésel sin lavar		Biodiésel lavado	
		Valor	Incertidumbre	Valor	Incertidumbre
1	1	1.45275		1.45538	
	2	1.45286	0.00001	1.45538	0.00001
	3	1.45291		1.45540	
1	1.45282	1.45529			
2	2	1.45264	0.00001	1.45532	0.00001
	3	1.45299		1.45528	
	1	1.45284		1.45524	
3	2	1.45270	0.00001	1.45521	0.00001
	3	1.45255		1.45524	
	1	1.45180		1.45538	
4	2	1.45188	0.00001	1.45536	0.00001
	3	1.45196		1.45539	
	1	1.45447		1.45531	
5	2	1.45443	0.00001	1.45528	0.00001
	3	1.45444		1.45527	

*Los índices de refracción se obtuvieron a una temperatura de 25 °C en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Cuadro 23. Índices de refracción del biodiésel lavado de la planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad.

Lote	Corrida	Biodiésel lavado	
		Valor	Incertidumbre
1	1	1.45547	
	2	1.45538	0.00001
	3	1.45538	
1	1.45452		
2	2	1.45452	0.00001
	3	1.45453	
	1	1.45456	
3	2	1.45459	0.00001
	3	1.45461	

*Los índices de refracción se obtuvieron a una temperatura de 25 °C en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Cuadro 24. Datos de pH obtenidos para el biodiésel sin lavar y lavado de la planta demostrativa de 18 L de capacidad.

Lote	Corrida	Biodiésel sin lavar			Biodiésel lavado		
		Valor	Incertidumbre	Desviación Estándar	Valor	Incertidumbre	Desviación Estándar
1	1	12.368			5.36100		
	2	12.355	0.001	0.005	5.37000	0.001	0.004
	3	12.362			5.36300		
2	1	12.373			5.43800		
	2	12.378	0.001	0.004	5.44100	0.001	0.012
	3	12.369			5.41500		
3	1	10.740			5.85200		
	2	10.790	0.001	0.022	5.23700	0.001	0.265
	3	10.745			5.36300		
4	1	11.492			5.42100		
	2	11.511	0.001	0.011	5.23600	0.001	0.086
	3	11.485			5.41600		
5	1	11.072			5.39800		
	2	11.121	0.001	0.020	5.89400	0.001	0.222
	3	11.096			5.84100		

*Los valores obtenidos para el potencial de hidrógeno se obtuvieron a 25 °C en el Laboratorio de Operaciones

Unitarias

Cuadro 25. pH del biodiésel lavado de la planta móvil de 435.3 L (115 gal) de capacidad.

Lote	Corrida	Biodiésel sin lavar		
		Valor	Incertidumbre	Desviación Estándar
1	1	5.312		
	2	5.429	0.001	0.059
	3	5.445		
2	1	5.256		
	2	5.321	0.001	0.028
	3	5.269		
3	1	5.273		
	2	5.426	0.001	0.063
	3	5.326		

*Los valores obtenidos para el potencial de hidrógeno se obtuvieron a 25 °C en el Laboratorio de Operaciones

Unitarias

Cuadro 26. Masas del picnómetro lleno con las muestras de biodiésel, lavado y sin lavar, para la determinación de la densidad en la planta demostrativa.

Lote	Corrida	Biodiésel sin lavar			Biodiésel lavado		
		Valor (g)	Incertidumbre	Desviación Estándar	Valor (g)	Incertidumbre	Desviación Estándar
1	1	42.6456			42.6086		
	2	42.6460	0.0001	0.0019	42.6091	0.0001	0.001
	3	42.6418			42.6075		
2	1	42.6285			42.6492		
	2	42.6593	0.0001	0.0144	42.6499	0.0001	0.0003
	3	42.6587			42.6498		
3	1	42.6240			42.6703		
	2	42.6256	0.0001	0.0007	42.6711	0.0001	0.0003
	3	42.6245			42.6705		
4	1	42.5993			42.6698		
	2	42.5996	0.0001	0.0185	42.6703	0.0001	0.0005
	3	42.5602			42.6711		
5	1	42.6322			42.6488		
	2	42.6328	0.0001	0.0004	42.6497	0.0001	0.0004
	3	42.6331			42.6495		

*El volumen y la masa inicial del picnómetro se mantuvieron constantes. Se empleó la balanza digital analítica para obtener un dato más preciso de la densidad.

Cuadro 27. Masas del picnómetro lleno con las muestras de biodiésel lavado para la determinación de la densidad en la planta móvil.

Lote	Corrida	Biodiésel sin lavar		
		Valor (g)	Incertidumbre	Desviación Estándar
1	1	42.7012		
	2	42.7026	0.0001	0.0008
	3	42.7030		
2	1	42.6876		
	2	42.6879	0.0001	0.0002
	3	42.6880		
3	1	42.6885		
	2	42.6889	0.001	0.0047
	3	42.6788		

*El volumen y la masa inicial del picnómetro se mantuvieron constantes. Se empleó la balanza digital analítica para obtener un dato más preciso de la densidad.

Cuadro 28. Tiempos obtenidos para la determinación de la viscosidad del biodiésel lavado de la planta demostrativa.

Lote	Corrida	Tiempo (s)	Incertidumbre	Desviación Estándar
1	1	47.12	0.01	0.10
	2	47.10		
	3	47.32		
2	1	48.60	0.01	0.15
	2	48.86		
	3	48.94		
3	1	48.38	0.01	0.06
	2	48.51		
	3	48.52		
4	1	48.32	0.01	0.05
	2	48.41		
	3	48.43		
5	1	48.42	0.01	0.02
	2	48.39		
	3	48.37		

*La temperatura a la cual se realizaron las mediciones de los tiempos fue de 40°C empleando un baño térmico como método de calefacción.

Cuadro 29. Tiempos obtenidos para la determinación de la viscosidad del biodiésel lavado de la planta móvil.

Lote	Corrida	Tiempo (s)	Incertidumbre	Desviación Estándar
1	1	50.44	0.01	0.05
	2	50.33		
	3	50.43		
2	1	48.62	0.01	0.09
	2	48.66		
	3	48.46		
3	1	49.65	0.01	0.21
	2	49.35		
	3	49.85		

*La temperatura a la cual se realizaron las mediciones de los tiempos fue de 40°C empleando un baño térmico como método de calefacción.

Cuadro 30. Volúmenes empleados en la estandarización de la solución de hidróxido de potasio previo a cada análisis del número ácido del biodiésel lavado.

Lote	Corrida	V KOH (mL)	Incertidumbre	Desviación Estándar
1	1	1.65	0.05	0.02
	2	1.60		
	3	1.60		
2	1	1.70	0.05	0.05
	2	1.60		
	3	1.60		
3	1	1.50	0.05	0.08
	2	1.60		
	3	1.70		
4	1	1.55	0.05	0.08
	2	1.50		
	3	1.70		
5	1	1.60	0.05	0.02
	2	1.65		
	3	1.60		

*La estandarización del KOH se realizó utilizando una solución de ftalato ácido de potasio 0.01 M.

Cuadro 31. Masas de biodiésel y volúmenes de hidróxido de potasio empleados en la determinación del número ácido para los lotes de la planta demostrativa.

Lote	m biodiésel (g)	Incertidumbre	Desviación Estándar	V KOH (mL)	Incertidumbre	Desviación Estándar
1	5.0	0.1	0.05	5.00	0.05	0.22
2	5.1			5.25		
3	5.0			4.60		
4	5.1			5.10		
5	5.0			4.90		

*El dato del blanco fue de 4.50 mL de hidróxido de potasio para la neutralización de la acidez dada por el 2-propanol usado como disolvente de la muestra de biodiésel.

Cuadro 32. Masas de biodiésel y volúmenes de KOH empleados en la determinación del número ácido de los lotes de la planta móvil.

Lote	m biodiésel (g)	Incertidumbre	Desviación Estándar	V KOH (mL)	Incertidumbre	Desviación Estándar
1	5.0	0.1	0.05	7.65	0.05	0.89
2	5.0			5.60		
3	5.1			7.25		

*El dato del blanco fue de 4.50 mL de hidróxido de potasio para la neutralización de la acidez dada por el 2-propanol usado como disolvente de la muestra de biodiésel.

Cuadro 33. Datos obtenidos para la determinación del porcentaje de agua y sedimentos en el biodiésel lavado para la planta demostrativa.

Lote	No. Tubo	V _{biodiésel lavado} (mL)	Incertidumbre	V _{agua y sedimentos} (mL)
1	1	50.00	1.25	NA
	2	50.00		NA
	3	50.00		NA
	4	50.00		NA
2	1	50.00	1.25	NA
	2	50.00		NA
	3	50.00		NA
	4	50.00		NA
3	1	50.00	1.25	NA
	2	50.00		NA
	3	50.00		NA
	4	50.00		NA
4	1	50.00	1.25	NA
	2	50.00		NA
	3	50.00		NA
	4	50.00		NA
5	1	50.00	1.25	NA
	2	50.00		NA
	3	50.00		NA
	4	50.00		NA

*NA indica que no es apreciable un volumen de agua y de sedimentos en el biodiésel lavado posterior a la centrifugación.

Cuadro 34. Datos obtenidos para la determinación del porcentaje de agua y sedimentos en el biodiésel lavado para la planta móvil.

Planta demostrativa				
Lote	No. Tubo	V _{biodiésel lavado} (mL)	Incertidumbre	V _{agua y sedimentos} (mL)
1	1	50.00	1.25	3.0
	2	50.00		2.5
	3	50.00		3.0
	4	50.00		2.5
2	1	50.00	1.25	1.5
	2	50.00		1.0
	3	50.00		1.0
	4	50.00		1.5
3	1	50.00	1.25	3.5
	2	50.00		1.5
	3	50.00		2.0
	4	50.00		2.0

Cuadro 35. Cantidades promedio de las primas utilizadas en la planta demostrativa de 18 L con sus respectivos costos de venta.

Datos	Planta demostrativa	Planta móvil
Costo aceite (Q/kg)		2.24
Cantidad de aceite por lote (kg)	11.38	252.04
Costo de un tonel de metanol al 99% (Q/55 gal)		1,705.00
Cantidad metanol por lote (kg)	2.34	50.03
Costo de un saco de hidróxido de sodio (Q/25 kg)		170.00
Cantidad NaOH por lote (g)	94.86	2,520.00

*Los datos de los costos fueron obtenidos a través del área de compras del departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala.

Cuadro 36. Cantidades utilizadas de los servicios auxiliares de la planta demostrativa de 18 L de capacidad con sus respectivos costos.

Dato	Planta demostrativa	Planta móvil
Costo agua (Q/m ³)	2.16	
Cantidad agua por lote (m ³)	0.06	150
Costo electricidad (Q/kWh)	1.10	
Costo vapor (Q/kg)	0.29	
Cantidad de vapor (kg)		2.00

*El dato del costo de agua fue obtenido a partir de EMPAGUA y el costo por energía eléctrica se obtuvo de CNEE para una tarifa no social.

Cuadro 37. Datos para la obtención del consumo eléctrico en la producción de biodiésel a partir de la planta demostrativa de 18 L.

	Panel	Agitador	Calentador	Bomba	Reactor
Amperaje (A)	1	5	10	9.9	-
Voltaje (V)			208		
Tiempo (h)	4.5	4.5	4.5	1.5	4

*Los valores de amperaje se obtuvieron a partir de los datos de placa de cada uno de los aparatos. El dato de voltaje es único debido a que es especial para la industria.

Cuadro 38. Datos para la obtención del consumo eléctrico en la producción de biodiésel a partir de la planta móvil de 435.3 L (115 gal).

	Bomba Metóxido	Bomba	Resistencia
Amperaje (A)	5	5	10
Voltaje (V)		208	
Tiempo (h)	0.44	5	5

*Los valores de amperaje se obtuvieron a partir de los datos de placa de cada uno de los aparatos. El dato de voltaje es único debido a que es especial para la industria.

Cuadro 39. Costo de equipos de seguridad requeridos al emplear la planta demostrativa de producción de biodiésel de 18 L y la planta móvil de 435.3 L (115 gal).

Costo mascarilla (Q/unidad)	25.52
Costo de guantes (Q/50 pares)	87.51

Cuadro 40. Salario mínimo y prestaciones tomadas en cuenta para la determinación del costo de producción de biodiésel de la planta de 18 L de capacidad.

Dato	Valor
Salario mínimo (Q)	2,893.21
IGGS (%)	10.67
IRTRA (%)	1
INTECAP (%)	1
BONO 14 (%)	8.33
Otros (%)	8.33
Aguinaldo (%)	8.33
Pasivo Laboral (%)	8.33
Bono extra (%)	250.00

D. DATOS CALCULADOS

Cuadro 41. Datos obtenidos en la caracterización del aceite usado para la producción de biodiésel en la planta demostrativa y la móvil.

Dato	Planta demostrativa			Planta móvil			
	Corrida	Valor	Incertidumbre	Desviación Estándar	Valor	Incertidumbre	Desviación Estándar
Densidad (g/cm ³)	1	0.912	3.66E-05	1.75E-10	0.915	3.67E-05	3.09E-08
	2	0.912	3.66E-05	1.75E-12	0.915	3.67E-05	2.35E-08
	3	0.912	3.66E-05	2.12E-10	0.915	3.67E-05	5.05E-10
Porcentaje de humedad (%)	1	0.33%	5.25E-06	3.11E-07	0.14%	2.66E-06	4.49E-09
	2	0.48%	6.63E-06	8.92E-07	0.12%	2.15E-06	5.09E-09
	3	0.35%	5.80E-06	1.49E-07	0.13%	2.42E-06	1.87E-11
Viscosidad (mm ² /s)	1	34.976	1.07E-14	9.64E-02	40.071	1.21E-14	1.59E-03
	2	35.321	1.09E-14	8.01E-02	40.177	1.22E-14	4.28E-03
	3	35.148	1.08E-14	7.53E-04	40.086	1.22E-14	6.52E-04

*Los datos se obtuvieron a 25 °C en el Laboratorio de Operaciones Unitarias excepto la viscosidad, esta se obtuvo a 40 °C empleando un baño térmico.

Cuadro 42. Conversiones del aceite a biodiésel, tanto lavado como sin lavar, de cada lote producido en la planta demostrativa de 18 L de capacidad.

Dato	Lote				
	1	2	3	4	5
Conversión del biodiésel sin lavar (%)	92.12	91.05	92.04	92.98	92.11
Conversión del biodiésel lavado (%)	78.46	79.12	81.95	80.53	81.75

Cuadro 43. Conversiones del aceite a biodiésel de cada lote producido en la planta móvil de 435.3 L (115 gal).

Dato	Lote		
	1	2	3
Conversión del biodiésel lavado (%)	81.67	79.48	80.17

Cuadro 44. Porcentajes de recuperación del metanol y de pérdidas de la planta de 18 L de capacidad.

Lote	1	2	3	4	5
Recuperación de metanol (%)	15.56	14.82	12.07	13.38	11.42
Pérdidas (%)	14.19	11.92	10.14	11.62	12.50

Cuadro 45. Porcentajes de pérdidas de la planta de 435.3 L (115 gal) de capacidad.

Lote	1	2	3
Pérdidas (%)	9.05	10.37	9.85

Cuadro 46. Densidades del biodiésel lavado y sin lavar de los diferentes lotes de la planta demostrativa.

Lote	Biodiésel sin lavar			Biodiésel lavado		
	Densidad (g/cm ³)	Incertidumbre	Desviación Estándar	Densidad (g/cm ³)	Incertidumbre	Desviación Estándar
1	0.875			0.873		
2	0.875			0.875		
3	0.875	2.95E-04	8.82E-04	0.875	2.95E-04	8.82E-04
4	0.873			0.875		
5	0.875			0.875		

Cuadro 47. Densidades del biodiésel lavado y sin lavar de los diferentes lotes de la planta móvil.

Lote	Densidad (g/cm ³)	Incertidumbre	Desviación Estándar
1	0.878		
2	0.877	3.52E-05	3.69E-04
3	0.877		

Cuadro 48. Números de acidez obtenidos para los distintos lotes producidos tanto en la planta demostrativa.

Lote	Valor ($\frac{\text{mgKOH}}{\text{g}}$)	Incertidumbre	Desviación Estándar
1	0.068	0.011	
2	0.099	0.012	
3	0.014	0.010	0.015
4	0.082	0.01	
5	0.054	0.01	

Cuadro 49. Números de acidez obtenidos para los distintos lotes producidos tanto en la planta móvil.

Valor ($\frac{\text{mgKOH}}{\text{g}}$)	Incertidumbre	Desviación Estándar
0.429	0.032	0.120
0.150	0.014	
0.367	0.028	

Cuadro 50. Viscosidades del biodiésel lavado a partir de la planta demostrativa.

Lote	Corrida	Viscosidad (mm ² /s)	Incertidumbre	Desviación Estándar
	1	4.510		
1	2	4.508	0.001	0.010
	3	4.529		
	1	4.652		
2	2	4.677	0.001	0.014
	3	4.685		
	1	4.631		
3	2	4.643	0.001	0.006
	3	4.644		
	1	4.625		
4	2	4.634	0.001	0.005
	3	4.636		
	1	4.635		
5	2	4.632	0.001	0.002
	3	4.630		

*La viscosidad se obtuvo a 40 °C empleando un baño térmico para mantener la temperatura constante.

Cuadro 51. Viscosidades del biodiésel lavado a partir de la planta móvil.

Lote	Corrida	Viscosidad (mm ² /s)	Incertidumbre	Desviación Estándar
	1	4.828		
1	2	4.818	0.001	0.005
	3	4.827		
	1	4.654		
2	2	4.658	0.001	0.008
	3	4.639		
	1	4.752		
3	2	4.724	0.001	0.020
	3	4.772		

*La viscosidad se obtuvo a 40 °C empleando un baño térmico para mantener la temperatura constante.

Cuadro 52. Energía necesaria para la fabricación de un lote de biodiésel en la planta demostrativa de 18 L de capacidad.

	Panel	Agitador	Calentador	Bomba	Reactor
Energía (kWh)	1.62	8.11	16.21	5.35	19
Cantidad electricidad por lote (kWh)	44.36				

Cuadro 53. Energía necesaria para la fabricación de un lote de biodiésel planta móvil de 435.3 L (115 gal) capacidad.

	Bomba Metóxido	Bomba	Resistencia
Energía (kWh)	0.80	9.01	15.00
Cantidad electricidad por lote (kWh)	24.81		

Cuadro 54. Costo por mano de obra para la planta demostrativa y la planta móvil de producción de biodiésel.

Dato	Planta demostrativa	Planta móvil
Costo de mano de obra (Q)	142.76	235.14

E. ECUACIONES

Ecuación 1. Media aritmética.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Donde

x es la media aritmética

n es la cantidad de datos

x_i es cada uno de los datos que se emplearan para la media.

Ecuación 2. Desviación estándar.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|^2}{n}}$$

Donde

σ es la desviación estándar

n es la cantidad de datos

\bar{x} es la media aritmética

x_i es cada uno de los datos que se emplearan para la media.

Ecuación 3. Propagación de error para sumas y restas

$$s_y = \sqrt{s_a^2 + s_b^2 + \dots + s_n^2}$$

Donde

s_y es propagación de error para sumas y restas

s_a es la incertidumbre para el término a

s_b es la incertidumbre para el término b

s_n es la incertidumbre para el término n

Ecuación 4. Propagación de error para multiplicaciones y divisiones.

$$s_y = y * \sqrt{\left(\frac{s_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{s_b}{b}\right)^2 + \dots + \left(\frac{s_n}{n}\right)^2}$$

Donde

s_y es propagación de error para multiplicaciones y divisiones

y es valor resultante de la multiplicación y/o división

s_a es la incertidumbre para el término a

a es el valor del primer término

s_b es la incertidumbre para el término b

b es el valor del segundo término

s_n es la incertidumbre para el término n

n es el valor del último término que se toma en cuenta

Ecuación 5. Número ácido del biodiésel

$$NA = (A - B) * \bar{M} * \frac{56.11}{W}$$

Donde

NA es el número ácido del biodiésel expresado en $\frac{mg\ KOH}{g}$

A es el volumen de hidróxido de sodio utilizado para titular cierta cantidad de biodiésel expresado en mL

B es el volumen de hidróxido de sodio utilizado para el blanco en 2-propanol expresado en mL

\bar{M} es la molaridad promedio obtenida de la estandarización de la solución de hidróxido de potasio expresada en mol/L

W es la masa de biodiésel utilizada para determinar el número ácido expresada en g.

Ecuación 6. Revoluciones por minuto para una fuerza centrífuga relativa determinada.

$$rpm = 422 \sqrt{\frac{rcf}{d}}$$

Donde:

rpm son las revoluciones por minuto requeridas en la centrífuga

rcf es la fuerza centrífuga relativa requerida para la separación del agua y de los sedimentos.

d es la distancia de punta a punta de los recipientes que sostienen a los tubos de centrífuga expresada en cm.

Ecuación 7. Porcentaje de agua y sedimentos presentes en el biodiésel.

$$\% V = \frac{V_{a y s}}{V_b}$$

Donde:

$\%V$ es el porcentaje de agua y sedimentos presentes en el biodiésel expresados en porcentaje.

$V_{a y s}$ es el volumen de agua y sedimentos presentes en el biodiésel expresados en mL.

V_b es el volumen de biodiésel analizado expresado en mL.

Ecuación 8. Viscosidad cinemática de un líquido.

$$v = C * t$$

Donde:

v es la viscosidad cinemática expresada en mm^2/s

C es la constante del viscosímetro a $40\text{ }^\circ\text{C}$ expresada en mm^2/s^2

t es el tiempo que le toma al líquido recorrer cierta distancia en el viscosímetro expresado en s.

Ecuación 9. Viscosidad dinámica para un líquido.

$$\eta = v * \frac{\rho}{1000^3} * 10^{-3}$$

Donde:

η es la viscosidad dinámica expresada en $\text{mPa}\cdot\text{s}$

v es la viscosidad cinemática expresada en mm^2/s

ρ es la densidad del líquido expresada en g/cm^3

Ecuación 10. Densidad del líquido.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ es la densidad del líquido expresada en g/cm^3

m es la masa de la muestra expresada en g

V es el volumen de la muestra expresada en cm^3

F. CÁLCULOS DE MUESTRA

1. PROPAGACIÓN DE ERROR Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Cálculo 1. Determinación de la media de pH para el primer lote de biodiésel sin lavar empleando la planta demostrativa de 18 L de capacidad.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{12.368 + 12.355 + 12.362}{3} = 12.362$$

Cálculo 2. Determinación de la desviación estándar para el pH del primer lote de biodiésel obtenido a partir de la planta demostrativa de 18 L de capacidad.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|^2}{n}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{|12.368 - 12.362|^2 + |12.355 - 12.362|^2 + |12.362 - 12.362|^2}{3}} = \pm 0.005$$

Cálculo 3. Determinación de la propagación de error debido a la incertidumbre en la obtención de la media del pH para el primer lote de biodiésel sin lavar empleando la planta demostrativa de 18 L de capacidad.

$$s_y = y * \sqrt{\left(\frac{s_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{s_b}{b}\right)^2 + \dots + \left(\frac{s_n}{n}\right)^2}$$

$$s_y = 12.362 * \sqrt{\left(\frac{0.001}{12.368}\right)^2 + \left(\frac{0.001}{12.355}\right)^2 + \left(\frac{0.001}{12.362}\right)^2} = \pm 1.73 * 10^{-3}$$

2. NÚMERO ÁCIDO

Cálculo 4. Determinación de la molaridad de la solución madre de hidróxido de potasio (KOH).

$$M = \frac{\left(0.5906 \pm 0.0001 \text{ g KOH} * \frac{1 \text{ mol KOH}}{56.11 \text{ g KOH}}\right)}{(1000 \pm 0.4 \text{ mL}) * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}} = 0.011 \pm 4.57 * 10^{-6} \frac{\text{mol KOH}}{\text{L}}$$

Cálculo 5. Determinación de la molaridad de la solución madre de ftalato ácido de potasio (KHP).

$$M = \frac{\left(1.0005 \pm 0.0001 \text{ g KHP} * \frac{1 \text{ mol KHP}}{204.23 \text{ g KHP}}\right)}{(500 \pm 0.25 \text{ mL}) * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}} = 0.010 \pm 5.00 * 10^{-6} \frac{\text{mol KHP}}{\text{L}}$$

Cálculo 6. Estandarización de la molaridad de la solución madre de hidróxido de potasio (0.01 M KOH).

$$M = \frac{\left(2 \pm 0.1 \text{ mL sol. KHP} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}\right) \left(0.010 \pm 5.0 * 10^{-6} \frac{\text{mol KHP}}{\text{L}}\right)}{(1.65 \pm 0.05 \text{ mL KOH})}$$

$$M = 0.012 \pm 4.67 * 10^{-4} \frac{\text{mol KOH}}{\text{L}}$$

Cálculo 7. Promedio de los valores obtenidos en la estandarización de la solución 0.01 M de hidróxido de potasio (KOH).

$$\bar{M} = \frac{(0.012 \pm 4.45 * 10^{-4} + 0.012 \pm 4.90 * 10^{-4} + 0.012 \pm 4.90 * 10^{-4}) \frac{\text{mol KOH}}{\text{L}}}{3}$$

$$\bar{M} = 0.012 \pm 8.35 * 10^{-4} \frac{\text{mol KOH}}{\text{L}}$$

Cálculo 8. Determinación del número ácido para una muestra de biodiésel.

$$NA = \left[(8.9 \pm 0.05 \text{ mL sol. KOH} - 5.4 \pm 0.05 \text{ mL sol. KOH}) * \frac{1L}{1000mL} \right] * 0.012 \pm 8.35$$

$$* 10^{-4} \frac{\text{mol KOH}}{L} * \frac{\left(\frac{56.11 \text{ g KOH}}{\text{mol KOH}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \right)}{5.0 \pm 0.1 \text{ g biodiésel}}$$

$$NA = 0.48 \pm 0.04 \frac{\text{mg KOH}}{\text{g}}$$

3. AGUA Y SEDIMENTOS

Cálculo 9. Determinación de las revoluciones por minuto necesarias para llevar a cabo la sedimentación.

$$rpm = 422 \sqrt{\frac{800 \pm 60}{40.60 \pm 0.05 \text{ cm}}} = 1,873.24 \pm 140.51 \text{ rpm}$$

Calculo 10. Determinación del porcentaje en volumen de agua y sedimentos en la muestra de biodiésel.

$$\% V = \frac{0 \text{ mL}}{50 \pm 1.25 \text{ mL}} = 0.00 \%$$

*El valor para el porcentaje de agua y sedimentos igual a 0.00% se considera como no “NO APRECIABLE”

4. VISCOSIDAD

Cálculo 11. Determinación de la viscosidad cinemática del biodiésel.

$$v = (0.09572 \text{ mm}^2/\text{s}^2)(47.12 \pm 0.01 \text{ s}) = 4.51 \pm 9.60 * 10^{-4} \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

Cálculo 12. Determinación de la viscosidad dinámica del biodiésel.

$$\eta = \left(4.51 \pm 9.60 * 10^{-4} \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \right) \left(0.873 \pm 2.95 * 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \left(\frac{1 \text{ cm}}{1000 \text{ mm}} \right)^3 \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right)$$

$$\eta = 3.94 * 10^{-12} \pm 1.57 * 10^{-15} \text{ mPa} \cdot \text{s}$$

5. DENSIDAD

Cálculo 13. Determinación de la masa de biodiésel empleada.

$$m_{\text{biodiésel}} = 42.6456 \pm 0.0001 \text{ g} - 20.5785 \pm 0.0001 \text{ g} = 22.0671 \pm 1.41 * 10^{-4} \text{ g}$$

Cálculo 14. Determinación de la densidad del biodiésel a 15°C.

$$\rho_{\text{biodiésel}} = \frac{22.0671 \pm 1.41 * 10^{-4} \text{ g}}{25.210 \pm 0.001 \text{ mL}} = 0.875 \pm 3.52 * 10^{-5} \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

G. FIGURAS DE LOS EQUIPOS, SISTEMAS Y PRODUCTOS OBTENIDOS EMPLEANDO LAS DOS PLANTAS

Figura 13. Inicio de la reacción entre el aceite usado y el metóxido de sodio en la planta demostrativa del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.



Figura 14. Separación de la glicerina del tanque de reacción al tanque de almacenamiento de la planta demostrativa de 18 L del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.



Figura 15. Biodiésel sin lavar libre de glicerina obtenido en la planta demostrativa del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.



Figura 16. Separación del agua del biodiésel luego de la aspersión en el tanque de lavado del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.



Figura 17. Separación del agua del biodiésel luego de la aspersión en el tanque de lavado.



Figura 18. Reactor empleado para el secado del biodiésel producido en la planta demostrativa del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG posterior a los lavados realizados.



Figura 19. Reactor empleado para el lavado y secado del biodiésel producido en la planta demostrativa posterior a las lavadas del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.



Figura 20. Biodiésel lavado y seco obtenido a partir de la planta demostrativa de 18 L de capacidad.

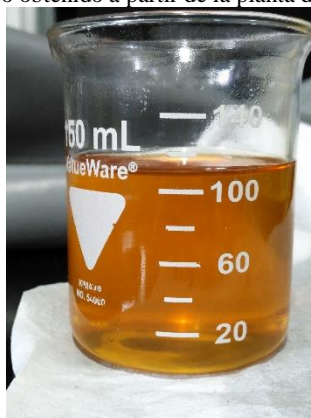


Figura 21. Sistema empleado para la determinación del número ácido del biodiésel obtenido en la planta demostrativa y móvil.



Figura 22. Sistema empleado para la determinación de la viscosidad del biodiésel y aceite del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.



Figura 23. Cambio de coloración en el agua de lavado de la planta móvil de 435.3 L (115 gal).



H. MANUAL DE USO DE LA PLANTA DEMOSTRATIVA

1. **INFORMACIÓN DE SEGURIDAD.** Se debe usar el procesador en un área ventilada, alejado de cualquier fuente de ignición. El metanol es una sustancia inflamable y se debe de tratar como si fuese gasolina. El metanol se debe manipular siempre usando lentes y guantes resistentes a los químicos. Los vapores de metanol son dañinos y pueden provocar daños severos a la salud si se inhalan. Una máscara no detendrá los vapores de metanol. El hidróxido de sodio en forma de polvo y concentrada es un material caustico y debe de ser manipulado con lentes, guantes resistentes a los químicos y una máscara. Se recomienda que el usuario posea cerca una fuente de agua y un extintor de fuego apropiado en caso de un incendio y vinagre de cocina en caso de contacto con la lejía o cualquier otro material caustico.

El usuario es responsable de cumplir con todas las leyes aplicables en su área involucrando el uso, transporte, venta, almacenaje, distribución y manejo de todos los aceites, cáusticos (lejía), alcoholes (metanol) y combustibles.



Este equipo requiere de servicio eléctrico monofásico de 110-120 V, 15-20 A, y 220-240 V, 20 A. El usuario es responsable del cumplimiento de todos los códigos eléctricos aplicables y los reglamentos de seguridad en su área. El incumplimiento de esto puede resultar en lesiones graves y daño al equipo.



2. TÉRMINOS BÁSICOS DEL BIODIÉSEL

- ¿Qué es biodiésel?

El biodiésel es un combustible alternativo compuesto por una mezcla de ésteres monoalquílicos de una cadena larga de ácidos grasos libres. Se deriva a través de un proceso simple de refinación llamado transesterificación. Los componentes en este proceso incluyen aceite vegetal o grasas animales (triglicéridos), alcohol (etanol o metanol) y un catalizador (hidróxido de sodio o de potasio). Si se mezclan correctamente los reactivos, se puede producir un combustible ambientalmente seguro y poco contaminante que se puede emplear en cualquier vehículo diésel o equipo con pocas o ninguna modificación. El biodiésel se puede usar como combustible puro (B100 o “puro”) o mezclado con diésel de petróleo en cualquier porcentaje.

- ¿Por qué producir biodiésel?

Se puede preparar el biocombustible en casa más barato de lo que se puede comprar. El biodiésel es un disolvente potente que mantiene las tuberías de combustible, inyectores y otros componentes del motor limpios lo que conlleva a una mayor longevidad del vehículo; también posee un mayor efecto lubricador que el diésel de petróleo, lo que ha mostrado una reducción en el desgaste del motor; ambientalmente hablando no es un compuesto tóxico y es biodegradable; ayuda a reducir las emisiones al medio ambiente por parte del vehículo hasta un 75% y por último, el olor pesado del diésel se reemplaza por un aroma a aceite de cocina.

- Hechos del biodiésel:

- Está hecho de recursos renovables y puede ayudar a reducir la dependencia del petróleo extranjero.
- No es tóxico y es biodegradable.
- Más seguro de manejar y transportar que el diésel de petróleo debido a su punto de inflamación más bajo.
- No se clasifica como un material peligroso e incluso se puede enviar por correo general.

- **Transesterificación:** término técnico empleado para describir la reacción entre un aceite y alcohol en la presencia de un catalizador para producir ésteres y glicerina. Un proceso de transesterificación común mezcla metanol con hidróxido de sodio creando metóxido de sodio, que luego se mezcla con aceite vegetal o grasas animales para producir un “éster metílico” o biodiésel.

- **Residuos de aceite vegetal:** aceite vegetal que se recoge de restaurantes y es usado como el principal reactivo en el proceso de producción de biodiésel. Pueden encontrarse en un rango desde aceite de soja hasta aceite de maíz, y varía en color desde un amarillo claro hasta un ámbar oscuro.

- **Metanol:** también conocido como alcohol de madera, es un líquido inflamable que se produce de recursos renovables. Es el alcohol preferido en la preparación de biodiésel. Es tóxico y se debe manejar con cuidado. No se deben inhalar los vapores de metanol.



- **Catalizador:** es el reactivo que se usa para quitar los enlaces de hidrocarburos de las moléculas de aceite preparándolos para reaccionar con el alcohol para producir biodiésel. El más común es el hidróxido de sodio (NaOH), también conocido como lejía. La cantidad de catalizador a emplear se determina mediante una prueba de titulación realizada sobre el aceite.
- **Titulación:** una prueba química estándar empleada para conocer la concentración de un reactivo conocido. En la producción de biodiésel, la titulación se hace al aceite para determinar la cantidad de catalizador necesaria para obtener una reacción completa.
- **Glicerina:** subproducto en la producción de biodiésel, se produce durante el proceso de separación. Se compone de material de aceite vegetal crudo, restos del catalizador y alcohol de la reacción. En este punto se le considera tóxico y debe descartarse adecuadamente. Cuando se produce biodiésel, se debe tener alrededor del 10 a 12 % de glicerina separada del combustible. Este porcentaje ayudará a conocer si se obtuvo una reacción completa o no.
- **Lavado:** proceso de limpieza y pulido al biodiésel que emplea agua para la remoción de impurezas y otros compuestos tales como: jabones, sales, glicerina, metanol, etc.
- **Secado:** proceso de deshidratación del agua del biodiésel. Este proceso puede llevarse a cabo mediante el uso de resistencias, calentamiento con vapor, burbujeo o por aireación.

- **Emulsión:** sustancia indeseada que resulta de mezcla agua con aceite y emulsionantes. Las emulsiones relacionadas con el biodiésel pueden variar desde una capa delgada fina hasta un revoltijo grueso blanquecino en todo el procesador. Las emulsiones de capa delgada son muy comunes y no son difíciles de tratar. Las emulsiones gruesas necesitan tiempo y procesamiento para recuperar los ingredientes para otro lote.

3. CONSEJOS PARA LA SELECCIÓN DEL ACEITE

- ¿Qué buscar en el aceite?

El aceite natural de cocina es el ingrediente básico en la producción del biodiésel, es por lo que se debe buscar la mejor fuente de este material. Cualquier grasa animal o aceite vegetal puede ser utilizado, algunos son mejores que otros. Debido a su alto contenido en ácidos grasos libres, las grasas animales deben de ser las últimas en tomarse en cuenta. El aceite vegetal virgen será el mejor para la producción de biodiésel, sin embargo, este posee un costo más elevado que cualquier otro. Un excelente punto medio entre calidad y accesibilidad es el aceite vegetal de desecho o usado, este hace referencia al que ya ha sido utilizado por restaurantes. Una gran variedad de aceites vegetales que pueden utilizarse incluye a la soja, girasol, canola, maíz y cacahuete. De los mencionados, los primeros tres son los mejores. Otros aceites pueden ser de coco, palma y aceites hidrogenados, aunque se usan en menor cantidad y requieren de un precalentamiento para licuar.

- ¿Dónde buscarlo?

Encontrar y asegurar una fuente de calidad de aceite debe estar entre las prioridades para la producción de biodiésel. Ubicar una fuente es tan fácil como saber dónde se encuentran los restaurantes locales. Cada restaurante usa un tipo y cantidad diferente de aceite a la semana. El objetivo en localizar una fuente de calidad es determinar cuánto aceite utilizan, qué tipo es y si ellos están dispuestos a darlo. Hay dos tipos de restaurantes: grandes cadenas corporativas y locales pequeños. El problema con el que mucha gente se encuentra es que estas empresas se encuentran bajo contrato para que remuevan el aceite de sus instalaciones. Los locales más pequeños son más susceptibles a hablar acerca de la toma del aceite usado. Comúnmente estos restaurantes deben pagar para que el aceite que usan sea removido.

- ¿Cómo negociar por el aceite?

Si a un propietario o gerente de un restaurante se le ofrece una manera de reducir sus costos de operación estos se encuentran dispuestos a escuchar las ofertas. La mejor forma de asegurar la fuente del aceite es ser una persona profesional y estar dispuesto a trabajar con la gerencia en la recolección. También se debe estar

preparado para desarrollar y firmar un contrato de trabajo con el dueño. Un contrato brinda a ambos lados un documento legal de las condiciones acordadas, las cuales son pertenecientes a la recolección del aceite y de cualquier pago. Algunas personas ofrecen pagar una pequeña cantidad por galón al dueño para garantizar la fuente de calidad. Por último, ser cortés y limpio al momento de recolectar la materia prima.

- De qué estar enterado para escoger el aceite

En varias ocasiones los productos que son gratis pueden requerir de cierto trabajo antes de poder utilizarlos. Normalmente, los restaurantes van a ceder en dar el aceite usado, pero no pondrán mucho esfuerzo para que se encuentren almacenados adecuadamente. Se debe de tomar en cuenta la contaminación de agua, ya que este es un contaminante que puede afectar bastante en la obtención de biodiésel. Si el aceite se encuentra contaminado con este compuesto se debe de eliminar antes de ser usado en cualquier planta de producción. Algunos problemas que puede ocasionar el agua son espuma y en el peor de los casos formación de jabón. Tratar de evitar este tipo de fuentes. Si no se está seguro del aceite se puede hacer una prueba del mismo a nivel laboratorio antes de ingresarlo a la planta.

- Aceite prefiltrado

Si la fuente de aceite contiene sólidos suspendidos en él es aconsejable prefiltrarlo antes de procesarlo. Mientras más se remueven estas piezas, mejor es el resultado. Muchas personas eligen hacer sus propios filtros, mientras que otros optan por comprar los filtros prefabricados. Se pueden comprar dos tipos de filtros: de bolsa y de cartucho. Se debe precalentar el aceite antes de filtrarlo para que el proceso ocurra a una mayor velocidad.

4. TITULACIÓN. Es necesario llevar a cabo una titulación para determinar la cantidad de hidróxido de sodio requerido para llevar a cabo una reacción completa entre el biodiésel y la mezcla de metanol con la base. El procedimiento de la titulación es:

1. Mezclar 10 mL de alcohol isopropílico (90% o más) en un beaker con 1 mL de la muestra de aceite a utilizar.
2. Añadir dos gotas de fenolftaleína.
3. Utilizando la jeringa pequeña añadir cierta cantidad de la solución de NaOH/agua.
4. Añadir gota a gota la solución del paso 3 agitando el beaker hasta que se obtenga un color rosado pálido en la mezcla que dure al menos 10 segundos.
5. Anotar la cantidad de mililitros utilizados (X) de la solución NaOH/agua que se emplearon en la titulación.

$$X \text{ mL NaOH/agua} + 5.5 (\text{número base}) = Y \text{ g NaOH/L aceite}$$

$$Z \text{ gal aceite} * \frac{3.785 \text{ L}}{1 \text{ gal}} * Y \text{ g NaOH/L aceite} = g \text{ NaOH}$$

**Al llevar a cabo la titulación se deben de utilizar guantes y un respirador deben ser utilizados cuando se usa el hidróxido de sodio ya que este puede provocar quemaduras químicas, lesiones permanentes o cicatrices, y ceguera. El vinagre es un ácido que puede neutralizar bien el NaOH.

5. PRUEBAS RECOMENDADAS AL BIODIÉSEL

- Verificar la obtención de una reacción completa

Primera prueba y sencilla. Después de haber mezclado el metóxido de sodio con el aceite, la glicerina se separa del biodiésel por las siguientes 8 – 12 horas. La glicerina debe de ser alrededor del 15 – 20 % del volumen total en el tanque y se debe asentar en el fondo. Si el porcentaje de glicerina es menor que el rango indicado es probable que no se haya usado suficiente catalizador y no se obtuvo una reacción completa. Tampoco debe de haber una tercera capa entre la glicerina y el biodiésel. Una reacción completa va a estar libre de mono y di glicéridos. Si no se usó suficiente metanol o catalizador se podrán observar pequeñas cantidades de mono y di glicéridos flotando en el biodiésel. En este caso es importante reprocesar el batch.

- Prueba de porcentaje

Medir el porcentaje de glicerina que se separa del biodiésel. Después de 8 – 12 horas se mide la cantidad de glicerina en el fondo. Si se obtuvo un 15 – 20 % del volumen total del tanque como glicerina se pasa la prueba. Esto es un indicador de que la reacción se completó.

- Prueba de separación

Es una prueba que se hace luego de decantar la glicerina y antes de lavar el biodiésel, se conoce como prueba de miscibilidad. Se realiza para saber si el biodiésel se separará naturalmente del agua. Es muy importante y siempre debe hacerse antes de lavar el combustible. Añadir una pequeña muestra del biodiésel a un recipiente con tapadera. Añadir la misma cantidad de agua desmineralizada y revolver por unos segundos, mezclándolas completamente. Ver si se forma una capa espumosa. Si esto ocurre, se puede deber a contaminantes, (jabón) en el biodiésel. Si todo se hizo bien no se debe de tener espuma y el agua se debe de separar completamente del combustible en un tiempo de 30 – 60 minutos quedándose en el fondo del recipiente. Si esto ocurre sin tener jabón entonces se pasó la prueba y es seguro pasar a la etapa de lavado.

- Prueba al pH del biodiésel

Es una prueba muy útil para determinar la calidad del biodiésel. Después de haber hecho la prueba de miscibilidad, se puede tomar una muestra del agua separada para medir el pH. Ya que no se puede medir el pH directamente se mide el agua que estuvo en contacto con este. Después de haber separado la capa del biodiésel del agua, se toma una lectura de pH del agua. Para calidad, el pH del biodiésel sin lavar debe tener un pH entre 9 – 10, mientras que el que se encuentra lavado debe tener pH 7.

- Prueba del lavado al biodiésel

Hay unas pruebas simples que se pueden realizar al agua del lavado para tener una idea de cómo va el procesamiento del biodiésel. Primero se debe ver el color del agua de lavado, puede estar nublado en los primeros lavados, pero luego de eso debe estar clara. Si el agua forma espumas o jabones, lo más probable es que se deba realizar otro ciclo de lavado. Si el agua no tiene jabón se puede proceder a la última prueba. Medir el pH del agua después de lavar. Si el agua indica un pH neutro (7), se puede pasar al secado del biodiésel; si no, se puede necesitar un último lavado.

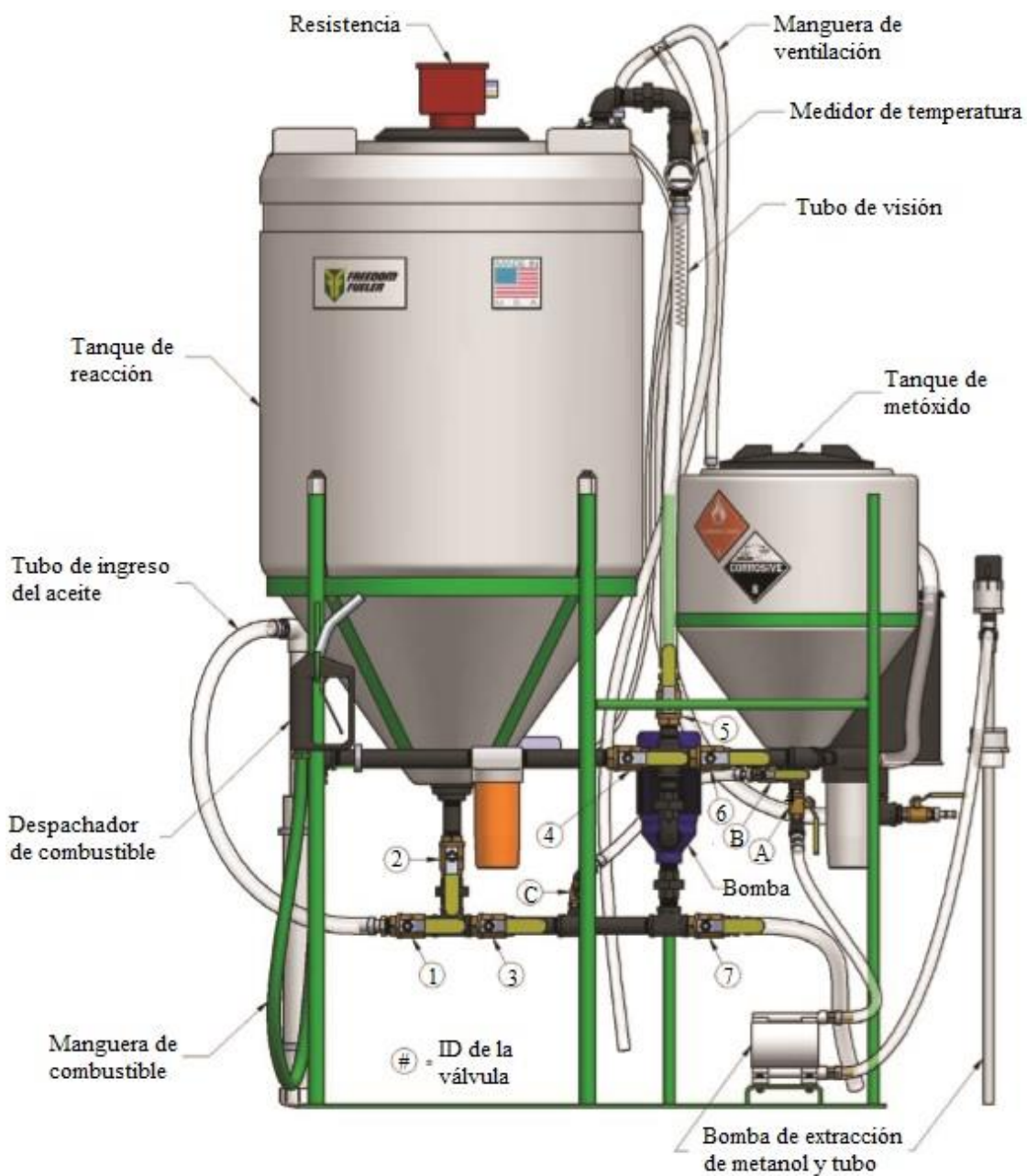
- Prueba de color

Dependiendo del color del aceite que se utilizó, el biodiésel variará de color. Un biodiésel de calidad no será más oscuro que el aceite original que se usó. El rango deberá estar entre un amarillo claro y un ámbar oscuro.

- Prueba 3-27

Se utiliza para determinar si es que hay aceite que no reaccionó en el biodiésel. Asegurarse que el biodiésel que se está analizando se encuentre a 20 °C. En un recipiente mezclar 27 mL de metanol con 3 mL de biodiésel sin lavar y agitar fuertemente. Dejar que la mezcla se asiente por 30 – 60 segundos. Si nada se asienta en el recipiente se pasa la prueba; si se asienta aceite en el fondo esto indica que hay aceite sin reaccionar y que se requiere reprocesar para convertirlo.

6. DIAGRAMA DEL EQUIPO



7. METODOLOGÍA DE USO

Ingreso del aceite al sistema:

- Pesar 252.42 kg de aceite usado empleando varias cubetas para su almacenamiento momentáneo.
- Verificar que todas las válvulas del sistema de la planta se encuentren cerradas.
- Abrir las válvulas 2, 3 y 5 de la planta para verter alrededor de 10 gal de aceite para que la bomba se beba.
- Cerrar la válvula 2 y llenar con aceite la manguera de acceso del aceite usado conectada a la válvula 1. De manera rápida abrir la válvula 1 y encender la bomba permitiendo la entrada del aceite al tanque de reacción. Llenar constantemente la cubeta a la cual se le metió la manguera, asegurando que se añada todo el aceite a la planta y al finalizar cerrar la válvula 1.
 - En el caso de que no funcione el cebado de la bomba, ingresar el aceite en la parte superior utilizando las cubetas removiendo la tapa. Al terminar el llenado cerrar el tanque con la tapa.
- Abrir la válvula 2 y encender la bomba a manera de recircular el aceite. Al mismo tiempo, encender la resistencia para permitir el calentamiento del aceite hasta que alcance una temperatura de 40 – 45 °C.

Preparación del metóxido de sodio:

- Pesar 55.02 kg de metanol en varias cubetas utilizando la balanza de piso.
- Pesar 2.52 kg de hidróxido de sodio en una bolsa plástica empleando la balanza de piso.
- Utilizando el reactor de dilución de hidróxido de sodio en metanol de la planta piloto del departamento de Ingeniería Química e Ingeniería Química Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala mezclar el hidróxido de sodio con el metanol, utilizando la mitad de cada una de las cantidades mencionadas anteriormente.
- De la primera mitad de metóxido ingresar aproximadamente 15 L por la parte superior de la planta utilizando una cubeta. Ingresar el resto en el tanque de metóxido de la planta.
- Cerrar más de la mitad de la válvula 2 y abrir la válvula B por completo y la válvula C a la mitad permitiendo el paso del metóxido de sodio a la corriente con aceite. Añadir la otra parte de metóxido preparado al tanque de almacenamiento de metóxido.

Procedimiento para hacer la reacción en la planta:

- Al vaciarse el tanque de metóxido cerrar las válvulas B y C, abrir la válvula 2 permitiendo el paso de una mayor cantidad de aceite en la recirculación.
- Recircular la mezcla de metóxido y aceite hasta al alcanzar una temperatura constante entre 50 -55 °C según el medidor de temperatura. Tomar el tiempo a partir de este momento.
- Operar el equipo 5 horas, tomar muestras a las 3 y 4 horas por la parte superior, del material que cae de la recirculación, y en la parte inferior abriendo la válvula 7 para realizar una prueba 3-27.
- Al finalizar la reacción desconectar la bomba y la resistencia
- Cerrar las válvulas 2 y 3 y se abrir la válvula 7 para remover el líquido remanente en la tubería de salida de la bomba.
- Cerrar las válvulas 5 y 7 y enfriar el equipo permitiendo una separación entre la glicerina y biodiésel por 3 horas.
- Decantar la glicerina abriendo las válvulas 2, 3 y 7, dejando pasar un poco del biodiésel para garantizar que únicamente se retiene biodiésel en el tanque de reacción.
- Luego de otras 3 horas, volver a decantar la glicerina repitiendo el mismo paso anterior y se cerrar todas las válvulas.
- Abrir las válvulas 2, 3 y 4 encender la bomba. Usando el dispensador del combustible ingresar la mitad del biodiésel crudo al reactor de la planta piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias.
- Procedimientos de lavado y secado realizados fuera de la planta portátil de 115 con ayuda de los equipos de la planta piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG:
 - Realizar 10 lavados al biodiésel empleando un aspersor de agua colocado en una manguera.
 - Posterior a los lavados realizar el secado empleando vapor de la caldera del Laboratorio de Operaciones Unitarias para calentar la chaqueta del reactor durante 9 horas.
 - Por la parte superior del reactor, tomar una muestra del biodiésel lavado y seco para realizar los posteriores análisis.
 - El resto del biodiésel lavado y seco se debe ingresar a un tanque cúbico para su almacenamiento y repetir el mismo procedimiento para la otra mitad del biodiésel crudo.

8. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS. Algunos de los lotes producidos en la planta pueden no ser perfectos por un número diferente de razones. Se ha realizado una lista de los problemas más comunes que pueden encontrarse en el biodiésel:

- Agua

Causa: agua presente en la fuente de aceite empleada

Efecto: el biodiésel puede producir o crear una capa espumosa en la parte superior

Solución: remover la capa espumosa y permitir que el aceite se asiente.

Causa: cantidad excesiva de agua presente en la fuente de aceite

Efecto: grandes cantidades de jabón en forma de trozos se pueden obtener debido a que ocurre una saponificación en lugar de una transesterificación.

Solución: cuidadosamente remover los trozos de jabón y dejar que el biodiésel se asiente.

- Alcohol

Causa: exceso de alcohol (metanol)

Efecto: olor fuerte a alcohol presente en el biodiésel

Solución: evaporar el metanol calentando el biodiésel en un recipiente abierto hasta que el olor desaparezca.

Causa: no hay suficiente alcohol (metanol)

Efecto: reacción incompleta, se dejan triglicéridos sin procesar flotando en el biodiésel y/o menos de 10 – 12 % de precipitación por parte de la glicerina en el proceso.

Solución: determinar si se utilizó el volumen correcto de alcohol según los cálculos. Emplear la mitad del catalizador que se utilizó al principio al momento de reprocesar el lote.

- Catalizador

Causa: exceso de catalizador (hidróxido de sodio)

Efecto: formación de espuma y de jabones.

Solución: remover cuidadosamente la espuma o jabón y permitir que el biodiésel se asiente. Drenar la glicerina formada y realizar las pruebas respectivas al biodiésel para determinar si se debe reprocesar o no.

Causa: no hay suficiente catalizador (hidróxido de sodio)

Efecto: reacción incompleta, se dejan triglicéridos sin procesar flotando en el biodiésel y/o menos del 15 – 20 % de precipitación por parte de la glicerina en el proceso.

Solución: determinar si se utilizó la cantidad correcta de catalizador. Si no es así, re-titular el aceite y luego usar la mitad de la cantidad calculada para reprocesar el lote. También usar la mitad de la cantidad requerida de alcohol.

- Emulsiones

Causa: emulsificadores (moléculas de aceite medio procesadas, mono y diglicéridos) presentes en el biodiésel al ser lavado.

Efecto: durante el proceso de separación, una capa delgada de la emulsión se forma entre el biodiésel y el agua de lavado. Esto es algo común y se refiere a una emulsión suave. Cuando una capa más gruesa de color amarilla blanuzca se forma, esta se considera una emulsión severa.

Solución: un biodiésel bien preparado no formará emulsiones delgadas. Las emulsiones suaves se pueden drenar en otro recipiente y asentar. Luego de 24 horas el biodiésel en la parte superior puede ser reprocesado con el siguiente lote. Seguir adelante con las demás lavadas. No se debería volver a formar otra emulsión; con las emulsiones severas se pueden drenar en otro recipiente y dejar que se separen. Este tipo de emulsiones es complicado de separar y requerirá de una mayor cantidad de pasos para reprocesarlo. Sal, agua caliente y un calor leve pueden ayudar a romper las emulsiones.

9. PREGUNTAS FRECUENTES

- ¿Qué productos químicos necesito para poder hacer biodiésel y dónde los consigo?

Metanol e hidróxido de sodio / soda cáustica. El metanol se puede comprar a granel a través de un comerciante de productos químicos. El hidróxido de sodio también se puede comprar a granel en distintas comercializadores de productos químicos.

- ¿Qué necesito hacer para que mi vehículo funcione con biodiésel?

Si las líneas de combustible están hechas a partir de hule natural, estos deben de ser reemplazadas por otras nuevas que son de hule sintético. El biodiésel puede romper y corroer las líneas de hule natural y puede sellar las mismas con el paso del tiempo.

- ¿De dónde consigo aceite vegetal usado?

La mayoría de las personas consiguen el aceite vegetal usado mediante acuerdos o relaciones con restaurantes locales que lo desechan. Varios restaurantes o empresas de frituras deben pagar para poder deshacerse del aceite a manera de no incumplir con las normas medioambientales establecidas, por lo que estas son fuentes

con las cuales se puede obtener un trato para recuperar el material y convertirlo en otro producto con una mayor utilidad.

- ¿Cuáles son los beneficios de la unidad de calentamiento?

Mediante el calentamiento del aceite antes de procesarlo, las moléculas de aceite se adelgazan, preparándolas para que se mezclen de una mejor manera con el metóxido de sodio. Calentar ayuda al aceite a alcanzar una mejor conversión, produciendo una mayor cantidad de biodiésel y menos glicerina. También ayuda a acelerar la reacción, reduciendo el tiempo de la misma. Por último, la resistencia empleada o cualquier otro método de calefacción se puede usar para romper los problemas debido a emulsiones, esto si en el caso de que se formen al finalizar el procesamiento.

10. HOJAS DE SEGURIDAD

Metanol



SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Revision Date 13.06.2017

Version 18.5

SECTION 1. Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1 Product identifier

Catalogue No.	106009
Product name	Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur
REACH Registration Number	01-2119433307-44-XXXX
CAS-No.	67-56-1

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses	Reagent for analysis, Solvent, Chemical production In compliance with the conditions described in the annex to this safety data sheet.
-----------------	---

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company	Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Germany * Phone:+49 6151 72-0
Responsible Department	LS-QHC * e-mail: prodsafe@merckgroup.com

1.4 Emergency telephone number	Please contact the regional company representation in your country.
--------------------------------	---

SECTION 2. Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification (REGULATION (EC) No 1272/2008)

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106009
Product name Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Flammable liquid, Category 2, H225
Acute toxicity, Category 3, Oral, H301
Acute toxicity, Category 3, Inhalation, H331
Acute toxicity, Category 3, Dermal, H311
Specific target organ toxicity - single exposure, Category 1, Eyes, H370

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

2.2 Label elements

Labelling (REGULATION (EC) No 1272/2008)

Hazard pictograms



Signal word

Danger

Hazard statements

H225 Highly flammable liquid and vapour.

H301 + H311 + H331 Toxic if swallowed, in contact with skin or if inhaled.

H370 Causes damage to organs (Eyes).

Precautionary statements

Prevention

P210 Keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames and other ignition sources. No smoking.

P240 Ground/bond container and receiving equipment.

P280 Wear protective gloves/ protective clothing.

Response

P302 + P352 IF ON SKIN: Wash with plenty of soap and water.

P304 + P340 IF INHALED: Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing.

P308 + P310 IF exposed or concerned: immediately call a POISON CENTER or doctor/ physician.

Storage

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106009
 Product name Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

P403 + P233 Store in a well-ventilated place. Keep container tightly closed.

Reduced labelling (≤125 ml)

Hazard pictograms



Signal word

Danger

Hazard statements

H301 + H311 + H331 Toxic if swallowed, in contact with skin or if inhaled.

H370 Causes damage to organs (Eyes).

Precautionary statements

P210 Keep away from heat, hot surfaces, sparks, open flames and other ignition sources. No smoking.

P280 Wear protective gloves/ protective clothing.

P304 + P340 IF INHALED: Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing.

P308 + P310 IF exposed or concerned: immediately call a POISON CENTER or doctor/ physician.

Index-No. 603-001-00-X

2.3 Other hazards

None known.

SECTION 3. Composition/information on ingredients

3.1 Substance

Formula	CH ₃ OH	CH ₄ O (Hill)
Index-No.	603-001-00-X	
EC-No.	200-659-6	
Molar mass	32,04 g/mol	

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106009
 Product name Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Hazardous components (REGULATION (EC) No 1272/2008)

Chemical name (Concentration)

CAS-No. Registration number Classification

Methanol (<= 100 %)

Substance does not meet the criteria for PBT or vPvB according to Regulation (EC) No 1907/2006, Annex XIII.

67-56-1	01-21 19433307-44-	
	XXXX	Flammable liquid, Category 2, H225 Acute toxicity, Category 3, H301 Acute toxicity, Category 3, H331 Acute toxicity, Category 3, H311 Specific target organ toxicity - single exposure, Category 1, H370

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

3.2 Mixture

Not applicable

SECTION 4. First aid measures

4.1 Description of first aid measures

General advice

First aider needs to protect himself.

After inhalation: fresh air. Immediately call in physician. If breathing stops: immediately apply artificial respiration, if necessary also oxygen.

In case of skin contact: Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/shower. Call a physician immediately.

After eye contact: rinse out with plenty of water. Call in ophthalmologist. Remove contact lenses.

After swallowing: fresh air. Make victim drink ethanol (e.g. 1 drinking glass of a 40% alcoholic beverage). Call a doctor immediately (mention methanol ingestion). Only in exceptional cases, if no medical care is available within one hour, induce vomiting (only in fully conscious persons) and make victim drink ethanol again (approx. 0.3 ml of a 40% alcoholic beverage/kg body weight/hour).

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106009
Product name Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

irritant effects, Drowsiness, Dizziness, narcosis, agitation, spasms, inebriation, Nausea,
Vomiting, Headache, blindness, Impairment of vision, Coma
Drying-out effect resulting in rough and chapped skin.

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

No information available.

SECTION 5. Firefighting measures

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media

Foam, Carbon dioxide (CO₂), Dry powder

Unsuitable extinguishing media

For this substance/mixture no limitations of extinguishing agents are given.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture

Combustible.

Vapours are heavier than air and may spread along floors.

Forms explosive mixtures with air at ambient temperatures.

Pay attention to flashback.

Development of hazardous combustion gases or vapours possible in the event of fire.

5.3 Advice for firefighters

Special protective equipment for firefighters

Stay in danger area only with self-contained breathing apparatus. Prevent skin contact by keeping a safe distance or by wearing suitable protective clothing.

Further information

Remove container from danger zone and cool with water. Prevent fire extinguishing water from contaminating surface water or the ground water system.

SECTION 6. Accidental release measures

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106009
Product name	Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Advice for non-emergency personnel: Do not breathe vapours, aerosols. Avoid substance contact. Ensure adequate ventilation. Keep away from heat and sources of ignition. Evacuate the danger area, observe emergency procedures, consult an expert.

Advice for emergency responders:

Protective equipment see section 8.

6.2 Environmental precautions

Do not let product enter drains. Risk of explosion.

6.3 Methods and materials for containment and cleaning up

Cover drains. Collect, bind, and pump off spills. Observe possible material restrictions (see sections 7 and 10). Take up carefully with liquid-absorbent material (e.g. Chemisorb®). Dispose of properly. Clean up affected area.

6.4 Reference to other sections

Indications about waste treatment see section 13.

SECTION 7. Handling and storage

7.1 Precautions for safe handling

Advice on safe handling

Work under hood. Do not inhale substance/mixture. Avoid generation of vapours/aerosols.

Observe label precautions.

Advice on protection against fire and explosion

Keep away from open flames, hot surfaces and sources of ignition. Take precautionary measures against static discharge.

Hygiene measures

Immediately change contaminated clothing. Apply preventive skin protection. Wash hands and face after working with substance.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Storage conditions

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106009
Product name Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place. Keep away from heat and sources of ignition. Keep locked up or in an area accessible only to qualified or authorised persons.

Recommended storage temperature see product label.

7.3 Specific end use(s)

See exposure scenario in the Annex to this MSDS.

SECTION 8. Exposure controls/personal protection

8.1 Control parameters

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106009
 Product name Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Derived No Effect Level (DNEL)

Worker DNEL, acute	Systemic effects	dermal	40 mg/kg Body weight
Worker DNEL, acute	Systemic effects	inhalation	260 mg/m ³
Worker DNEL, acute	Local effects	inhalation	260 mg/m ³
Worker DNEL, longterm	Systemic effects	dermal	40 mg/kg Body weight
Worker DNEL, longterm	Systemic effects	inhalation	260 mg/m ³
Worker DNEL, longterm	Local effects	inhalation	260 mg/m ³
Consumer DNEL, acute	Systemic effects	dermal	8 mg/kg Body weight
Consumer DNEL, acute	Systemic effects	inhalation	50 mg/m ³
Consumer DNEL, acute	Systemic effects	oral	8 mg/kg Body weight
Consumer DNEL, acute	Local effects	inhalation	50 mg/m ³
Consumer DNEL, longterm	Systemic effects	dermal	8 mg/kg Body weight
Consumer DNEL, longterm	Systemic effects	inhalation	50 mg/m ³
Consumer DNEL, longterm	Systemic effects	oral	8 mg/kg Body weight
Consumer DNEL, longterm	Local effects	inhalation	50 mg/m ³

Predicted No Effect Concentration (PNEC)

PNEC Fresh water	154 mg/l
PNEC Fresh water sediment	570,4 mg/kg
PNEC Marine water	15,4 mg/l
PNEC Soil	23,5 mg/kg
PNEC Sewage treatment plant	100 mg/l

8.2 Exposure controls

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106009
 Product name Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Engineering measures

Technical measures and appropriate working operations should be given priority over the use of personal protective equipment.

See section 7.1.

Individual protection measures

Protective clothing needs to be selected specifically for the workplace, depending on concentrations and quantities of the hazardous substances handled. The chemical resistance of the protective equipment should be enquired at the respective supplier.

Eye/face protection

Safety glasses

Hand protection

full contact:

Glove material:	butyl-rubber
Glove thickness:	0,7 mm
Break through time:	> 480 min

splash contact:

Glove material:	Viton (R)
Glove thickness:	0,70 mm
Break through time:	> 120 min

The protective gloves to be used must comply with the specifications of EC Directive 89/686/EEC and the related standard EN374, for example KCL 898 Butoject® (full contact), KCL 890 Vitoject® (splash contact).

The breakthrough times stated above were determined by KCL in laboratory tests acc. to EN374 with samples of the recommended glove types.

This recommendation applies only to the product stated in the safety data sheet<(>,<)> supplied by us and for the designated use. When dissolving in or mixing with other substances and under conditions deviating from those stated in EN374 please contact the supplier of CE-approved gloves (e.g. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de).

Other protective equipment

Flame retardant antistatic protective clothing.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106009
Product name	Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Respiratory protection

required when vapours/aerosols are generated.

Recommended Filter type: Filter AX (EN 371)

The entrepreneur has to ensure that maintenance, cleaning and testing of respiratory protective devices are carried out according to the instructions of the producer. These measures have to be properly documented.

Environmental exposure controls

Do not let product enter drains.

Risk of explosion.

SECTION 9. Physical and chemical properties

9.1 Information on basic physical and chemical properties

Form	liquid
Colour	colourless
Odour	characteristic
Odour Threshold	10 - 20000 ppm
pH	No information available.
Melting point	-98 °C
Boiling point/boiling range	64,5 °C at 1.013 hPa
Flash point	10 °C Method: c.c.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106009
Product name	Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur
Evaporation rate	6,3 Reference substance: Diethylether
	1,9 Reference substance: n-butyl acetate
Flammability (solid, gas)	No information available.
Lower explosion limit	5,5 %(V)
Upper explosion limit	44 %(V)
Vapour pressure	128 hPa at 20 °C
Relative vapour density	1,11
Density	0,792 g/cm ³ at 20 °C
Relative density	No information available.
Water solubility	at 20 °C soluble
Partition coefficient: n-octanol/water	log Pow: -0,77 (experimental) (Lit.) Bioaccumulation is not expected.
Auto-ignition temperature	455 °C
Decomposition temperature	Distillable in an undecomposed state at normal pressure.
Viscosity, dynamic	0,597 mPa.s at 20 °C

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106009
Product name	Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Explosive properties	Not classified as explosive.
----------------------	------------------------------

Oxidizing properties	none
----------------------	------

9.2 Other data

Ignition temperature	455 °C DIN 51794
----------------------	---------------------

Minimum ignition energy	0,14 mJ
-------------------------	---------

Conductivity	< 1 µS/cm
--------------	-----------

SECTION 10. Stability and reactivity

10.1 Reactivity

Vapours may form explosive mixture with air.

10.2 Chemical stability

The product is chemically stable under standard ambient conditions (room temperature) .

10.3 Possibility of hazardous reactions

Risk of explosion with:

Oxidizing agents, perchloric acid, perchlorates, salts of oxyhalogenic acids, chromium(VI) oxide, halogen oxides, nitrogen oxides, nonmetallic oxides, chromosulfuric acid, chlorates, hydrides, zinc diethyl, halogens, magnesium, hydrogen peroxide, Nitric acid

Exothermic reaction with:

acid halides, Acid anhydrides, Reducing agents, acids

Generates dangerous gases or fumes in contact with:

Alkaline earth metals, Alkali metals

10.4 Conditions to avoid

Warming.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106009
Product name Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

10.5 Incompatible materials

various plastics, magnesium, zinc alloys

10.6 Hazardous decomposition products

no information available

SECTION 11. Toxicological information

11.1 Information on toxicological effects

Acute oral toxicity

LDLO human: 143 mg/kg

(RTECS)

Symptoms: Nausea, Vomiting

Acute inhalation toxicity

LC50 Rat: 131,25 mg/l; 4 h ; vapour

(ECHA)

Symptoms: Irritation symptoms in the respiratory tract.

Acute dermal toxicity

LD50 Rabbit: ca. 17.100 mg/kg

(External MSDS)

Skin irritation

Rabbit

Result: No skin irritation

(ECHA)

Drying-out effect resulting in rough and chapped skin.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106009
Product name Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Eye irritation

Rabbit

Result: No eye irritation

(ECHA)

Irritations of mucous membranes

Sensitisation

Sensitisation test: Guinea pig

Result: negative

Method: OECD Test Guideline 406

Germ cell mutagenicity

Genotoxicity in vivo

Micronucleus test

Mouse

male and female

Intraperitoneal injection

Bone marrow

Result: negative

Method: OECD Test Guideline 474

Genotoxicity in vitro

Ames test

Salmonella typhimurium

Result: negative

Method: OECD Test Guideline 471

In vitro mammalian cell gene mutation test

Result: negative

Method: OECD Test Guideline 476

Carcinogenicity

This information is not available.

Reproductive toxicity

This information is not available.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106009
Product name Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Teratogenicity

This information is not available.

CMR effects

Carcinogenicity:

Did not show carcinogenic effects in animal experiments.

Mutagenicity:

Based on available data the classification criteria are not met.

Teratogenicity:

Based on available data the classification criteria are not met.

Reproductive toxicity:

Based on available data the classification criteria are not met.

Specific target organ toxicity - single exposure

Causes damage to organs.

Target Organs: Eyes

Specific target organ toxicity - repeated exposure

This information is not available.

Repeated dose toxicity

Rat

male and female

Inhalation

vapour

28 d

daily

NOAEL: 6,66 mg/l

OECD Test Guideline 412

Subacute toxicity

Rat

male and female

Inhalation

365 d

daily

NOAEL: 0,13 mg/l

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106009
Product name	Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

LOAEL: 1,3 mg/l
 OECD Test Guideline 453

Aspiration hazard

This information is not available.

11.2 Further information

Systemic effects:

acidosis, drop in blood pressure, agitation, spasms, inebriation, Dizziness, Drowsiness,
 Headache, Impairment of vision, blindness, narcosis, Coma
 Symptoms may be delayed.

Damage to:

Liver, Kidney, Cardiac, Irreversible damage of the optical nerve.
 Other dangerous properties can not be excluded.
 This substance should be handled with particular care.

SECTION 12. Ecological information

12.1 Toxicity

Toxicity to fish

flow-through test LC50 *Lepomis macrochirus* (Bluegill sunfish): 15.400 mg/l; 96 h
 US-EPA

Toxicity to daphnia and other aquatic invertebrates

EC5 *E.sulcatum*: > 10.000 mg/l; 72 h
 (Lit.)

EC50 *Daphnia magna* (Water flea): > 10.000 mg/l; 48 h
 (IUCLID)

Toxicity to algae

static test EC50 *Pseudokirchneriella subcapitata* (green algae): ca. 22.000 mg/l; 96 h
 OECD Test Guideline 201

Toxicity to bacteria

EC5 *Pseudomonas fluorescens*: 6.600 mg/l; 16 h
 (IUCLID)

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106009
Product name	Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

static test IC50 activated sludge: > 1.000 mg/l; 3 h

Analytical monitoring: yes

OECD Test Guideline 209

Toxicity to fish (Chronic toxicity)

NOEC *Oryzias latipes* (Orange-red killifish): 7.900 mg/l; 200 h

(External MSDS)

12.2 Persistence and degradability

Biodegradability

99 %; 30 d

OECD Test Guideline 301D

Readily biodegradable

Biochemical Oxygen Demand (BOD)

600 - 1.120 mg/g (5 d)

(IUCLID)

Chemical Oxygen Demand (COD)

1.420 mg/g

(IUCLID)

Theoretical oxygen demand (ThOD)

1.500 mg/g

(Lit.)

Ratio BOD/ThBOD

BOD5 76 %

Closed Bottle test

12.3 Bioaccumulative potential

Partition coefficient: n-octanol/water

log Pow: -0,77

(experimental)

(Lit.) Bioaccumulation is not expected.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106009
Product name	Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

12.4 Mobility in soil

No information available.

12.5 Results of PBT and vPvB assessment

Substance does not meet the criteria for PBT or vPvB according to Regulation (EC) No 1907/2006, Annex XIII.

12.6 Other adverse effects

Surface tension

22,6 mN/m

at 20 °C

Stability in water

2,2 yr

reaction with hydroxyl radicals (IUCLID)

Discharge into the environment must be avoided.

SECTION 13. Disposal considerations

Waste treatment methods

See www.retrologistik.com for processes regarding the return of chemicals and containers, or contact us there if you have further questions.

SECTION 14. Transport information

Land transport (ADR/RID)

14.1 UN number	UN 1230
14.2 Proper shipping name	METHANOL
14.3 Class	3 (6.1)
14.4 Packing group	II
14.5 Environmentally hazardous	--
14.6 Special precautions for user	yes
Tunnel restriction code	D/E

Inland waterway transport (ADN)

The Safety Data Sheets for catalogue items are available at www.merckgroup.com

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106009
Product name	Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Not relevant

Air transport (IATA)

14.1 UN number	UN 1230
14.2 Proper shipping name	METHANOL
14.3 Class	3 (6.1)
14.4 Packing group	II
14.5 Environmentally hazardous	--
14.6 Special precautions for user	no

Sea transport (IMDG)

14.1 UN number	UN 1230
14.2 Proper shipping name	METHANOL
14.3 Class	3 (6.1)
14.4 Packing group	II
14.5 Environmentally hazardous	--
14.6 Special precautions for user	yes
EmS	F-E S-D

14.7 Transport in bulk according to Annex II of MARPOL 73/78 and the IBC Code

Not relevant

SECTION 15. Regulatory information

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

EU regulations

Major Accident Hazard	SEVESO III
Legislation	Methanol
	22
	Quantity 1: 500 t
	Quantity 2: 5.000 t

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106009
Product name	Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Occupational restrictions	Take note of Dir 94/33/EC on the protection of young people at work. Observe work restrictions regarding maternity protection in accordance to Dir 92/85/EEC or stricter national regulations where applicable.
---------------------------	---

Regulation (EC) No 1005/2009 on substances that deplete the ozone layer	not regulated
---	---------------

Regulation (EC) No 850/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on persistent organic pollutants and amending Directive 79/117/EEC	not regulated
---	---------------

Substances of very high concern (SVHC)	This product does not contain substances of very high concern according to Regulation (EC) No 1907/2006 (REACH), Article 57 above the respective regulatory concentration limit of ≥ 0.1 % (w/w).
--	--

National legislation

Storage class	3
---------------	---

15.2 Chemical safety assessment

For this product a chemical safety assessment was not carried out.

SECTION 16. Other information

Full text of H-Statements referred to under sections 2 and 3.

H225	Highly flammable liquid and vapour.
H301	Toxic if swallowed.
H311	Toxic in contact with skin.
H331	Toxic if inhaled.
H370	Causes damage to organs.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106009
Product name	Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Training advice

Provide adequate information, instruction and training for operators.

Labelling

Hazard pictograms



Signal word

Danger

Hazard statements

H225 Highly flammable liquid and vapour.

H301 + H311 + H331 Toxic if swallowed, in contact with skin or if inhaled.

H370 Causes damage to organs (Eyes).

Precautionary statements

Prevention

P210 Keep away from heat/sparks/open flames/hot surfaces. No smoking.

P240 Ground/bond container and receiving equipment.

P280 Wear protective gloves/ protective clothing.

Response

P302 + P352 IF ON SKIN: Wash with plenty of soap and water.

P304 + P340 IF INHALED: Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing.

P308 + P310 IF exposed or concerned: immediately call a POISON CENTER or doctor/ physician.

Storage

P403 + P233 Store in a well-ventilated place. Keep container tightly closed.

Key or legend to abbreviations and acronyms used in the safety data sheet

Used abbreviations and acronyms can be looked up at www.wikipedia.org.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106009
Product name	Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Regional representation

This information is given on the authorised Safety Data Sheet for your country.

The information contained herein is based on the present state of our knowledge. It characterises the product with regard to the appropriate safety precautions. It does not represent a guarantee of any properties of the product.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106009
Product name	Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

EXPOSURE SCENARIO 1 (Industrial use)

1. Industrial use Reagent for analysis, Solvent, Chemical production)

Sectors of end-use

SU 3 Industrial uses: Uses of substances as such or in preparations at industrial sites
SU 9 Manufacture of fine chemicals
SU 10 Formulation [mixing] of preparations and/ or re-packaging (excluding alloys)

Chemical product category

PC21 Laboratory chemicals

Process categories

PROC1 Use in closed process, no likelihood of exposure
PROC2 Use in closed, continuous process with occasional controlled exposure
PROC3 Use in closed batch process (synthesis or formulation)
PROC4 Use in batch and other process (synthesis) where opportunity for exposure arises
PROC5 Mixing or blending in batch processes for formulation of preparations and articles (multistage and/ or significant contact)
PROC8a Transfer of substance or preparation (charging/ discharging) from/ to vessels/ large containers at non-dedicated facilities
PROC8b Transfer of substance or preparation (charging/ discharging) from/ to vessels/ large containers at dedicated facilities
PROC9 Transfer of substance or preparation into small containers (dedicated filling line, including weighing)
PROC10 Roller application or brushing
PROC15 Use as laboratory reagent

Environmental Release Categories

ERC1 Manufacture of substances
ERC2 Formulation of preparations
ERC4 Industrial use of processing aids in processes and products, not becoming part of articles
ERC6a Industrial use resulting in manufacture of another substance (use of intermediates)
ERC6b Industrial use of reactive processing aids

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106009
Product name	Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

2. Contributing scenarios: Operational conditions and risk management measures

2.1 Contributing scenario controlling worker exposure for: PROC1, PROC2, PROC3, PROC4, PROC5, PROC8a, PROC8b, PROC9, PROC10, PROC15

Product characteristics

Concentration of the Substance in Mixture/Article	Covers the percentage of the substance in the product up to 100 %.
Physical Form (at time of use)	High volatile liquid

Frequency and duration of use

Frequency of use	5 days/week
Frequency of use	< 8 hours/day

Other operational conditions affecting workers exposure

Outdoor / Indoor	Indoor with local exhaust ventilation (LEV)
------------------	---

Technical conditions and measures

Provide extraction ventilation at points where emissions occur.

Organisational measures to prevent /limit releases, dispersion and exposure

Covers daily exposures up to 8 hours.

3. Exposure estimation and reference to its source

Environment

A chemical safety assessment was performed according REACH Article 14(3), Annex I, sections 3 (Environmental Hazard Assessment) and 4 (PBT/vPvB Assessment). As no hazard was identified, an exposure assessment and risk characterisation is not necessary (REACH Annex I section 5.0).

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106009
 Product name Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Workers

CS	Use descriptor	Exposure duration, route, effect	RCR	Exposure Assessment Method
2.1	PROC1		< 1	ECETOC TRA
2.1	PROC2		< 1	ECETOC TRA
2.1	PROC3		< 1	ECETOC TRA
2.1	PROC4		< 1	ECETOC TRA
2.1	PROC5		< 1	ECETOC TRA
2.1	PROC8a		< 1	ECETOC TRA
2.1	PROC8b		< 1	ECETOC TRA
2.1	PROC9		< 1	ECETOC TRA
2.1	PROC10		< 1	ECETOC TRA
2.1	PROC15		< 1	ECETOC TRA

4. Guidance to Downstream User to evaluate whether he works inside the boundaries set by the Exposure Scenario

Please refer to the following documents: ECHA Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.12: Use descriptor system; ECHA Guidance for downstream users; ECHA Guidance on information requirements and chemical safety assessment Part D: Exposure Scenario Building, Part E: Risk Characterisation and Part G: Extending the SDS; VCI/Cefic REACH Practical Guides on Exposure Assessment and Communications in the Supply Chain; CEFIC Guidance Specific Environmental Release Categories (SPERCs).

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106009
 Product name Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

EXPOSURE SCENARIO 2 (Professional use)

1. Professional use Reagent for analysis, Solvent, Chemical production)

Sectors of end-use

SU 22 Professional uses: Public domain (administration, education, entertainment, services, craftsmen)

Chemical product category

PC21 Laboratory chemicals

Process categories

PROC15 Use as laboratory reagent

Environmental Release Categories

ERC2 Formulation of preparations

ERC6a Industrial use resulting in manufacture of another substance (use of intermediates)

ERC6b Industrial use of reactive processing aids

2. Contributing scenarios: Operational conditions and risk management measures

2.1 Contributing scenario controlling worker exposure for: PROC15

Product characteristics

Concentration of the Substance in Mixture/Article	Covers the percentage of the substance in the product up to 100 %.
Physical Form (at time of use)	High volatile liquid

Frequency and duration of use

Frequency of use	5 days/week
Frequency of use	< 8 hours/day

Other operational conditions affecting workers exposure

Outdoor / Indoor	Indoor with local exhaust ventilation (LEV)
------------------	---

Technical conditions and measures

Provide extraction ventilation at points where emissions occur.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106009
 Product name Methanol for analysis EMSURE® ACS,ISO,Reag. Ph Eur

Organisational measures to prevent /limit releases, dispersion and exposure

Covers daily exposures up to 8 hours.

3. Exposure estimation and reference to its source

Environment

A chemical safety assessment was performed according REACH Article 14(3), Annex I, sections 3 (Environmental Hazard Assessment) and 4 (PBT/vPvB Assessment). As no hazard was identified, an exposure assessment and risk characterisation is not necessary (REACH Annex I section 5.0).

Workers

CS	Use descriptor	Exposure duration, route, effect	RCR	Exposure Assessment Method
2.1	PROC15		< 1	ECETOC TRA

4. Guidance to Downstream User to evaluate whether he works inside the boundaries set by the Exposure Scenario

Please refer to the following documents: ECHA Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.12: Use descriptor system; ECHA Guidance for downstream users; ECHA Guidance on information requirements and chemical safety assessment Part D: Exposure Scenario Building, Part E: Risk Characterisation and Part G: Extending the SDS; VCI/Cefic REACH Practical Guides on Exposure Assessment and Communications in the Supply Chain; CEFIC Guidance Specific Environmental Release Categories (SPERCs).

Hidróxido de sodio



SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Revision Date 31.07.2017

Version 18.6

SECTION 1. Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1 Product identifier

Catalogue No.	106462
Product name	Sodium hydroxide pellets EMPLURA®
REACH Registration Number	01-2119457892-27-XXXX
CAS-No.	1310-73-2

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses	Chemical production, Reagent for analysis In compliance with the conditions described in the annex to this safety data sheet.
-----------------	--

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company	Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Germany * Phone:+49 6151 72-0
Responsible Department	LS-QHC * e-mail: prodsafe@merckgroup.com

1.4 Emergency telephone number **Please contact the regional company representation in your country.**

SECTION 2. Hazards identification

2.1 Classification of the substance or mixture

Classification (REGULATION (EC) No 1272/2008)

Corrosive to metals, Category 1, H290
Skin corrosion, Category 1A, H314

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106462
Product name Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

2.2 Label elements

Labelling (REGULATION (EC) No 1272/2008)

Hazard pictograms



Signal word

Danger

Hazard statements

H290 May be corrosive to metals.

H314 Causes severe skin burns and eye damage.

Precautionary statements

Prevention

P280 Wear protective gloves/ protective clothing/ eye protection/ face protection.

Response

P301 + P330 + P331 IF SWALLOWED: Rinse mouth. Do NOT induce vomiting.

P305 + P351 + P338 IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.

P308 + P310 IF exposed or concerned: immediately call a POISON CENTER or doctor/ physician.

Reduced labelling (≤125 ml)

Hazard pictograms



Signal word

Danger

Hazard statements

H314 Causes severe skin burns and eye damage.

Precautionary statements

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106462
 Product name Sodium hydroxide pellets EEMPLURA®

P280 Wear protective gloves/ protective clothing/ eye protection/ face protection.
 P301 + P330 + P331 IF SWALLOWED: Rinse mouth. Do NOT induce vomiting.
 P305 + P351 + P338 IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.
 P308 + P310 IF exposed or concerned: immediately call a POISON CENTER or doctor/ physician.

Index-No. 011-002-00-6

2.3 Other hazards

None known.

SECTION 3. Composition/information on ingredients

3.1 Substance

Formula	NaOH	HNaO (Hill)
Index-No.	011-002-00-6	
EC-No.	215-185-5	
Molar mass	40,00 g/mol	

Hazardous components (REGULATION (EC) No 1272/2008)

Chemical name (Concentration)

CAS-No.	Registration number	Classification
sodium hydroxide (<= 100 %)		
<i>PBT/vPvB: Not applicable for inorganic substances</i>		
1310-73-2	01-2119457892-27-	
	XXXX	Corrosive to metals, Category 1, H290
		Skin corrosion, Category 1A, H314.

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

3.2 Mixture

Not applicable

SECTION 4. First aid measures

4.1 Description of first aid measures

The Safety Data Sheets for catalogue items are available at www.merckgroup.com

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106462
Product name	Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

General advice

First aider needs to protect himself.

After inhalation: fresh air. Call in physician.

In case of skin contact: Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/shower. Call a physician immediately.

After eye contact: rinse out with plenty of water. Immediately call in ophthalmologist. Remove contact lenses.

After swallowing: make victim drink water (two glasses at most), avoid vomiting (risk of perforation). Call a physician immediately. Do not attempt to neutralise.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

Risk of blindness!

Irritation and corrosion, Cough, Shortness of breath, collapse, death

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

No information available.

SECTION 5. Firefighting measures

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media

Use extinguishing measures that are appropriate to local circumstances and the surrounding environment.

Unsuitable extinguishing media

For this substance/mixture no limitations of extinguishing agents are given.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture

Not combustible.

Ambient fire may liberate hazardous vapours.

5.3 Advice for firefighters

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106462
Product name Sodium hydroxide pellets EEMPLURA®

Special protective equipment for firefighters

Stay in danger area only with self-contained breathing apparatus. Prevent skin contact by keeping a safe distance or by wearing suitable protective clothing.

Further information

Suppress (knock down) gases/vapours/mists with a water spray jet. Prevent fire extinguishing water from contaminating surface water or the ground water system.

SECTION 6. Accidental release measures

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

Advice for non-emergency personnel: Avoid inhalation of dusts. Avoid substance contact. Ensure adequate ventilation. Evacuate the danger area, observe emergency procedures, consult an expert.

Advice for emergency responders:

Protective equipment see section 8.

6.2 Environmental precautions

Do not let product enter drains.

6.3 Methods and materials for containment and cleaning up

Cover drains. Collect, bind, and pump off spills. Observe possible material restrictions (see sections 7 and 10). Take up dry. Dispose of properly. Clean up affected area. Avoid generation of dusts.

6.4 Reference to other sections

Indications about waste treatment see section 13.

SECTION 7. Handling and storage

7.1 Precautions for safe handling

Advice on safe handling

Observe label precautions.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106462
 Product name Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

Hygiene measures

Immediately change contaminated clothing. Apply preventive skin protection. Wash hands and face after working with substance.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Requirements for storage areas and containers

No aluminium, tin, or zinc containers.

No metal containers.

Storage conditions

Tightly closed. Dry.

Recommended storage temperature see product label.

7.3 Specific end use(s)

See exposure scenario in the Annex to this MSDS.

SECTION 8. Exposure controls/personal protection

8.1 Control parameters

Derived No Effect Level (DNEL)

Worker DNEL, longterm	Local effects	inhalation	1 mg/m ³
Consumer DNEL, longterm	Local effects	inhalation	1 mg/m ³

Predicted No Effect Concentration (PNEC)

PNEC no data available

8.2 Exposure controls

Engineering measures

Technical measures and appropriate working operations should be given priority over the use of personal protective equipment.

See section 7.1.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106462
 Product name Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

Individual protection measures

Protective clothing needs to be selected specifically for the workplace, depending on concentrations and quantities of the hazardous substances handled. The chemical resistance of the protective equipment should be enquired at the respective supplier.

Eye/face protection

Tightly fitting safety goggles

Hand protection

full contact:

Glove material:	Nitrile rubber
Glove thickness:	0,11 mm
Break through time:	> 480 min

splash contact:

Glove material:	Nitrile rubber
Glove thickness:	0,11 mm
Break through time:	> 480 min

The protective gloves to be used must comply with the specifications of EC Directive 89/686/EEC and the related standard EN374, for example KCL 741 Dermatril® L (full contact), KCL 741 Dermatril® L (splash contact).

The breakthrough times stated above were determined by KCL in laboratory tests acc. to EN374 with samples of the recommended glove types.

This recommendation applies only to the product stated in the safety data sheet (>,<) supplied by us and for the designated use. When dissolving in or mixing with other substances and under conditions deviating from those stated in EN374 please contact the supplier of CE-approved gloves (e.g. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de).

Other protective equipment

protective clothing

Respiratory protection

required when dusts are generated.

Recommended Filter type: Filter P 2 (acc. to DIN 3181) for solid and liquid particles of harmful substances

The entrepreneur has to ensure that maintenance, cleaning and testing of respiratory protective

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106462
Product name	Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

devices are carried out according to the instructions of the producer. These measures have to be properly documented.

Environmental exposure controls

Do not let product enter drains.

SECTION 9. Physical and chemical properties**9.1 Information on basic physical and chemical properties**

Form	solid
Colour	white
Odour	odourless
Odour Threshold	Not applicable
pH	ca. > 14 at 100 g/l 20 °C
Melting point/range	319 - 322 °C
Boiling point/boiling range	1.390 °C at 1.013 hPa
Flash point	Not applicable
Evaporation rate	No information available.
Flammability (solid, gas)	The product is not flammable.
Lower explosion limit	Not applicable

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106462
Product name	Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

Upper explosion limit	Not applicable
Vapour pressure	at 20 °C Not applicable
Relative vapour density	No information available.
Density	2,13 g/cm ³ at 20 °C
Relative density	No information available.
Water solubility	1.090 g/l at 20 °C
Partition coefficient: n-octanol/water	No information available.
Auto-ignition temperature	No information available.
Decomposition temperature	No information available.
Viscosity, dynamic	No information available.
Explosive properties	Not classified as explosive.
Oxidizing properties	none

9.2 Other data

Ignition temperature	Not applicable
Corrosion	May be corrosive to metals.

SECTION 10. Stability and reactivity

10.1 Reactivity

The Safety Data Sheets for catalogue items are available at www.merckgroup.com

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106462
Product name	Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

See section 10.3

10.2 Chemical stability

hygroscopic

10.3 Possibility of hazardous reactions

Violent reactions possible with:

Acetone, Chlorine, Ethylene oxide, Fluorine, Hydrogen halides, Hydrazine hydrate, hydroxylamine, Acid anhydrides, Acrolein, Acid chlorides, Acids, sulphuric acid, Chloroform, Water, hydrogen peroxide, anhydrides, EPICHLOROHYDRIN, phosphides, halogen-halogen compounds, trichloroethene, ALLYL ALCOHOL

can decompose violently in contact with:

Organic Substances, hydrogen sulphide

Risk of ignition or formation of inflammable gases or vapours with:

powdered aluminium, Ammonium salts, persulfates, Sodium borohydride, phosphorus, Oxides of phosphorus, Halogenated hydrocarbon, Light metals, Metals

Risk of explosion/exothermic reaction with:

Bromine, Calcium, in powder form, furfuryl alcohol, Nitromethane, Peroxides, organic nitro compounds, Nitriles, Acrylic monomers, SILVER NITRATE

Chloroform, with, Acetone

Nitrobenzene, with, Methanol

Nitrobenzene, with, salts

magnesium, Zinc, and, Tin, (in the presence of atmospheric oxygen and/or moisture)

10.4 Conditions to avoid

Moisture.

10.5 Incompatible materials

Aluminium, brass, Metals, metal alloys, Zinc, Tin

10.6 Hazardous decomposition products

in the event of fire: See section 5.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106462
Product name Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

SECTION 11. Toxicological information

11.1 Information on toxicological effects

Acute oral toxicity

Symptoms: If ingested, severe burns of the mouth and throat, as well as a danger of perforation of the oesophagus and the stomach.

Acute inhalation toxicity

Symptoms: burns of mucous membranes, Cough, Shortness of breath, Possible damages:, damage of respiratory tract

Acute dermal toxicity

This information is not available.

Skin irritation

Rabbit

Result: Causes burns.

(External MSDS)

Causes severe burns.

Eye irritation

Rabbit

Result: Irreversible effects on the eye

(ECHA)

Causes serious eye damage.

Risk of blindness!

Sensitisation

Patch test: human

Result: negative

(ECHA)

Germ cell mutagenicity

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106462
Product name Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

Genotoxicity in vitro

Mutagenicity (mammal cell test): micronucleus.

Result: negative

(Lit.)

Ames test

Result: negative

(IUCLID)

Carcinogenicity

This information is not available.

Reproductive toxicity

This information is not available.

Teratogenicity

This information is not available.

Specific target organ toxicity - single exposure

This information is not available.

Specific target organ toxicity - repeated exposure

This information is not available.

Aspiration hazard

This information is not available.

11.2 Further information

Systemic effects:

collapse, death

Other dangerous properties can not be excluded.

Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice.

SECTION 12. Ecological information

12.1 Toxicity

Toxicity to fish

LC50 *Gambusia affinis* (Mosquito fish): 125 mg/l; 96 h

(External MSDS)

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106462
Product name Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

Toxicity to daphnia and other aquatic invertebrates

EC50 Ceriodaphnia (water flea): 40,4 mg/l; 48 h
(ECHA)

Toxicity to bacteria

EC50 Photobacterium phosphoreum: 22 mg/l; 15 min
(External MSDS)

12.2 Persistence and degradability

Biodegradability

The methods for determining the biological degradability are not applicable to inorganic substances.

12.3 Bioaccumulative potential

No information available.

12.4 Mobility in soil

No information available.

12.5 Results of PBT and vPvB assessment

PBT/vPvB: Not applicable for inorganic substances

12.6 Other adverse effects

Additional ecological information

Harmful effect due to pH shift.

Forms corrosive mixtures with water even if diluted.

Neutralisation possible in waste water treatment plants.

Discharge into the environment must be avoided.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106462
Product name	Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

SECTION 13. Disposal considerations

Waste treatment methods

See www.retrologistik.com for processes regarding the return of chemicals and containers, or contact us there if you have further questions.

SECTION 14. Transport information

Land transport (ADR/RID)

14.1 UN number	UN 1823
14.2 Proper shipping name	SODIUM HYDROXIDE, SOLID
14.3 Class	8
14.4 Packing group	II
14.5 Environmentally hazardous	--
14.6 Special precautions for user	yes
Tunnel restriction code	E

Inland waterway transport (ADN)

Not relevant

Air transport (IATA)

14.1 UN number	UN 1823
14.2 Proper shipping name	SODIUM HYDROXIDE, SOLID
14.3 Class	8
14.4 Packing group	II
14.5 Environmentally hazardous	--
14.6 Special precautions for user	no

Sea transport (IMDG)

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106462
Product name	Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

14.1 UN number	UN 1823
14.2 Proper shipping name	SODIUM HYDROXIDE, SOLID
14.3 Class	8
14.4 Packing group	II
14.5 Environmentally hazardous	--
14.6 Special precautions for user	yes
EmS	F-A S-B
14.7 Transport in bulk according to Annex II of MARPOL 73/78 and the IBC Code	Not relevant

SECTION 15. Regulatory information

15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

EU regulations

Major Accident Hazard	SEVESO III
Legislation	Not applicable

Occupational restrictions	Take note of Dir 94/33/EC on the protection of young people at work.
---------------------------	--

Regulation (EC) No 1005/2009 on substances that deplete the ozone layer	not regulated
---	---------------

Regulation (EC) No 850/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on persistent organic pollutants and amending Directive 79/117/EEC	not regulated
---	---------------

Substances of very high concern (SVHC)	This product does not contain substances of very high concern according to Regulation (EC) No 1907/2006 (REACH), Article 57 above the respective regulatory concentration limit of ≥ 0.1 % (w/w).
--	--

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106462
Product name	Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

National legislation

Storage class 8B

15.2 Chemical safety assessment

For this product a chemical safety assessment was not carried out.

SECTION 16. Other information

Full text of H-Statements referred to under sections 2 and 3.

H290	May be corrosive to metals.
H314	Causes severe skin burns and eye damage.

Training advice

Provide adequate information, instruction and training for operators.

Labelling

Hazard pictograms



Signal word

Danger

Hazard statements

H290 May be corrosive to metals.
H314 Causes severe skin burns and eye damage.

Precautionary statements

Prevention

P280 Wear protective gloves/ protective clothing/ eye protection/ face protection.

Response

P301 + P330 + P331 IF SWALLOWED: Rinse mouth. Do NOT induce vomiting.

P305 + P351 + P338 IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106462
Product name	Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.

P308 + P310 IF exposed or concerned: immediately call a POISON CENTER or doctor/ physician.

Key or legend to abbreviations and acronyms used in the safety data sheet

Used abbreviations and acronyms can be looked up at www.wikipedia.org.

Regional representation

This information is given on the authorised Safety Data Sheet for your country.

The information contained herein is based on the present state of our knowledge. It characterises the product with regard to the appropriate safety precautions. It does not represent a guarantee of any properties of the product.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106462
Product name	Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

EXPOSURE SCENARIO 1 (Industrial use)

1. Industrial use Chemical production, Reagent for analysis)

Sectors of end-use

SU 3 Industrial uses: Uses of substances as such or in preparations at industrial sites
SU9 Manufacture of fine chemicals
SU 10 Formulation [mixing] of preparations and/ or re-packaging (excluding alloys)

Chemical product category

PC19 Intermediate
PC21 Laboratory chemicals

Process categories

PROC1 Use in closed process, no likelihood of exposure
PROC2 Use in closed, continuous process with occasional controlled exposure
PROC3 Use in closed batch process (synthesis or formulation)
PROC4 Use in batch and other process (synthesis) where opportunity for exposure arises
PROC5 Mixing or blending in batch processes for formulation of preparations and articles (multistage and/ or significant contact)
PROC8a Transfer of substance or preparation (charging/ discharging) from/ to vessels/ large containers at non-dedicated facilities
PROC8b Transfer of substance or preparation (charging/ discharging) from/ to vessels/ large containers at dedicated facilities
PROC9 Transfer of substance or preparation into small containers (dedicated filling line, including weighing)
PROC10 Roller application or brushing
PROC14 Production of preparations or articles by tableting, compression, extrusion, pelletisation
PROC15 Use as laboratory reagent

Environmental Release Categories

ERC1 Manufacture of substances
ERC2 Formulation of preparations
ERC4 Industrial use of processing aids in processes and products, not becoming part of articles
ERC6a Industrial use resulting in manufacture of another substance (use of intermediates)

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106462
Product name	Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

ERC6b Industrial use of reactive processing aids

2. Contributing scenarios: Operational conditions and risk management measures

2.1 Contributing scenario controlling environmental exposure for: ERC1, ERC2, ERC4, ERC6a, ERC6b

Technical conditions and measures / Organizational measures

Water	Solutions with high pH-value must be neutralized before discharge.
Remarks	Do not allow uncontrolled discharge of product into the environment.

2.2 Contributing scenario controlling worker exposure for: PROC1, PROC2, PROC3, PROC4, PROC5, PROC8a, PROC8b, PROC9, PROC10, PROC14, PROC15

Product characteristics

Concentration of the Substance in Mixture/Article	Covers the percentage of the substance in the product up to 100 %.
Physical Form (at time of use)	Solid, low dustiness

Frequency and duration of use

Frequency of use	8 hours/day
------------------	-------------

Other operational conditions affecting workers exposure

Outdoor / Indoor	Indoor without local exhaust ventilation (LEV)
------------------	--

Organisational measures to prevent /limit releases, dispersion and exposure

Covers daily exposures up to 8 hours.

Conditions and measures related to personal protection, hygiene and health evaluation

Wear suitable gloves (tested to EN374), coverall and eye protection.

3. Exposure estimation and reference to its source

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106462
 Product name Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

Workers

CS	Use descriptor	Exposure duration, route, effect	RCR	Exposure Assessment Method
2.2	PROC1	longterm, inhalative, local	0,01	ECETOC TRA 3
2.2	PROC2	longterm, inhalative, local	0,01	ECETOC TRA 3
2.2	PROC3	longterm, inhalative, local	0,10	ECETOC TRA 3
2.2	PROC4	longterm, inhalative, local	0,50	ECETOC TRA 3
2.2	PROC5	longterm, inhalative, local	0,50	ECETOC TRA 3
2.2	PROC8a	longterm, inhalative, local	0,50	ECETOC TRA 3
2.2	PROC8b	longterm, inhalative, local	0,10	ECETOC TRA 3
2.2	PROC9	longterm, inhalative, local	0,10	ECETOC TRA 3
2.2	PROC10	longterm, inhalative, local	0,50	ECETOC TRA 3
2.2	PROC14	longterm, inhalative, local	0,10	ECETOC TRA 3
2.2	PROC15	longterm, inhalative, local	0,10	ECETOC TRA 3

The default parameters and -efficiencies of the applied exposure assessment model were used for the calculation (unless stated differently).

For (other) local effects risk management measures are based on qualitative risk characterisation.

4. Guidance to Downstream User to evaluate whether he works inside the boundaries set by the Exposure Scenario

Please refer to the following documents: ECHA Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.12: Use descriptor system; ECHA Guidance for downstream users; ECHA Guidance on information requirements and chemical safety assessment Part D: Exposure Scenario Building, Part E: Risk Characterisation and Part G: Extending the SDS; VCI/Cefic REACH Practical Guides on Exposure Assessment and Communications in the Supply Chain; CEFIC Guidance Specific Environmental Release Categories (SPERCs).

For scaling of worker exposure assessments performed with ECETOC TRA, please consult the Merck tool SciDeEx® at www.merckmillipore.com/scideex.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106462
 Product name Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

EXPOSURE SCENARIO 2 (Professional use)

1. Professional use Chemical production, Reagent for analysis)

Sectors of end-use

SU 22 Professional uses: Public domain (administration, education, entertainment, services, craftsmen)

Chemical product category

PC21 Laboratory chemicals

Process categories

PROC15 Use as laboratory reagent

Environmental Release Categories

ERC2 Formulation of preparations

ERC6a Industrial use resulting in manufacture of another substance (use of intermediates)

ERC6b Industrial use of reactive processing aids

2. Contributing scenarios: Operational conditions and risk management measures

2.1 Contributing scenario controlling environmental exposure for: ERC2, ERC6a, ERC6b

Technical conditions and measures / Organizational measures

Water	Solutions with high pH-value must be neutralized before discharge.
Remarks	Do not allow uncontrolled discharge of product into the environment.

2.2 Contributing scenario controlling worker exposure for: PROC15

Product characteristics

Concentration of the Substance in Mixture/Article	Covers the percentage of the substance in the product up to 100 %.
Physical Form (at time of use)	Solid, low dustiness

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 106462
 Product name Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

Frequency and duration of use

Frequency of use 8 hours/day

Other operational conditions affecting workers exposure

Outdoor / Indoor Indoor without local exhaust ventilation (LEV)

Organisational measures to prevent /limit releases, dispersion and exposure

Covers daily exposures up to 8 hours.

Conditions and measures related to personal protection, hygiene and health evaluation

Wear suitable gloves (tested to EN374), coverall and eye protection.

3. Exposure estimation and reference to its source

Workers

CS	Use descriptor	Exposure duration, route, effect	RCR	Exposure Assessment Method
2.2	PROC15	longterm, inhalative, local	0,10	ECETOC TRA 3

The default parameters and -efficiencies of the applied exposure assessment model were used for the calculation (unless stated differently).

4. Guidance to Downstream User to evaluate whether he works inside the boundaries set by the Exposure Scenario

Please refer to the following documents: ECHA Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.12: Use descriptor system; ECHA Guidance for downstream users; ECHA Guidance on information requirements and chemical safety assessment Part D: Exposure Scenario Building, Part E: Risk Characterisation and Part G: Extending the SDS; VCI/Cefic REACH Practical Guides on Exposure Assessment and Communications in the Supply Chain; CEFIC Guidance Specific Environmental Release Categories (SPERCs).

For scaling of worker exposure assessments performed with ECETOC TRA, please consult the Merck tool SciDeEx® at www.merckmillipore.com/scideex.

SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No.	106462
Product name	Sodium hydroxide pellets EMPLURA®

I. GLOSARIO

Ácido graso: ácidos carboxílicos con cadenas hidrocarbonadas largas, entre 4 – 24 átomos de carbono, las cuales no se encuentran ramificadas.

Biodiésel: combustible alternativo compuesto por una mezcla de ésteres monoalquílicos de una cadena larga de ácidos grasos libres.

Catalizador: es un compuesto que modifica el camino de la reacción, es decir la cinética, sin intervenir en la termodinámica de la reacción.

Centrifugación: método físico por el cual se separa un sólido de un líquido por diferencia de densidades debido a una fuerza de rotación.

Densidad: propiedad física que expresa la relación que hay entre la masa (cantidad de materia) y el volumen de un cuerpo.

Decantación: procedimiento por el cual se separan dos sustancias mediante el trasvase de la sustancia menos densa de la más densa. Puede tratarse de la separación de dos líquidos inmiscibles o un líquido de un sólido.

Efecto invernadero: aumento de la temperatura de la atmósfera debido a la alta concentración de gases, principalmente CO₂.

Emulsión: mezcla homogénea de un líquido no miscible en otro.

Evaporación: proceso físico por el cuál un líquido pasa a un estado gaseoso al haber adquirido la cantidad de energía suficiente para romper la tensión superficial.

Fenolftaleína: indicador de pH el cual es incoloro en condiciones ácidas y se torna de un color rosado y/o morado en condiciones básicas.

Filtración: método físico de separación de partículas o componentes de un soluto en una suspensión fluida o solución que se retienen en un método poroso para la retención de las mismas.

Glicerol: también conocido como glicerina, es un líquido viscoso, subproducto de la reacción de transesterificación.

Humedad: cantidad de agua presente en un cuerpo.

Índice de refracción: razón entre velocidad de la luz en el vacío con la velocidad de la luz en el medio analizado.

Puente de hidrógeno: enlace entre moléculas formados por átomos de hidrógeno localizados entre átomos electronegativos.

Saponificación: producción de un jabón a partir de aceites o grasas en un medio alcalino.

Sedimentos: sólidos que después de haberse encontrado en suspensión alcanzan el fondo debido a la acción de la gravedad.

Titulación: método empleado para la determinación de la cantidad de una sustancia presente en una solución.

Transesterificación: reacción entre un aceite o grasa en la presencia de un catalizador para la producción de ésteres y glicerina.

Triglicérido: es un tipo de grasa que se encuentra formada por la unión de tres ácidos grasos con una molécula de glicerina.

Viscosidad: oposición de un fluido a deformarse debido a las fuerzas de adhesión que poseen las moléculas de un fluido con respecto a otras del mismo.