



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DEL PROCESO PARA OBTENCIÓN DE BIODIESEL A
PARTIR DEL SEBO DE DESCARNE PRODUCIDO EN LA
CURTIDURÍA TUNGURAHUA S.A.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: ANAÍS DE LOS ÁNGELES JARA URRUTIA

DIRECTORA: Ing. Mónica Lilián Andrade Avalos

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Anaís de los Ángeles Jara Urrutia

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Anaís de los Ángeles Jara Urrutia, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de mayo de 2023



Anaís de los Ángeles Jara Urrutia

180529328-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DEL PROCESO PARA OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL SEBO DE DESCARNE PRODUCIDO EN LA CURTIDURÍA TUNGURAHUA S.A.**, realizado por la señorita: **ANAÍS DE LOS ÁNGELES JARA URRUTIA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-05-10
Ing. Mónica Lilián Andrade Avalos DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-10
Dr. Edgar Iván Ramos Sevilla ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-10

DEDICATORIA

El presente trabajo de integración curricular está dedicado a mis papás (Eujenia y Julio) y a mi abuelito Vicente, quienes con mucho esfuerzo, amor, paciencia y sabiduría han sabido guiarme por el camino del bien, día a día, durante toda mi vida, este logro se los dedico con todo mi corazón, la dedicación y esfuerzo que siempre he puesto para mis estudios son el fruto que ahora quiero compartir con ustedes, será uno de muchos triunfos de los que podrán estar orgullosos; también se lo dedico a mis ángeles de la guarda quienes desde el cielo guían mis pasos y me bendicen grandemente, mis abuelos Fernando, Lupe y María Enriqueta.

Anaís

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a la Virgencita por haberme permitido llegar hasta esta etapa de mi vida, por compartir siempre con mi familia, por la salud y por las bendiciones recibidas.

A mi familia, por siempre brindarme su apoyo incondicional en todo momento, a mis padres por ser el pilar fundamental de mi vida gracias a sus consejos, esfuerzos cotidianos y cariño. A mi abuelito quien ha velado por mi bienestar y por siempre recordarme que la humildad y la responsabilidad son valores que nunca debo olvidar. A mis segundos papás Edna y Xavier, por su ternura, cariño y preocupación. A Josué, Ian y Mauricio, mis hermanos del corazón, por siempre poder compartir momentos inolvidables junto a ustedes.

A todos ustedes por ser siempre mi inspiración y mi ejemplo para seguir.

A Brayán, que ha estado incondicionalmente apoyándome con mucho amor y cariño cuando pensaba que esto no iba a ser posible, gracias por tus palabras de aliento, por la motivación diaria, gracias por siempre recordarme lo capaz que soy, por siempre cuidarme y ser mi soporte incluso en días grises, tu más que nadie sabe todo lo que implica llegar hasta este punto.

A Curtiduría Tungurahua S.A., Ing. Gonzalo Callejas, por ser una empresa que cuida y brinda oportunidades a sus trabajadores, por confiar en mis cortos conocimientos, por poner en mis manos actividades muy importantes y de las que siempre he aprendido, gracias por inspirar mi tema de tesis; a los Ing. Patricio Callejas y Eduardo Núñez por el apoyo constante y las facilidades de proveerme las herramientas necesarias de esta tesis.

A la Ing. Mónica Andrade, por ser una docente que transmite enseñanzas con el corazón, por guiarme en este proceso tan importante y por compartir sus experiencias para siempre hacer el bien.

A todos los docentes y técnicos docentes de la Facultad de Ciencias que compartieron sus conocimientos con paciencia y afecto.

Anaís

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
SIMBOLOGÍA.....	xix
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.2. Referencias teóricas	8
2.2.1. <i>Sebo</i>	8
2.2.1.1. <i>Sebo bovino</i>	9
2.2.2. <i>Biodiésel</i>	9
2.2.3. <i>Métodos de obtención</i>	10
2.2.3.1. <i>Transesterificación heterogénea con catalizador básico</i>	10
2.2.3.2. <i>Esterificación con catalizador ácido</i>	11

2.2.4. Tipos de catalizadores	12
2.2.4.1. <i>Catalizadores básicos</i>	12
2.2.4.2. <i>Catalizadores ácidos</i>	13
2.2.4.3. <i>Catalizadores enzimáticos</i>	14
2.2.5. Normas internacionales	14
2.2.5.1. <i>Norma mexicana</i>	14
2.2.5.2. <i>Norma ASTM (American Society for Testing and Materials)</i>	15
2.2.5.3. <i>Norma Europea 14214 (European Committee for Standardization)</i>	16

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	17
3.1. Localización del proyecto	17
3.2. Tipo de estudio	18
3.3. Métodos y técnicas	18
3.3.1. <i>Método experimental sistémico</i>	18
3.3.2. <i>Técnicas</i>	18
3.3.2.1. <i>Técnicas in - situ</i>	18
3.3.2.2. <i>Técnicas para obtención de biodiésel</i>	19
3.3.2.3. <i>Técnicas para producción de biodiésel a nivel de laboratorio</i>	24
3.4. Variables de diseño	31
3.4.1. <i>Datos experimentales</i>	31
3.4.2. <i>Caracterización físico – química</i>	31
3.4.3. <i>Determinación de los parámetros físico – químicos del biodiésel</i>	36
3.4.4. <i>Balance de masa del descarnado</i>	38
3.4.5. <i>Producción de biodiésel a nivel industrial</i>	39
3.4.5.1. <i>Diseño del reactor 1 y 2</i>	40
3.4.5.2. <i>Diseño del decantador</i>	43
3.4.5.3. <i>Diseño de la etapa de lavado</i>	46
3.4.5.4. <i>Diseño de la etapa de filtración</i>	54
3.4.5.5. <i>Diseño del destilador 1 y 2</i>	56
3.4.5.6. <i>Bomba centrífuga</i>	65
3.5. Cálculos ingenieriles para el dimensionamiento del proceso de obtención	66
3.5.1. <i>Diseño del reactor 1</i>	66
3.5.2. <i>Diseño del reactor 2</i>	71

3.5.3. <i>Diseño del decantador</i>	76
3.5.4. <i>Diseño del tanque de lavado</i>	80
3.5.5. <i>Diseño de la etapa de filtración</i>	88
3.5.6. <i>Diseño de la columna de destilación 1</i>	90
3.5.7. <i>Diseño de la columna de destilación 2</i>	97
3.6. Balance de masa y energía	104
3.6.1. <i>Balance de masa</i>	104
3.6.1.1. <i>Balance de masa para el reactor 1</i>	104
3.6.1.2. <i>Balance de masa para el reactor 2</i>	104
3.6.1.3. <i>Balance de masa para el decantador</i>	105
3.6.1.4. <i>Balance de masa para el tanque de lavado</i>	105
3.6.1.5. <i>Balance de masa para la etapa de filtración</i>	105
3.6.1.6. <i>Balance de masa para la etapa de destilación 1</i>	106
3.6.1.7. <i>Balance de masa para la etapa de destilación 2</i>	106
3.6.2. Balance de energía	106
3.6.2.1. <i>Balance de energía para el reactor 1 y 2</i>	106
3.6.2.2. <i>Balance de energía para la bomba centrífuga</i>	107
3.6.2.3. <i>Balance de energía para el ventilador de aire caliente</i>	107
3.6.2.4. <i>Balance de energía para la columna de destilación 1 y 2</i>	108

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS	109
4.1. Resultados del diseño del proceso para obtención de biodiésel	109
4.2. Resultados del balance de masa y energía	113
4.2.1. <i>Balance de masa</i>	113
4.2.1.1. <i>Análisis de resultados para el balance de masa</i>	113
4.2.2. Balance de energía	114
4.2.2.1. <i>Análisis de resultados para el balance de energía</i>	115
4.3. Resultados comparativos	115
4.3.1. <i>Glicerina</i>	115
4.3.1.1. <i>Caracterización físico – química</i>	115
4.3.2. <i>Diésel comercial</i>	117
4.3.2.1. <i>Comparación de la caracterización físico – química del diésel comercial y biodiésel</i>	117

4.4.	Análisis de costos TIR y VAN	119
4.4.1.	Costos variables.....	119
4.4.2.	Costos fijos	120
4.4.3.	Costo total.....	121
4.4.4.	Precio de venta	121
4.4.5.	Punto de equilibrio	122
4.4.6.	Costos de maquinaria y mantenimiento	122
4.4.7.	Depreciación de la maquinaria.....	123
 CONCLUSIONES.....		125
RECOMENDACIONES.....		126
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Composición química promedio del contenido de ácidos grasos en el sebo de res..	9
Tabla 2-2:	Normativas mexicanas para caracterización físico – química del sebo.....	14
Tabla 1-3:	Ubicación Geográfica de Curtiduría Tungurahua S.A.	17
Tabla 2-3:	Ensayos realizados para la obtención de biodiésel	25
Tabla 3-3:	Datos experimentales para la elaboración de biodiésel	31
Tabla 4 -3:	Características físico – químicas del sebo	32
Tabla 5-3:	Caracterización físico – química de la grasa	33
Tabla 6-3:	Caracterización físico – químicas del biodiésel	34
Tabla 7-3:	Determinación de los parámetros físico – químicos del biodiésel	36
Tabla 8-3:	Cantidad promedio de sebo obtenido	38
Tabla 9-3:	Cantidad promedio de sebo obtenido	39
Tabla 10-3:	Promedio del residuo de descarte diario.....	39
Tabla 11-3:	Datos de concentración en la alimentación (metanol - agua).....	56
Tabla 12-3:	Condiciones de operación (metanol - agua)	56
Tabla 13-3:	Propiedades físicas de la mezcla (metanol - agua).....	57
Tabla 14-3:	Datos de concentración en la alimentación (biodiésel)	57
Tabla 15-3:	Condiciones de operación (biodiésel).....	57
Tabla 16-3:	Propiedades físicas de la mezcla (biodiésel)	57
Tabla 17-3:	Especificaciones técnicas (metanol - agua) y (biodiésel).....	60
Tabla 18-3:	Ficha técnica de una bomba centrífuga	65
Tabla 19-3:	Parámetros para los ductos de aire	85
Tabla 20-3:	Parámetros para el dimensionamiento del sistema de aire caliente.....	87
Tabla 1-4:	Resultados del diseño del reactor 1	109
Tabla 2-4:	Resultados del diseño del reactor 2	109
Tabla 3-4:	Resultados del diseño del decantador.....	110
Tabla 4-4:	Resultados del diseño del tanque de lavado	110
Tabla 5-4:	Resultados del diseño del ventilador de aire caliente	111
Tabla 6-4:	Resultados del diseño de la etapa filtrante.....	111
Tabla 7-4:	Resultados del diseño de la columna de destilación 1 (metanol - agua).....	112
Tabla 8-4:	Resultados del diseño de la columna de destilación 2 (biodiésel).....	112
Tabla 9-4:	Balance de masa para equipos	113
Tabla 10-4:	Balance de energía para reactor 1.....	114
Tabla 11-4:	Balance de energía para reactor 2.....	114

Tabla 12-4: Balance de energía para una bomba centrífuga	114
Tabla 13-4: Balance de energía para el ventilador de aire caliente.....	114
Tabla 14-4: Balance de energía para columnas de destilación 1 y 2.....	115
Tabla 15-4: Caracterización físico - química de la glicerina	115
Tabla 16-4: Caracterización físico – química del diésel comercial	118
Tabla 17-4: Materia prima directa	120
Tabla 18-4: Producción mensual.....	120
Tabla 19-4: Materia prima indirecta	120
Tabla 20-4: Punto de equilibrio	122
Tabla 21-4: Costos de maquinaria	122
Tabla 22-4: Mantenimiento de la maquinaria	123
Tabla 23-4: Depreciación de la maquinaria	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Sebo de descarte proveniente de CTU	8
Ilustración 2-2:	Mecanismo de reacción del método de transesterificación heterogénea	10
Ilustración 3-2:	Mecanismo de reacción de la esterificación	11
Ilustración 4-2:	Norma ASTM Para Biodiésel D6751-09	15
Ilustración 5-2:	Norma Europea Para Biodiésel en 14214:2008.	16
Ilustración 1-3:	Localización geográfica de Curtiduría Tungurahua S.A.	17
Ilustración 2-3:	Equipo de extracción por el método de Soxhlet	20
Ilustración 3-3:	Presencia de grasa extraída por el método Soxhlet.....	20
Ilustración 4-3:	Recuperación de la grasa de sebo	21
Ilustración 5-3:	Grasa de sebo bovino	21
Ilustración 6-3:	Sebo fundido	22
Ilustración 7-3:	Aceite de sebo bovino.....	22
Ilustración 8-3:	Diagrama de bloques para la producción de biodiésel a nivel laboratorio	24
Ilustración 9-3:	Mezcla después del proceso de transesterificación.....	26
Ilustración 10-3:	Mezcla después del tiempo de reposo.....	26
Ilustración 11-3:	Mezcla durante proceso de transesterificación	27
Ilustración 12-3:	Mezcla después del proceso de transesterificación.....	27
Ilustración 13-3:	Mezcla después del proceso de transesterificación.....	28
Ilustración 14-3:	Lavado del biodiésel	29
Ilustración 15-3:	Biodiésel seco	29
Ilustración 16-3:	Mezcla durante el proceso de transesterificación	30
Ilustración 17-3:	Mezcla expuesta al ambiente	30
Ilustración 18-3:	Espectro infrarrojo del sebo	32
Ilustración 19-3:	Espectro infrarrojo de la grasa recuperada.....	33
Ilustración 20-3:	Espectro infrarrojo del biodiésel.....	35
Ilustración 21-3:	Diagrama de bloques para el proceso de obtención de biodiésel.....	40
Ilustración 22-3:	Tubo aspersor de agua para el tanque de lavado.....	50
Ilustración 23-3:	Dimensionamiento del ventilador	51
Ilustración 24-3:	Dimensionamiento del reactor 1 para el proceso de obtención	68
Ilustración 25-3:	Dimensionamiento del agitador para el reactor 1	71
Ilustración 26-3:	Dimensionamiento del reactor 2 para el proceso de obtención	73
Ilustración 27-3:	Dimensionamiento del agitador para el reactor 2	76
Ilustración 28-3:	Dimensionamiento para el decantador.....	79

Ilustración 29-3: Parámetros para la geometría de la cubierta del tanque.....	82
Ilustración 30-3: Dimensionamiento del tanque de lavado	84
Ilustración 31-3: Dimensionamiento de la etapa de secado	87
Ilustración 32-3: Parámetros para el diseño de la etapa filtrante.....	88
Ilustración 33-3: Dimensionamiento del filtro de arena y grava	90
Ilustración 34-3: Dimensionamiento de la columna de destilación 1 (agua - metanol)	97
Ilustración 35-3: Dimensionamiento de la columna de destilación 2 (biodiésel).....	103
Ilustración 1-4: Espectrometría infrarroja de la glicerina cruda.....	116
Ilustración 2-4: Espectrometría infrarroja de comparación para la glicerina cruda	117
Ilustración 3-4: Caracterización físico - química del biodiésel	118
Ilustración 4-4: Espectrometría infrarroja del diésel comercial	119

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	33
Ecuación 2	40
Ecuación 3	40
Ecuación 4	40
Ecuación 5	41
Ecuación 6	41
Ecuación 7	41
Ecuación 8	41
Ecuación 9	41
Ecuación 10	41
Ecuación 11	42
Ecuación 12	42
Ecuación 13	42
Ecuación 14	42
Ecuación 15	42
Ecuación 16	43
Ecuación 17	44
Ecuación 18	44
Ecuación 19	44
Ecuación 20	44
Ecuación 21	45
Ecuación 22	45
Ecuación 23	45
Ecuación 24	45
Ecuación 25	46
Ecuación 26	46
Ecuación 27	47
Ecuación 28	47
Ecuación 29	48
Ecuación 30	48
Ecuación 31	48
Ecuación 32	48
Ecuación 33	49

Ecuación 34	49
Ecuación 35	49
Ecuación 36	49
Ecuación 37	49
Ecuación 38	50
Ecuación 39	51
Ecuación 40	51
Ecuación 41	51
Ecuación 42	52
Ecuación 43	52
Ecuación 44	52
Ecuación 45	52
Ecuación 46	53
Ecuación 47	53
Ecuación 48	53
Ecuación 49	55
Ecuación 50	55
Ecuación 51	55
Ecuación 52	55
Ecuación 53	56
Ecuación 54	56
Ecuación 55	58
Ecuación 56	58
Ecuación 57	59
Ecuación 58	59
Ecuación 59	59
Ecuación 60	59
Ecuación 61	60
Ecuación 62	60
Ecuación 63	60
Ecuación 64	61
Ecuación 65	61
Ecuación 66	61
Ecuación 67	62
Ecuación 68	62
Ecuación 69	62

Ecuación 70	63
Ecuación 71	63
Ecuación 72	63
Ecuación 73	64
Ecuación 74	64
Ecuación 75	64
Ecuación 76	64
Ecuación 77	65
Ecuación 78	102
Ecuación 79	102
Ecuación 80	103
Ecuación 81	103
Ecuación 82	103
Ecuación 83	104
Ecuación 84	104
Ecuación 85	104
Ecuación 86	104
Ecuación 87	104
Ecuación 88	105
Ecuación 89	105
Ecuación 90	105
Ecuación 91	105
Ecuación 92	106
Ecuación 93	117
Ecuación 94	118
Ecuación 95	118

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL.

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICA DEL BIODIÉSEL.

ANEXO C: CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICA DE LA GLICERINA.

ANEXO D: GRÁFICA PARA CALCULAR EL ÍNDICE DE CETANO.

ANEXO E: FACTORES POR CORRECCIÓN DE TEMPERATURA SEGÚN EL MATERIAL.

ANEXO F: GRÁFICA PARA EL NÚMERO DE POTENCIA.

ANEXO G: TABLA DE PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AIRE.

ANEXO H: FRECUENCIAS DE GRUPO PARA GRUPOS ORGÁNICOS FUNCIONALES.

ANEXO I: ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL LABORATORIO “LACBAL”.

ANEXO J: ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL LABORATORIO “LAI”.

ANEXO K: ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL LABORATORIO “LACONAL”.

ANEXO L: DISEÑO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL.

SIMBOLOGÍA

CTU Curtiduría Tungurahua S.A.

GIDSA Empresa Municipal de Gestión Integral de Desechos Sólidos Ambato

FAME Ester Metílico Graso Animal (Animal Fat Methyl Ester)

FFA Ácidos Grasos Libres (Free Fatty Acids)

Norma EN European Committee for Standardization

Norma ASTM American Society for Testing and Materials

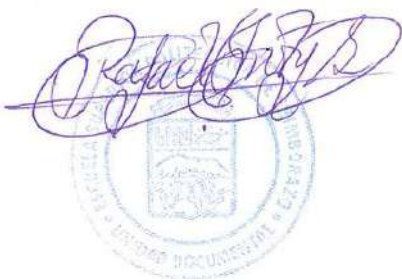
Norma INEN Servicio Ecuatoriano de Normalización

RESUMEN

La empresa “Curtiduría Tungurahua S.A.” tuvo pérdidas económicas mensuales cuando enviaba el desecho del área de descarte con compuestos sulfurados a la Empresa Pública Municipal de Gestión Integral de Desechos Sólidos Ambato (GIDSA), por lo tanto, el objetivo de diseñar el proceso para obtención de biodiésel a partir del sebo de descarte producido en Curtiduría Tungurahua S.A. (CTU), ubicada en el Parque Industrial de la ciudad de Ambato, fue dar un valor agregado a la materia considerada como desecho, mediante el método experimental sistémico y la aplicación de técnicas in – situ. Se dimensionó a nivel industrial el proceso de obtención de biodiésel, en función de los resultados obtenidos por la experimentación, se trabajó con 1100 g de Grasa de Sebo, 209 g de Metanol Anhidro al 99% y 22 g de Hidróxido de Potasio (KOH), de esta manera se obtuvo 882.51 ml de Biodiésel, por la reacción de transesterificación se consiguió como subproducto 414.88 ml de Glicerina Cruda, de esta manera se estableció el diseño del proceso con dos reactores de agitación continua, un decantador vertical, un tanque de lavado con una tubería interna de agua por aspersión, un ventilador de aire caliente, un filtro de arena y grava, una torre de destilación binaria (agua - metanol) y una torre de destilación binaria (biodiésel). Con el presente diseño se concluyó que se produjo 452.72 litros de biocombustible a partir de 600 kg de aceite con un 65.72% de rendimiento; la factibilidad económica de una tasa interna de retorno (TIR) fue del 77%, representó una factibilidad económica la implementación del diseño con un valor actual neto (VAN) de \$ 15.764,19.

Palabras clave: <SEBO BOVINO>, <BIODIÉSEL>, <TRANSESTERIFICACIÓN>, <GRASA ANIMAL>, <GLICERINA CRUDA>, <AMBATO (CANTÓN)>.

0894-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

The company "Curtiduría Tungurahua S.A." had monthly economic losses when sending the waste from the fleshing area with sulfurous compounds to the Municipal Public Company of Integral Management of Solid Waste Ambato (GIDSA); therefore, the objective of designing the process for obtaining biodiesel from the tallow of fleshing produced in Curtiduría Tungurahua S. A. (CTU), located in the Industrial Park of the city of Ambato, was to give an added value to the matter considered as waste, through the systemic experimental method and the application of in-situ techniques. The process of obtaining biodiesel was dimensioned at an industrial level, according to the results obtained by the experimentation; we worked with 1100 g of tallow fat, 209 g of 99% Anhydrous Methanol and 22 g of Potassium Hydroxide (KOH); in this way we obtained 882.51 ml of Biodiesel, by the transesterification reaction we obtained as a by-product 414.88 ml of crude glycerin, thus the design of the process was established with two continuous agitation reactors, a vertical decanter, a washing tank with an internal water spray pipe, a hot air fan, a sand and gravel filter, a binary distillation tower (water - methanol) and a binary distillation tower (biodiesel). With the present design it was concluded that 452.72 liters of biofuel were produced from 600 kg of oil with a 65.72% yield; the economic feasibility of an internal rate of return (IRR) was 77%, the implementation of the design represented an economic feasibility with a net present value (NPV) of \$ 15,764.19.

Key words: <BOVINE TALLOW>, <BIODIESEL>, <TRANSESTERIFICATION>, <ANIMAL FAT>, <RAW GLYCERIN>, <AMBATO (CANTON)>.

0894-DBRA-UPT-2023



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

C.I.: 1103696132

INTRODUCCIÓN

Curtiduría Tungurahua es una empresa familiar con 83 años de trascendencia en el mundo curtidor, está ubicado en la ciudad de Ambato provincia del Tungurahua, esta es la principal compañía que produce y comercializa Wet Blue, Crust y productos terminados en Ecuador, en 2008 empezó realizando expediciones en América Latina con el objetivo de comercializar a esta sociedad, de tal forma que empieza exportando cuero a Venezuela y Centro América, en 2021 CTU obtiene merecidas certificaciones como la ISO 9001:2015, LWG Silver Certification y Punto Verde que se encargan de cumplir que los procesos de producción sean amigables con el medio ambiente.

Área de ribera

En esta área es donde se llevan a cabo varias operaciones que van desde la recepción de piel, pelambre, descarnado y el dividido por estas razones esta zona también es conocida como área húmeda debido a la gran cantidad de agua que se utiliza para cada proceso (Nacional et al., 2013, p. 128).

- **Recepción de piel:** Esta es una de las zonas importantes para preservar la calidad del cuero hasta su etapa final, donde se cuida la desinfección del piso, el saladero, el desembarque de las pieles siendo el punto clave donde se pueden detectar problemas visuales de tajos, tupe, desprendimiento del pelo con facilidad, tamaño, entre otros factores que pudiesen afectar la calidad del producto final (Nacional et al., 2013, p. 128).
- **Pelambre:** Una vez llevado a cabo el proceso que las pieles necesitan, pasan a la etapa de pelambrado, donde su objetivo es eliminar pelaje, epidermis y partes que la piel no debe poseer hasta este punto mediante el uso químicos como la cal, sulfuro de sodio, sosa cáustica y abundante agua (Nacional et al., 2013, p. 129).
- **Descarnado:** La operación del descarnado se encarga de separar tejidos adiposos y subcutáneos que aún quedan en la piel, obteniendo carnaza y grasa que afectan al siguiente proceso, ya que los químicos curtientes no penetrarían de manera homogénea en la piel (Nacional et al., 2013, p. 129). El resultado de este proceso es el sebo, que es un desecho contaminante por los sulfuros presentes.

- **Dividido:** Esta es una operación fundamental para establecer un valor de calibración según la procedencia de piel que se vaya a procesar ya que CTU se caracteriza por cumplir con los requerimientos de su clientela por lo que este parámetro es muy importante desde esta área otorgando a esta sección el poder de tomar una decisión y verificar si las pieles que pasan son aptas para los productos que se quiera realizar más adelante, mediante este proceso, los futuros problemas o no de calidad se reflejarán en el área de rebajado y terminado.

Las etapas descritas previamente son con las que cuenta el área de ribera de Curtiduría Tungurahua S.A, en esta zona es donde se genera mayor cantidad de desechos del tipo sólido y líquido, actualmente CTU cuenta con una planta para el tratamiento de aguas residuales, en la que mediante los respectivos análisis y procesos el líquido es recirculado nuevamente a la planta principal para utilizar el agua tratada en los bombos de recurtido, cuidando factores de dureza y pH; también cuenta con una planta para tratar el sebo del descarte, en esta se filtra el agua para enviar a GIDSA el sebo previamente seco y que de esta forma el costo por su tratamiento sea menor.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En la antigua egipticia se utilizaba como materia prima semilla de algodón, aceite de ricino, oliva, nuez e incluso de pescado con el fin de alimentar sus candiles, también se utilizaban aceites vegetales y grasas animales particularmente para alimentar antorchas y lámparas que necesitaban para cazar o buscar alimento para su hogar, en el contenedor que había dentro de estos artefactos se depositaba la grasa o aceite que se tenía para que sea una fuente de combustión, el tiempo que este duraba era sumamente corto, durante la época de la segunda guerra mundial el biodiésel fue sustituto del petrodiésel en momentos de emergencia.

Naciones Unidas & Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL (2009, p. 32) menciona que en 1979 suscitó una crisis petrolera que afectó al mundo ya que atravesó por problemas energéticos donde se vieron en la necesidad de crear fuentes de energía alternativas, entre ellas el biodiésel; en 1853 J. Patrick Rodolfo y E. Duffy descubrieron fortuitamente el biodiésel debido a que realizaron por primera vez el método de la transesterificación con el fin de producir glicerina mediante aceites vegetales para obtener jabón (Francisco Ávila Orozco et al., 2015, pp. 3–7).

En 1900 Rudolf Diesel recibe el premio mayor al demostrar que su motor funcionaba con aceite de maní y en 1912 mediante un discurso expuso que en aquel tiempo podía ser insignificante aquel invento, pero en un futuro se podría volver tan importante como lo es los combustibles fósiles (Francisco Ávila Orozco et al., 2015, pp. 3–7).

1.2. Planteamiento del problema

Curtiduría Tungurahua S.A. (CTU) cuenta con la infraestructura más grande del país para poder elaborar más de 24.000 pieles mensuales aproximadamente; de la misma manera CTU trabaja bajo normas de calidad y su principal objetivo es cumplir con el cuidado del medioambiente. En el área de ribera se encuentran varias operaciones para tratar al cuero entre ellas está el descarne, según Peñates et al (2017, pp. 253-259) esta operación se encarga de eliminar el exceso de tejido muscular y grasa que se encuentra en el lado carnosos de la piel, así como el pelo que aún está presente, con estos elementos se crea el sebo, el mismo que tiene presencia de ácido sulfúrico, cal y otros químicos que intervienen en el proceso, por lo que la empresa lo considera como un desecho contaminante y que no tiene un valor agregado.

El principal problema que genera el sebo para la empresa es una pérdida económica debido a que este desecho es enviado a GIDSA y por el cual se debe pagar cierta cantidad de dinero según sea

el peso, esto debido a que el residuo del descarte cuenta con un porcentaje de sulfuros y no es posible tratarlo como a un desecho común; el sebo resultante de la producción diaria en promedio es de 4 toneladas aproximadamente.

1.3. Justificación

El sebo obtenido posterior al proceso del descarte de Curtiduría Tungurahua, es almacenado en barriles de plástico que almacena 218 kg de sebo cada uno, ya que la producción se realiza diariamente, de la misma manera se generan grandes cantidades de esta grasa animal, lo que significa que la empresa deberá pagar a GIDSA un valor por cada tonelada de sebo producido, que es el principal factor que se quiere eliminar mediante un proceso de transformación que se dará al sebo para obtener biodiesel de buena calidad.

En la actualidad, está en auge los procesos que se encargan de dar un valor agregado a aquellas materias que se consideran inservibles, como lo mencionan Puente et al. (2016, pp. 2–3) creadores de biodiesel a partir de residuos de aceite de cocina, donde mencionan que el poder darle este uso al aceite de frituras contribuye mucho con la naturaleza debido a que el aceite vegetal de desecho de restaurantes de comida rápida por lo general lo arrojan directamente en tierras, alcantarillas o dispuestos en rellenos sanitarios; lo que produce la degradación de la calidad del ambiente terrestre y acuático.

Por medio de este trabajo, se propone dar uso al sebo mediante un proceso por el que se obtenga biodiésel, el mismo que puede ser empleado para el funcionamiento de maquinaria dentro de Curtiduría Tungurahua y de ser posible dar otros usos externamente, de tal forma que se ayude a reducir gastos innecesarios, el impacto ambiental y lograr que CTU obtenga más certificaciones por ser una curtiduría que cuenta con procesos amigables con el medioambiente.

Este trabajo puede ser desarrollado gracias a la gran cantidad de materia prima que se genera en Curtiduría Tungurahua, recordando que su principal objetivo es minimizar los problemas ambientales, además del reciclaje de sebo y el fin que el biocombustible tendrá, será una forma de crear energía renovable, que irá a la par con el cuidado medioambiental ya que al tratarse de un combustible a base de grasas de animal, según el analista del uso de biocombustibles en Ecuador, Hernán Martínez et al. (2010), la contaminación también se reducirá en gran porcentaje ya que el uso de un componente natural como es el bioetanol, disminuye el porcentaje de emisión de CO₂, los biocombustibles tendrán un efecto neutral, es decir que mediante la fotosíntesis absorberán todo el carbono que emiten a la atmósfera, logrando que también se reduzca en gran porcentaje el calentamiento global.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Diseñar el proceso para obtención de biodiésel a partir del sebo de descarte producido en Curtiduría Tungurahua S.A., con el fin de dar un valor agregado a este residuo considerado como un desecho.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Realizar la caracterización físico – química del producto de descarte de Curtiduría Tungurahua según la norma INEN 35, 38, 39, NTE-INEN-ISO 3960.
- Identificar las variables de diseño para el dimensionamiento del proceso de obtención de biodiésel.
- Realizar cálculos de ingeniería mediante datos obtenidos de las variables de diseño para estructurar el dimensionamiento de la planta para el proceso de obtención de biodiésel.
- Realizar la validación técnica y económica del proceso mediante la caracterización físico – química del producto obtenido según la norma ASTM.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Lamoureux et al. (2007, p. 17-21) proponen construir una planta de producción de biodiésel en la que la materia prima es la semilla de girasol y el método de producción es el de transesterificación con el uso de un catalizador básico, la implementación con la que contará esta planta depende de varios factores, como la capacidad de producción, la calidad que tendrá el producto, cantidades deseadas a obtener y sobre todo se enfocará en la recuperación del catalizador y del alcohol; el autor propone trabajar bajo estos métodos ya que resulta más económico; se pretende operar a temperaturas desde 60° hasta 70°C con una presión de 1.3 bar, el tiempo de reacción es corto y directo ya que se convierte en metiléster sin pasos adicionales, siendo muy necesario el uso de un catalizador debido a que proviene de un aceite con metanol, esto podría volverse insoluble en la parte aceitosa, en este proyecto se utilizó hidróxido de potasio K(OH), cabe recalcar que no se empleó un catalizador ácido ya que al ser un proceso industrial este resultaría muy lento y el consumo de energía fuese grande, se tuvo características específicas como un retiro periódico del agua debido a que este apagará al catalizador, las temperaturas podrían llegar a los 250°C y alcanzar un rendimiento del 99% con sistemas en contra corriente.

Lamoureux et al. (2007, p. 41-42), agregan que al no emplear el uso de catalizadores esta producción fuese algo compleja ya que la planta operaría bajo condiciones de temperatura y presión supercríticas, sin embargo, la reacción se daría a los 4 minutos, sin dejar de lado los elevados costos de instalación y operación, que sería el reflejo de costosas facturas por el consumo eléctrico. De esta manera y mediante los ensayos realizados, este producto cumple con los requisitos para la obtención de biocombustible establecidos por la norma chilena.

Existen varios procedimientos o técnicas para obtener biodiésel ya sea a partir de grasas vegetales o animales, mediante diferentes métodos y catalizadores que ayuden a obtener buenos resultados del producto en este caso el biodiésel. Según la investigación de Puente (2016, p. 2-12) se obtuvo biodiésel a partir una grasa vegetal, específicamente aceite quemado recuperado en el proceso de frituras de varios restaurantes de comida rápida de Puerto Cabello – Venezuela, empleando el método de transesterificación mediante el uso de un catalizador enzimático, demostrando que los resultados son en su mayoría satisfactorios, debido a que este biocombustible fue evaluado en base a sus propiedades físico – químicas de los resultados finales con las normas de calidad EN y ASTM de Europa y Estados Unidos respectivamente, mediante pruebas realizadas establecen los autores que este producto tiene propiedades de biodegradación, en 28 días se degradará hasta un 88.5% mientras que el diésel común se degrada en un 26% en el mismo tiempo, entre otro aspecto

positivo producir este carburante colabora en la disminución de gases tóxicos para el aire que respiramos, así como evitar que se deseche directamente el aceite quemado a las alcantarillas y este mal contamine ríos y vertientes principalmente, así como el sistema de alcantarillado.

Ito et al. (2012, p. 2-6) mencionan que las propiedades del sebo de res empleado para esta investigación denominada producción de biodiésel a partir de grasas animales de desecho mediante el método de pirólisis, contienen grandes cantidades de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) por sus siglas en inglés, de cadena larga dando como resultado propiedades deficientes a bajas temperaturas ya que emplea el método de transesterificación, cabe recalcar que los residuos de grasas animales contienen mayores cantidades de ácidos grasos libres (FFA), en este ensayo se decide trabajar con un método más adecuado denominado pirólisis, en el que involucra la descarboxilación y de esta manera producir biodiésel, considerando que se formarán parafinas y olefinas las mismas que tienen buenos resultados a bajas temperaturas utilizando el sebo de la res, esta prueba se comprobó mediante el punto de obstrucción del filtro pseudofrío que consiste en hacer una suspensión de la grasa animal, separando la fase sólida – líquida, siendo separados el catalizador y el residuo como sólidos, la pirólisis de los enlaces insaturados de cadenas reactivas y de ácidos grasos da paso a la formación de hidrocarburos así como cadenas de ácidos grasos de cadena corta; cabe recalcar que las cadenas de alquilo deshidrogenados forman enlaces insaturados, no obstante estos investigadores no descartan la probabilidad de tener inconvenientes en el rendimiento y selectividad del biocombustible debido al tiempo y temperatura que ellos trabajan. Agregan los autores también que mediante la pirólisis permite la descarboxilación selectiva para obtener un aceite ligero.

Arévalo et al. (2014, p. 99) realizaron un estudio en el que se obtuvo biodiésel a partir de grasa de res mediante el método esterificación de ácidos grasos saturados utilizando un bajo consumo de metanol anhidro específicamente al 95% y metanol común, en el que el rendimiento de este biocombustible oscila entre 88 y 90%, el porcentaje de concentración del catalizador es de 3.8% estando sometido a una temperatura de 58°C; las características fueron determinadas por la composición del biodiésel, siendo una mezcla de éster metílico de ácidos grasos al 96%, con estos y otros resultados que este producto posee es aprobado con las normas internacionales de calidad. Este biocombustible se puso a prueba en un motor de diésel, dando resultados favorables, las emisiones de humo tornaron coloraciones blancas y mediante el analizador de gases ECOLINE 4000 se identificó una disminución considerable de SO₂ y CO₂, así mismo verificaron los autores que conforme crecía la relación diésel – biodiésel el porcentaje de dióxido de nitrógeno aumentaba.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. *Sebo*

El sebo se obtiene a partir del proceso de descarte del cuero donde se desprende el tejido adiposo y subcutáneo que aún en esta etapa del proceso están adheridos a la piel, por lo tanto se define al sebo como una grasa animal de apariencia desagradable por su color, olor y textura que se puede encontrar principalmente en camales e industrias curtientes, su contenido de humedad puede llegar a ser hasta de un 80% y el pH de 12.5 aproximadamente, en su contenido químico esta grasa es rica en ácidos grasos libres (FFA) y compuestos sulfurados que al no ser tratados adecuadamente podría ser un peligroso contaminante para el medio ambiente, el sebo puede ser utilizado como materia prima para desarrollar saponificantes o biocombustibles (Ministerio del Ambiente 2013, p. 193).

Se ha visto la necesidad de producir este tipo de grasas animales en su gran mayoría en curtiembres colombianas, debido a que el destino final de estas son basureros ilegales o a cielo abierto, provocando graves impactos ambientales, la producción actual se destina para la creación de fertilizantes y jabones del tipo industrial, de tal forma que los ingresos son exitosos con este desarrollo (Lamoureux et al., 2007, p. 5).



Ilustración 1-2: Sebo de descarte proveniente del área de ribera

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

2.2.1.1. *Sebo bovino*

Este tipo de sebo se lo encuentra en la industria curtiembre, así como en camales, en curtidurías esta materia es considerada como un desecho, mientras que en los mataderos esta grasa es desechada directamente a vertientes de agua, se debe dar un manejo especial a este tipo de materia por su olor peculiar, la empresa brasilera Aboissa Oleos Vegetais menciona que esta grasa presenta rendimientos óptimos para producir biodiésel con un costo de producción económicamente viable en datos presentados a la Secretaría de Producción y Agroenergía de Ministerio de Agricultura de Brasil, esta materia también utilizada para la producción de fertilizantes y jabón Villa Zapata & Aristizabal Vélez (2012, p. 3). En la revisión de Jorquera et al. (2006, p. 2) se expuso la composición química promedio de grasas principales que posee el sebo de res:

Tabla 1-2: Composición química promedio del contenido de ácidos grasos en el sebo de res

Contenido de ácidos grasos	Sebo de res
Ácidos grasos totales	92,5
Ácidos grasos libres	7,8
C _{16:0} (Esteárico)	25,2
C _{18:0} (Palmítico)	15,7
C _{18:1} (Oleico)	42,2
C _{18:2} (Linoleico)	5,3
C _{18:3} (Linolénico)	0,5

Fuente: Jorquera et al. (2006)

2.2.2. *Biodiésel*

El biodiésel químicamente es un éster metílico de aspecto líquido, no tóxico, renovable y biodegradable que se obtiene a partir de aceites vegetales o animales y que posee propiedades similares a las de un combustible fósil con la diferencia de que este combustible es amigable con el medio ambiente de tal forma que ayuda a la reducción de las emisiones de monóxido de carbono (CO), compuestos azufrados e hidrocarburos aromáticos, dependiendo de las características este puede ser empleado en motores de compresión por ignición o en motores diésel, mediante estudios se ha podido comprobar que en estos mecanismos el tiempo de vida se duplica (Demirbas, 2002, pág. 2350).

A nivel mundial el uso de biodiésel es muy cotizado, sobre todo en países desarrollados y que son potencias mundiales, tal es el caso de China que gracias a este biocombustible la economía creció aún más, según el buró de estadísticas de China en el año 2005 la tasa de crecimiento fue ascendiendo hasta el 2008 donde cayó en un 9% pero al año siguiente se fueron aumentando

billones del PIB (Precio Interno Bruto) pese a que en los mismos años y hasta la actualidad se continúa utilizando gasolina, kerosene y diésel (National Bureau of Statical 2018).

Inicialmente la producción y el comercio del biodiésel fue en la Unión Europea con el objetivo de dar apoyo al medio ambiente reduciendo el consumo energético, disminuir las emisiones tóxicas provocadas por el transporte y al sector agrario, ya que de este se obtenía la materia prima para producir el biocombustible, en el 2007 se planteó un objetivo y es que para el año 2030 el biodiésel pueda ocupar entre 15 y 20 millones de Tn/año en la sociedad frente a la gasolina común; actualmente existe un crecimiento anual del uso de este biocombustible (Erviti, 2007, pág. 351).

2.2.3. Métodos de obtención

Para la obtención de biodiésel el insumo principal es el alcohol, dependiendo de la materia prima se pueden utilizar alcoholes como isopropanol, propanol, metanol, pentanol y butanol, Marcano et al. (2014, p. 66) menciona que hay que hacer uso del alcohol que contenga una mínima cantidad de agua, de lo contrario la reacción no se efectuará.

2.2.3.1. Transesterificación heterogénea con catalizador básico

La transesterificación o también denominada alcoholólisis catalizada por bases utilizada para la síntesis de biodiésel ha sido estudiada intensamente durante la última década, normalmente para este método se emplea metanol o etanol, cuando la materia prima son aceites y la viscosidad es baja, presentando propiedades similares al diésel común, pero al utilizarse metanol para la reacción, los productos serán ésteres metílicos de ácidos grasos; el mecanismo de reacción para este método es el siguiente:

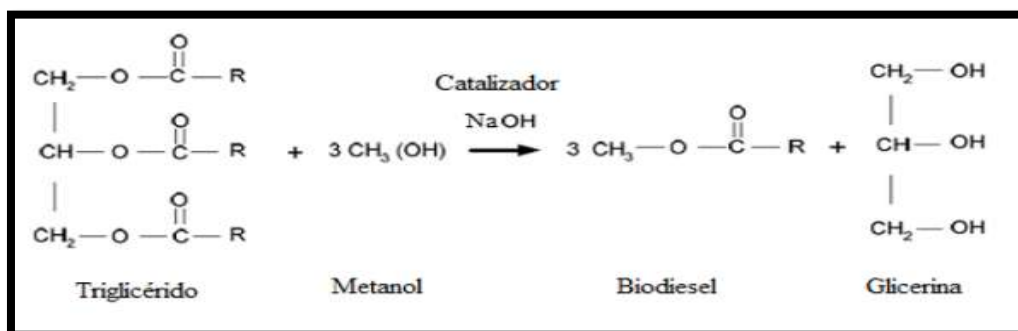


Ilustración 2-2: Mecanismo de reacción del método de transesterificación heterogénea

Fuente: Castellar Grey et al. (2014, p. 4)

Este mecanismo genera tres pasos consecutivos y reversibles:

- Triglicéridos + CH₃ (OH) → Diglicérido + éster alquílico
- Diglicéridos + CH₃ (OH) → Monoglicérido + éster alquílico
- Monoglicéridos + CH₃ (OH) → Glicerol + éster alquílico

La velocidad de reacción para estas ecuaciones aumentará conforme se agregue temperatura, estequiométricamente se requiere de 3 moles de alcohol por cada mol de triglicéridos para producir 3 moles de éster alquílico (biodiésel), para que las reacciones avancen en tránsito normal se necesita siempre de un exceso de alcohol, es decir, trabajar con una relación alcohol y aceite de 6:1, específicamente para procesos industriales ya que de esta manera se podrá tener altos y buenos rendimientos de ésteres alquílicos (Kumar et al., 2012, p. 62).

2.2.3.2. Esterificación con catalizador ácido

Este método consiste en la formación de un éster mediante el reflujo del ácido carboxílico y un alcohol en presencia de un catalizador ácido, siendo esta reversible y factible termodinámicamente, el mecanismo de reacción se da cuando el grupo alcoxi se une al grupo carboxilo del ácido aportando el oxígeno del agua desplazada, es decir:

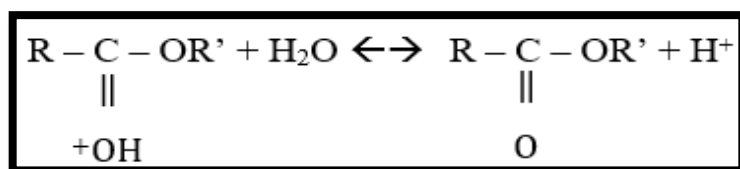


Ilustración 3-2: Mecanismo de reacción de la esterificación

Fuente: Sánchez y Rodríguez (2015)

Cabe recalcar que la reactividad disminuirá desde alcoholes primarios > secundarios > terciarios, de la misma forma cuando aumenta el peso molecular del alcohol la reactividad disminuye; características del ácido carboxílico como el peso molecular, sustituyentes en la cadena y su estructura permiten que se afecte el carácter ácido del grupo carboxilo, de manera que influye en las reacciones de esterificación (Sánchez y Rodríguez 2015).

Boey et al. (2013, p. 1-5) aseguran mediante su publicación que existe una gran demanda del estudio de catalizadores ácidos heterogéneos para la conversión de ácidos grasos libres, alertando que trabajar con catalizadores ácidos es peligroso, debido a que se genera gran cantidad de agua residual durante el lavado del producto.

2.2.4. Tipos de catalizadores

Un catalizador es un elemento o compuesto capaz de acelerar o retrasar una reacción, permaneciendo éste sin consumirse durante la reacción, de tal forma que se da la unión o separación a dos o más reactivos químicos, existe un sin número de catalizadores para poder llevar a cabo las reacciones según sean las necesidades y pueden clasificarse de acuerdo con su composición, estructura o estado de agregación. Los catalizadores que sean empleados para la producción de biodiésel deben contar con especificaciones físicas, químicas y morfológicas, de esta manera se garantiza que si se trabaja bajo el método de la transesterificación la obtención del biodiésel será favorable (Christensen, 2007, p. 1-3).

Existen diferentes catalizadores que pueden utilizarse y su clasificación se divide en:

2.2.4.1. Catalizadores básicos

- **Básicos homogéneos**

Los catalizadores homogéneos se encuentran dentro de una misma fase y por lo general son compuestos químicos que incluyen compuestos de metales de transición, gracias a estos se puede lograr una alta selectividad así como el uso de ácidos minerales, en los últimos tiempos se han desarrollado complejos organometálicos, los mismos que han tenido gran demanda; los catalizadores homogéneos también tienen mayor posibilidad de actividad debido al grado de dispersión y actividad individual de cada átomo (Crabb et al. 2010, p. 1-22).

Cuando se pretenden realizar separaciones estas son costosas debido a que se forman emulsiones y estas requieren de hasta un 6% del peso del catalizador para lograr rendimientos del 98% aproximadamente, es importante mencionar que para poder disminuir la saponificación al máximo se deben controlar las variables de temperatura, esta debe oscilar entre 40 y 75°C, así como el control del catalizador básico. Ejemplos de catalizadores básicos homogéneos empleados industrialmente: Na(OH) y K(OH) (Cabello et al. 2016, p. 52-54).

- **Básicos heterogéneos**

Los catalizadores heterogéneos son aquellos que están compuestos por óxidos metálicos alcalinotérreos y se encuentran en fases diferentes, estos son solubles en solventes orgánicos y por ende pueden ser incorporados en reactores de flujo continuo ya que de esta forma se podrá optimizar el proceso y reducir costos de purificación así como de separación gracias a los productos resultantes de la reacción en la obtención de biodiésel, además de que durante el

proceso no se generan residuos en la parte acuosa, una característica muy común en este tipo de catalizadores es que son reutilizables y cuando esto ocurre tienden a separarse con facilidad, con esta gran ventaja se puede trabajar en operaciones continuas y una vez concluida la reacción al catalizador se lo puede recuperar de tal forma que este puede ser un proceso viable económicamente; otra ventaja de utilizar este tipo de catalizadores es que se trabajan con bajas temperaturas y en tiempos relativamente cortos. Ejemplos de catalizadores básicos heterogéneos utilizados a nivel industrial: Na(OH), Al₂O₃, MgO y CaO (Cabello et al. 2016, p. 52-54).

2.2.4.2. Catalizadores ácidos

- **Ácidos homogéneos**

Los catalizadores ácidos homogéneos se dan en fase líquida o gaseosa, es decir el catalizador y los reactantes están en una misma fase; trabajar con catalizadores ácidos tienen aspectos positivos y negativos y es que tiene la posibilidad de ser compatible con los ácidos grasos libres (FFA) mientras se efectúa la reacción, facilitando simultáneamente la esterificación y transesterificación, de tal forma que ayuda en el rendimiento de los ésteres resultantes; de la misma manera se presentan desventajas y es que con este tipo de catalizadores es importante considerar que al utilizar H₂SO₄ como catalizador hay la gran posibilidad de que se presente corrosión en los equipos, según Navas (2018, p. 95) es recomendable utilizar catalizadores básicos en niveles desde 0.75 a 1.5% en peso; así como los tiempos largos que necesitan las reacciones, a elevadas temperaturas y con grandes cantidades de alcohol en relación a la grasa animal o vegetal, un breve ejemplo que nos cita el autor de su tesis es que para llevar a cabo la obtención del biocombustible y empleando el H₂SO₄ como catalizador necesitó una relación de 6:1 de alcohol y grasa animal con 12 horas de reacción. Los catalizadores más utilizados a nivel industrial son: ácidos sulfónicos, HCl y el más común es el H₂SO₄ a una concentración entre el 1 y 2% (Navas, 2018, pág. 95).

- **Ácidos heterogéneos**

Así como en los tipos de catalizadores mencionados anteriormente es importante saber manejar parámetros de temperatura, tiempo, relación molar de alcohol y aceite, cantidad del catalizador, manejo de impurezas, entre otras; los catalizadores ácidos heterogéneos cuentan con la superficie hidrófuga y con secciones donde se almacenan ácidos con un sistema enlazado de poros, los tiempos de reacción para este proceso varían de 30 a 300 minutos, la presión desde 0.1 a 5 MPa y la temperatura está entre 30 y 200°C; utilizar este tipo de catalizadores presenta aspectos positivos como que las reacciones de esterificación y transesterificación se dan simultáneamente,

aquí también se provoca fácilmente la separación entre el catalizador y el producto, finalmente y más importante favorece en la eliminación de agua cuando se realice el lavado del biodiésel. Los catalizadores de este tipo que se utilizan a nivel industrial son: Zeolitas, catalizadores a base de carbono y resinas sulfónicas (Cabello u. a., 2016, p. 53).

2.2.4.3. Catalizadores enzimáticos

Hacer uso de este tipo de catalizadores facilita en la separación de productos, así como en otro tipo de catalizadores, la particularidad en este catalizador es que las enzimas requieren una menor cantidad de alcohol y solventes en comparación con los otros catalizadores, esta catálisis también lleva a cabo el método de transesterificación, Rincón (2016, p. 53) obtuvo biodiésel empleando lipasas como catalizador, los resultados demostraron que se logró una metanólisis rápida cuando se pre – incubó a la proteína 30 minutos y después en aceite de soya por 12 horas, de la misma forma se desarrolló un ensayo pero con grasa animal en donde la reacción alcanzó conversiones del 81% en 48 horas, por otra parte el autor de este proyecto concluye que es preferible trabajar con catalizadores heterogéneos ya que de esta forma se evita trabajar con biocatalizadores que son de alto costo y donde se emplean largos períodos de tiempo como es el caso de la catálisis enzimática. Los catalizadores enzimáticos a nivel industrial son: cándidas, lipasas, penicilinas y pseudomonas (Cabello, Rincón y Zepeda 2016, p. 54).

2.2.5. Normas internacionales

2.2.5.1. Norma mexicana

Esta es una norma vigente que permite asegurar la calidad, armonización y sanidad de los productos que se obtengan a partir de materias primas como alimentos – aceite y grasas vegetales o animales mediante límites permisibles, los mismos que serán analizados previo a los análisis realizados a la materia prima (Dirección General de Normas, 2018, p. 1).

Tabla 2-2: Normativas mexicanas para caracterización físico – química del sebo

Normas	Análisis Físico - Químico
NMX-F-075-SCFI-2012	Densidad Relativa
NMX-F-101-SCFI-2012	Índice de Acidez
NMX-F-152-SCFI-2011	Índice de Yodo
NMX-F-154-SCFI-2010	Índice de Peróxido
NMX-F-211-SCFI-2006	Material Volátil y Humedad

Fuente: Dirección General de Normas (2018, p. 1)

2.2.5.2. Norma ASTM (American Society for Testing and Materials)

Los estándares de ASTM son establecidos por comisiones de profesionales relevantes de la industria que mantienen reuniones constantes en procesos abiertos para brindar parámetros, métodos de ensayos, guías, especificaciones del producto

y prácticas, esta norma crea procedimientos estándar que se acogen a las necesidades actuales del ambiente e ingenieriles (ASTM International 2020).

El biodiésel al provenir de una fuente animal puede causar afecciones en la calidad del biodiésel después de haberlo obtenido por el método de transesterificación, por esta razón se debe trabajar bajo los parámetros de la Ilustración 4-2 de la Norma ASTM Para Biodiésel D6751-09.

Tabla 1. Norma astm para biodiésel D6751-09				
Propiedad	Límite		Unidad	Método de prueba
	Min	Max		
Punto de inflamación	93		°C	D 93
Control de alcohol Debe cumplir con una de las siguientes: 1. Contenido de metanol 2. Punto de inflamación	130	0,2	masa % °C	EN 14110 D93
Agua y sedimento		0,050	% volumen	D2709
Número ácido		0,50	mg KOH / g	D664
Ceniza sulfatada		0,020	% masa	D874
Corrosión lámina de cobre		No. 3		D130
Residuo de carbono		0,050	% masa	D4530
Viscosidad cinemática	1,9	6,0	mm ² /s	D445
Número de cetano	47			D613
Punto de turbidez		Reporte	°C	D2500
Filtrabilidad de impregnado en frío		360	Segundos	Anexo A1
Estabilidad de oxidación	3		horas	EN 14112
Glicerina libre		0,020	% masa	D6584
Glicerina total		0,240	% masa	D6584
Sodio y potasio, combinados		5	ppm (µg/g)	EN 14538
Calcio y magnesio, combinados		5	ppm (µg/g)	EN 14538
Azufre*		0,0015 0,05	% masa (ppm)	D5453
Contenido de fósforo		0,001	% masa	D4951
Temperatura destilación, Temperatura atmosférica equivalente, 90% recuperado		360	°C	D1160

* Diferentes límites de azufre para S15 (15 ppm azufre) y S500 (500 ppm azufre combustible).

Ilustración 4-2: Norma ASTM Para Biodiésel D6751-09

Fuente: ASTM International (2020)

2.2.5.3. Norma Europea 14214 (European Committee for Standardization)

Esta norma publicada por el Comité Europeo de Normalización describe los métodos y requisitos de ensayos o pruebas en el biodiésel más común, la última versión publicada fue en noviembre de 2008 y es denominada EN 14214:2008 (UNE Normalización Española, 2009).

Tabla 2. Norma Europea para Biodiésel en 14214 – 2008				
Propiedad	Limite		Unidad	Método de prueba
	Min	Max		
Contenido de éster	96.5			en 14103
Punto de inflamación	101		°C	en ISO 2719 en ISO 3679
Contenido de metanol		0.20	% (m/m)	en 14110
Contenido de agua		500	mg/kg	en ISO 12937
Valor ácido		0.50	mg KOH / g	en 14104
Ceniza sulfatada		0.02	% (m/m)	ISO 3987
Corrosión lámina de cobre	No. 1			en ISO 2160
Residuo de carbono (10% residuo dist.)		0.30	% (m/m)	en ISO 10370
Contaminación total		24	mg/kg	en 12662
Densidad a 15°C	860	900	kg/m ³	en ISO 3675 en ISO 12185
Viscosidad cinemática	3.5	5.0	mm ² /s	en ISO 3104
Número de cetano	51			en ISO 5165
Estabilidad de oxidación, 110°C	6		horas	en 14112
Glicerina libre		0.020	% (m/m)	en 14105 en 14106
Glicerina total		0.240	% (m/m)	en 14105
Contenido de monoglicéridos		0.80	% (m/m)	en 14105
Contenido de diglicéridos		0.20	% (m/m)	en 14105
Contenido de triglicéridos		0.20	% (m/m)	en 14105
Índice de yodo		120	g yodo / 100 g	en 14111
Contenido de ácido linoléico		12	% (m/m)	en 14103
Contenido de fame con ≥ 4 enlaces dobles		1	% (m/m)	
Metales Grupo I (Na + K)		5	mg/g	en 14108 en 14109 en 14538
Metales Grupo II (Ca + Mg)		5	mg/g	en 14538
Azufre		10	mg/kg	en ISO 20846 en ISO 20884
Contenido de fósforo		4	mg/kg	en 14107

Ilustración 5-2: Norma Europea Para Biodiésel en 14214:2008

Fuente: UNE Normalización Española (2009)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El diseño del proceso para la obtención de biodiésel se efectuó con base a los ensayos realizados a nivel laboratorio, tomando en cuenta todas las variables para que la producción industrial se realice de manera eficaz.

3.1. Localización del proyecto

Curtiduría Tungurahua S.A. está ubicada en el parque industrial, calle 8 y F, etapa III perteneciente a la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua.

Tabla 1-3: Ubicación Geográfica de Curtiduría Tungurahua S.A.

Provincia	Tungurahua
Cantón	Ambato
Coordenadas	1°11'48" S
Ubicación	Av. Panamericana
Altitud	2600 m.s.n.m.

Fuente: Google Earth (2023)

Realizado Por: Jara, Anaís. 2023



Ilustración 1-3: Localización geográfica de Curtiduría Tungurahua S.A.

Fuente: Google Earth (2023)

3.2. Tipo de estudio

El presente proyecto es del tipo técnico, denominado “Diseño del proceso para obtención de biodiésel a partir del sebo de descarte producido en Curtiduría Tungurahua S.A.” el cual será efectuado mediante experimentaciones a nivel de laboratorio con base a guías, técnicas y según corresponda haciendo uso de normativas de calidad para el producto obtenido.

3.3. Métodos y técnicas

3.3.1. *Método experimental sistémico*

Para la obtención de biodiésel se empleó como materia prima la grasa animal (vacuno, porcino y aviar), se parte de la recopilación de guías de producción, donde los autores detallan que utilizan aceite de cocina residual como materia prima, ya que el objetivo era determinar métodos de obtención principales para llegar a la producción del biodiésel a nivel de laboratorio previo a la caracterización de la materia prima.

3.3.2. *Técnicas*

Mediante la caracterización organoléptica se toman muestras de sebo según sea su condición previa al proceso de transformación que se detalla posteriormente.

3.3.2.1. *Técnicas in - situ*

- **Recolección del sebo**

Este tipo de técnica se efectúa de manera in – situ en el área de pelambre de Curtiduría Tungurahua S.A. que es donde se almacena el desecho del proceso de descarte, el cual pasa por un proceso de homogenización previo al muestreo, es decir que para seleccionar de manera correcta la muestra se realizó visualmente, ya que se debían descartar tanques en los que el sebo está mezclado con pelo, colas, orejas y agua, por otra parte, la selección debe tener mayor énfasis en la grasa impregnada en la carnaza, que es el caso del 90% de tanques con sebo, así como menor cantidad de agua presente ya que de esta forma la extracción de grasas será favorable; según las muestras tomadas y almacenadas previamente para el desarrollo de este trabajo se verificó que se deben respetar parámetros de etiquetado con el fin de cuidar la composición de esta materia, anotando datos como la fecha, hora de recolección y peso.

La muestra recolectada para la obtención a nivel de laboratorio fue de 1.1 Kg, la misma que se toma como una totalidad, siendo esta la población igual a la muestra de estudio.

3.3.2.2. Técnicas para obtención de biodiésel

- **Extracción de la grasa**

La obtención de biodiésel a partir de grasa animal es ambiental y económicamente positiva debido al olor y composición característico del sebo, también es un aspecto positivo para la curtiduría ya que con la metodología empleada para extraer la grasa del sebo su porcentaje de humedad baja y los pagos a GIDSA por los lodos o chicharrones residuales son menores a comparación del sebo que sale directamente del descarte.

Existen dos formas de extraer grasa a partir del sebo, la primera es a nivel de laboratorio y la otra a nivel industrial, las diferencias infieren entre los materiales y reactivos que se emplean respectivamente.

- ✓ **Método de Soxhlet**

A nivel laboratorio se empleó el método de extracción de Soxhlet, el cual consiste en colocar dentro del sifón un cono filtrante con la materia prima acompañado del disolvente, este método consiste en recuperar la grasa de la muestra que se tenga dentro del sifón, el uso de este instrumento es necesario ya que ayudará a cumplir reflujos en los que se irán extrayendo mayor cantidad de grasa, de la misma manera se considera importante al condensador ya que al evaporarse el disolvente este será recuperado por goteo hacia el balón nuevamente.

Una vez cumplida esta etapa se recoge la muestra en el balón para llevarlo al rotavapor, donde se recupera al hexano y la grasa.

Materiales:

- Refrigerante
- Mangueras
- Sifón
- Papel filtro
- Balón de destilación
- Reverbero

Reactivos:

- Hexano



Ilustración 2-3: Equipo de extracción por el método de Soxhlet

Realizado Por: Jara, Anaís. 2023



Ilustración 3-3: Presencia de grasa extraída por el método Soxhlet

Realizado Por: Jara, Anaís. 2023



Ilustración 4-3: Recuperación de la grasa de sebo

Realizado Por: Jara, Anaís. 2023



Ilustración 5-3: Grasa de sebo bovino

Realizado Por: Jara, Anaís. 2023

✓ **Fundición del sebo**

Este método es simple e industrialmente resulta menos costoso, debido a que el sebo pasa a una marmita a 80°C por el tiempo de 4 horas, con el fin de fundirlo hasta que los aceites lleguen a la superficie para su recolección, este a temperatura ambiente se solidifica y el residuo de este proceso es denominado chicharrón, para este proceso no se necesitan de solventes u otros reactivos que ayuden en la extracción de grasas.

Materiales:

- Marmita
- Paleta agitadora



Ilustración 6-3: Sebo fundido

Realizado Por: Jara, Anaís. 2023



Ilustración 7-3: Aceite de sebo bovino

Realizado Por: Jara, Anaís. 2023

- **Transesterificación**

Esta técnica permite obtener biodiésel mezclando la grasa con el metóxido preparado según sea el caso, como se ha mencionado anteriormente los ensayos realizados son a nivel de laboratorio en donde se da apertura a nivel micro el diseño de este proceso de obtención.

- ✓ **Catalizador**

De los tres tipos de catalizadores existentes para la obtención de ésteres (biodiésel) se optó por catalizadores básicos homogéneos ya que tiene varios aspectos positivos para su producción, este tipo de catalizadores requieren de menos tiempo y temperatura de reacción a comparación de los catalizadores ácidos donde Bengoagorostiza (2012, pp. 22–23) menciona que las cantidades de alcohol que se utiliza son 5 veces mayores a diferencia de un catalizador básico.

Para el presente trabajo se ha empleado hidróxido de potasio $K(OH)$ debido a los resultados positivos que este ha presentado en los ensayos realizados para la obtención de biodiésel a partir de grasa animal, como la manipulación, menor tiempo y temperatura de reacción, bajos costos, rendimientos altos y reducidas cantidades de alcohol para el proceso.

- ✓ **Metanol**

Este es un tipo de alcohol líquido de fórmula CH_3OH/CH_4O de uso delicado debido a su toxicidad al contacto con la piel, ojos y nariz, los gases del metanol se desprenden a $12^\circ C$ por ende a temperaturas mayores y al contacto con el aire tienden a ser explosivos; el metanol es utilizado para la producción de biodiésel para lograr la formación de ésteres (Zhang et al., 2003, pp. 2–3).

- **Separación**

Después de la reacción de transesterificación es necesario realizar una separación simple entre fases por gravedad del éster y la glicerina producida durante el tiempo de reposo que se da por la diferencia de densidades entre ellos, la glicerina como los ésteres caben en la posibilidad de tener presencia de alcohol, así como en solo uno de ellos.

- **Lavado**

Los lavados de los ésteres es de gran importancia ya que este proceso se encarga de remover glicerina, metanol y otros subproductos indeseados que puedan alterar la calidad del biodiésel final, Alfonso Álvarez (2013, p. 31) en su investigación menciona que la mejor manera de hacer el lavado es rociando agua a la temperatura de 50 – 60°C , para elimina impurezas y también recomienda que se haga al menos dos lavados de tal forma que el agua residual llegue a tener un color cristalino.

- **Secado**

El secado para el biodiésel producido se sometió a la temperatura de 110°C con el fin de que el agua del lavado presente se evapore, quedando netamente el biodiésel limpio y de esta manera se evita que los antioxidantes del biocombustible se descompongan (Lamoureux Jérôme & Hernández José, 2007, p. 71).

3.3.2.3. Técnicas para producción de biodiésel a nivel de laboratorio

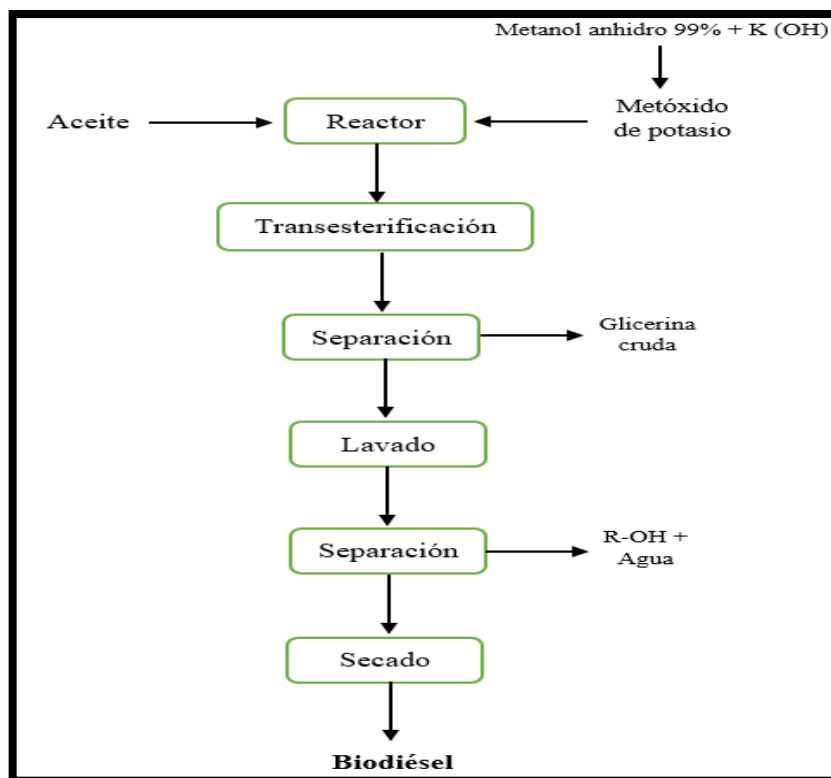


Ilustración 8-3: Diagrama de bloques para la producción de biodiésel a nivel laboratorio

Realizado Por: Jara, Anaís. 2023

Mediante las técnicas descritas se procedió a la obtención de biodiésel a partir de grasa bovina, es muy importante tomar en cuenta factores que pueden alterar la reacción al momento de realizar el método de transesterificación, Benjumea et al. (2004, p. 169) establece que las principales variables son el tipo y la cantidad de catalizador, el tipo de materia prima, el alcohol, dentro de las condiciones de reacción, el tiempo e intensidad de mezclado, presión y temperatura. Por lo que se realizaron varios ensayos definidos en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Ensayos realizados para la obtención de biodiésel

Ensayo	Grasa	Catalizador	Masa del catalizador	Alcohol	Volumen de alcohol	Temperatura	Tiempo de mezclado	Velocidad de mezclado	Tiempo de reposo
1	40 g	Na(OH)	0.8 g	Metanol 99%	10 ml	65°C	90 min	1000 rpm	21 horas
2	20 g	Na(OH)	0,4 g	Metanol 99%	5 ml	65°C	45 min	1000 rpm	-
3	50 g	K(OH)	1 g	Metanol 99%	12,5 ml	60°C	60 min	1200 rpm	22 horas
4	50 g	K(OH)	1 g	Metanol Anhidro 99%	12,5 ml	58°C	60 min	1000 rpm	22 horas
5	50 g	Na(OH)	1 g	Metanol Anhidro 99%	12,5 ml	58°C	40 min	1200 rpm	-

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Ensayo 1

Se preparó metóxido de sodio donde el catalizador empleado era de grado industrial al 99%, a este reactivo también se lo conoce como sosa caustica, se decidió hacer el ensayo con este químico ya que este hay disponible en grandes cantidades en CTU, pero los resultados no fueron nada favorables, después del tiempo de reposo se observó toda la mezcla en estado sólido y de diferente color, por lo que se concluyó que se obtuvo jabón.

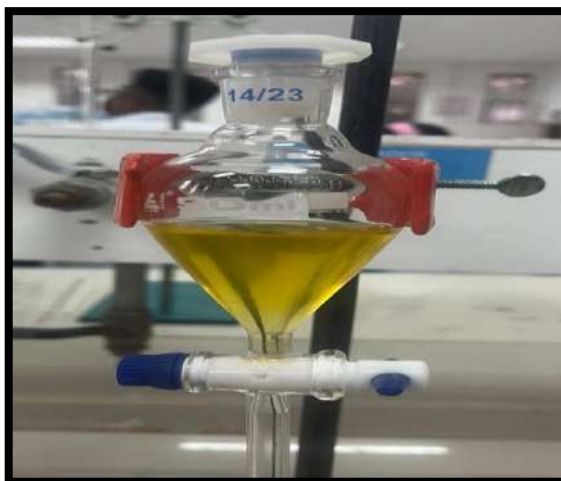


Ilustración 9-3: Mezcla después del proceso de transesterificación

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

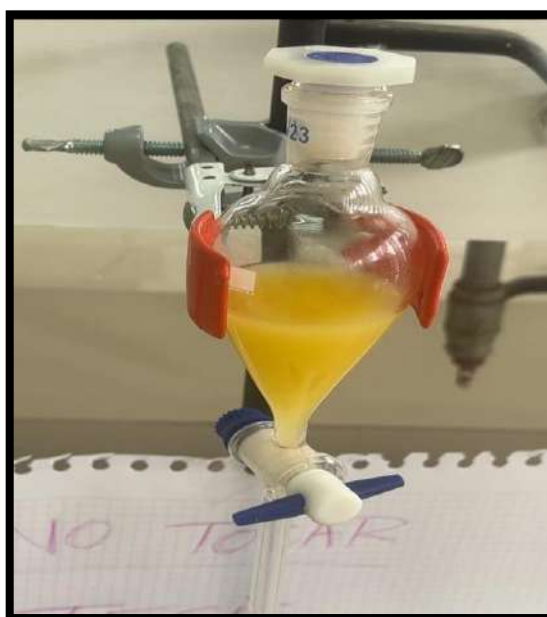


Ilustración 10-3: Mezcla después del tiempo de reposo

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Ensayo 2

El metóxido de sodio fue preparado en las proporciones que indica la tabla 2-3, después de 45 minutos de agitación, la mezcla se tornó dura y no se pudo completar los 90 minutos de agitación establecidos por lo que este ensayo fue fallido, de esta manera se crea una hipótesis, que al usar el hidróxido de sodio $\text{Na}(\text{OH})$ la probabilidad de que se obtenga jabón sea alta.

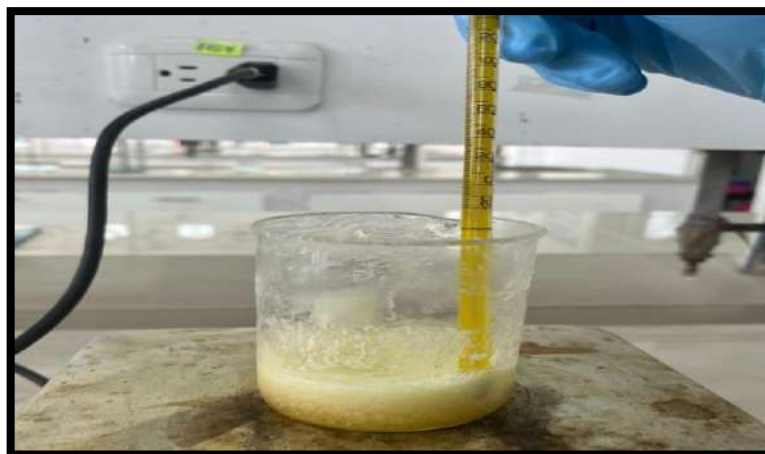


Ilustración 11-3: Mezcla durante proceso de transesterificación

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Ensayo 3

Para este ensayo se preparó metóxido de potasio de grado analítico, basándose en los ensayos anteriores se esperaba que a los 45 minutos aproximadamente empiece a tornarse la mezcla de color blanco, pero durante los 60 minutos establecidos la textura estuvo líquida y la coloración era amarillo transparente, pasado el tiempo de mezclado se trasvasó al embudo de separación y se empezaron a formar sedimentos blanquecinos en la parte inferior y por la parte superior aparentaba ser biodiésel, se esperó al tiempo de reposo para llevarlo al equipo de espectroscopía infrarroja donde indicaba que la parte líquida era biodiésel con jabón en la parte inferior.



Ilustración 12-3: Mezcla después del proceso de transesterificación

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Ensayo 4

En esta prueba se cambió el metanol común por metanol anhidro 99% en las mismas proporciones que el ensayo 3 a diferencia de la temperatura, Arévalo et al. (2014, p. 104) establece trabajar con la temperatura de 58°C, ya que la temperatura de ebullición del metanol es de 60°C, el límite inferior se establece a 56°C; las diferencias a partir de los otros ensayos son varios, entre ellos es que desde el momento que se empieza a mezclar el metóxido de potasio con la grasa se visualiza una mezcla homogénea y transparente, la glicerina y el biodiésel se empiezan a separar dentro del embudo de separación al poco tiempo de ser trasvasado, después del tiempo de reposo se separó la glicerina y se hizo 3 lavados al biodiésel con agua destilada a 35°C, dejando secar en la estufa a la misma temperatura de reacción para proceder con la centrifuga y de esta manera eliminar presencia de glicerina, agua o metanol que haya quedado presente.



Ilustración 13-3: Mezcla después del proceso de transesterificación

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

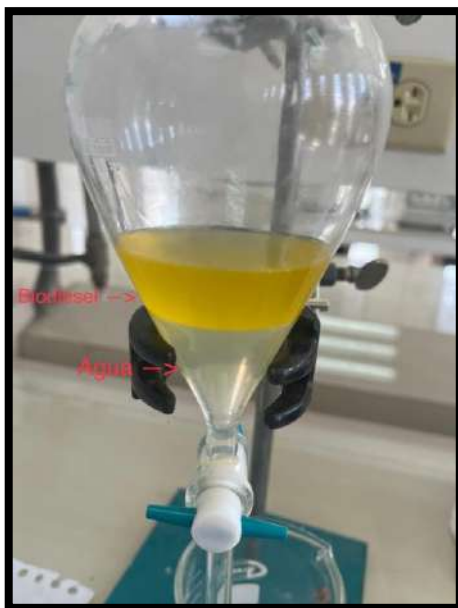


Ilustración 14-3: Lavado del biodiésel

Realizado por: Jara, Anaís. 2023



Ilustración 15-3: Biodiésel seco

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Ensayo 5

Posterior al ensayo 4 se decidió emplear la misma metodología pero utilizando como catalizador el hidróxido de sodio $\text{Na}(\text{OH})$ de grado analítico, con el fin de comprobar la hipótesis que se generó en el ensayo 2; los resultados fueron positivos para la obtención de jabón ya que en el instante que se mezcló el metóxido de sodio la mezcla empezó a tonarse de un color blanquecino y espumoso por lo que no cumplió el tiempo de agitación que requería debido a que la mezcla empezó a espesarse, al exponer esta mezcla heterogénea a temperatura ambiente se empezó a solidificar.



Ilustración 16-3: Mezcla durante el proceso de transesterificación

Realizado por: Jara, Anaís. 2023



Ilustración 17-3: Mezcla expuesta al ambiente

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Una vez realizado los cinco ensayos a nivel laboratorio se decide trabajar bajo los datos experimentales del ensayo 4 que se muestran en la tabla 3-3 donde se procede con las variables de diseño.

3.4. Variables de diseño

3.4.1. *Datos experimentales*

Tabla 3-3: Datos experimentales para la elaboración de biodiésel

Parámetros	Unidad	Cantidad
Concentración del metanol anhidro 99%	%	25
Concentración de K(OH)	%	2
Temperatura	°C	58
Agitación	rpm	1200
Tiempo de agitación	min	90

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

3.4.2. *Caracterización físico – química*

- *Caracterización físico – química del sebo bovino*

Para realizar esta caracterización y con el fin de garantizar que los posteriores procesos sean efectivos, se establecieron parámetros que se detallan en la tabla 4-3, así como el espectro infrarrojo de la ilustración 18-3.

Para la utilización del espectro infrarrojo se parte del sebo calentado a 70°C hasta que las grasas empiecen a desprenderse de la carnaza y poder tomar una gota de este para proceder al espectrómetro infrarrojo.

Tabla 4-3: Características físico – químicas del sebo

Parámetros	Unidades	Resultados
Densidad relativa	g/cm ³	0.9027
Índice de acidez	mg/g	0.0
Índice de yodo	mEqO ₂ /kg	3.44
Índice de peróxido	mEqO ₂ /kg	10.7
Material volátil y humedad	%	70.6
Grasa	%	97.1

Fuente: LACONAL (2023)

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

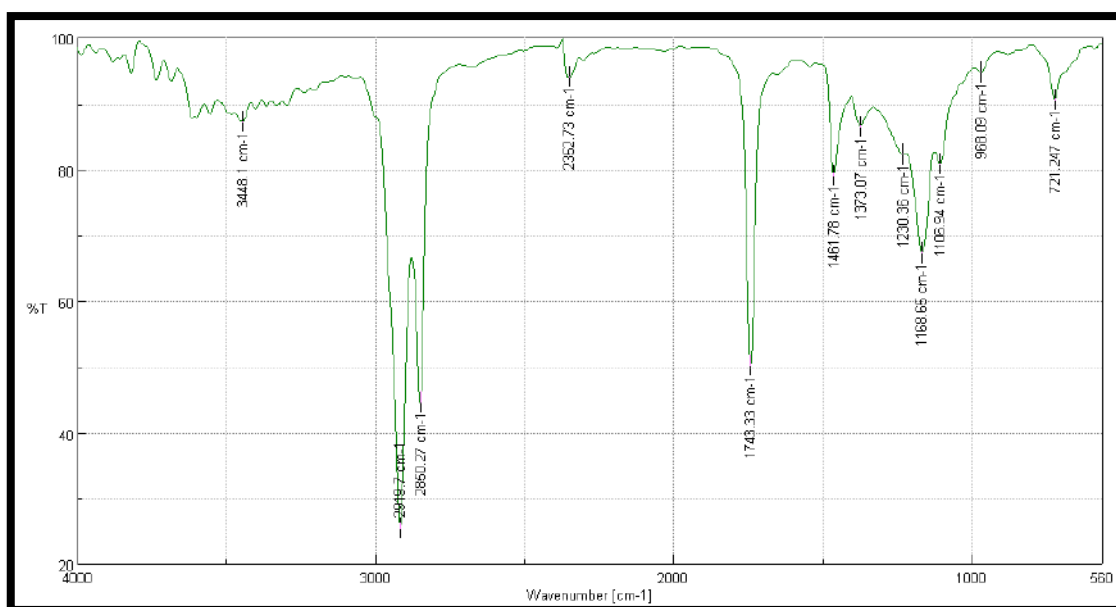


Ilustración 18-3: Espectro infrarrojo del sebo

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Respectivamente se detallan los valores del FTIR, donde 3448.1 cm⁻¹ indica que corresponde al estiramiento del grupo O-H, los picos 2919.7 y 2850.27 cm⁻¹ corresponden a vibraciones de estiramiento de los grupos metilo propios de una grasa en donde se atribuye la presencia de FFA así como de mono y diglicéridos, el pico de 1743.33 cm⁻¹ en adelante indica presencia de ácidos carboxílicos (C = O) (Skoog et al., 2008, pp. 459–461).

- **Caracterización físico – química de la grasa**

En la tabla 5-3 se detalla la caracterización de la grasa recuperada a partir del sebo, así como el espectro infrarrojo de la ilustración 19-3, ya que con esta información es fundamental conocer el tratamiento que se dará a la grasa con el fin de obtener un producto de calidad.

Tabla 5-3: Caracterización físico – química de la grasa

Parámetros	Unidades	Resultados
Cenizas	%	0,005
Humedad	%	0,162
Grasa	%	97,1
Carbohidratos totales	%	0
Densidad 25 °C	g/cm ³	0,8967
Acidez	% ácido palmítico	1,5
Pérdida por calentamiento	%	0,162
Índice de peróxidos	mEqO ₂ /Kg	3,44
Grasa	%	97.1

Fuente: LACONAL (2023)

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

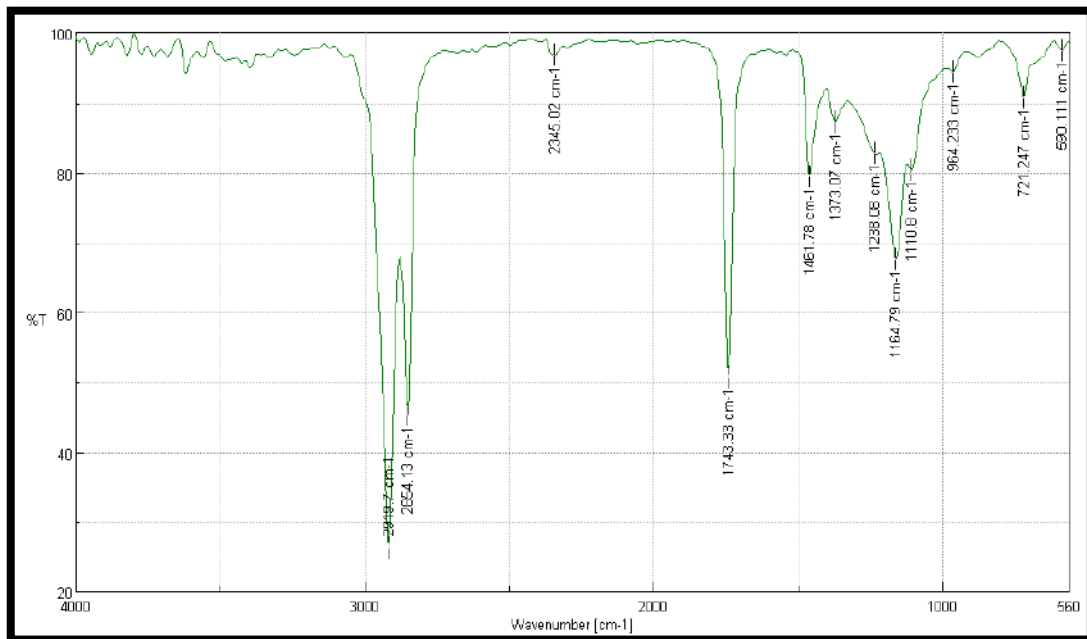


Ilustración 19-3: Espectro infrarrojo de la grasa recuperada

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

En el espectro realizado se observa la ausencia de agua, los dos picos más grandes con valores de 2919.7 y 2854.13 cm⁻¹ persisten debido a que en el caso anterior y este la muestra sigue siendo una grasa y a partir del pico con 1743.33 cm⁻¹ se observa la presencia de ácidos carboxílicos (Skoog et al., 2008, p. 461).

- **Caracterización físico – química del biodiésel**

El biodiésel es caracterizado bajo 7 parámetros según la norma ASTM, en la tabla 8-3 se establece el método de ensayo requerido, con el fin de garantizar el aseguramiento de la calidad que posee este tipo producto, para realizar estos análisis se produjo 768.67 g de biodiésel a partir de 1.1 kg de grasa.

- **Cálculo del rendimiento del biodiésel producido a nivel de laboratorio**

$$\eta = \frac{m_{\text{biodiésel}}}{m_{\text{grasa}}} * 100$$

Ec.1-3

$$\eta = \frac{768.67 \text{ g}}{1100 \text{ g}} * 100$$

$$\eta = 69.88\%$$

Tabla 6-3: Caracterización físico – químicas del biodiésel

Parámetros	Unidades	Resultados	Método de ensayo	Límite	
				Mín.	Máx.
Densidad a 15°C	Kg/m ³	871	ASTM D 1298	860	900
Viscosidad a 40°C	mm ² /s	3,69	ASTM D 445	1,9	6
Corrosión a la tira de cobre	Clasificación	1	ASTM D 130	-	3
Punto de inflamación	°C	162	ASTM D 93	120	-
Temperatura de destilación al 90% recuperado*	°C	319	ASTM D 1160	-	360
Índice de cetano*	-	51	ASTM D 613	47	-
Gravedad API	°API	30.36	ASTM D 6751-07	-	-
Poder calórico	KJ/kg	39701,96	ASTM D 4809	-	-

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Los parámetros marcados con * se obtuvieron con métodos aproximados realizados en laboratorio.

La espectrometría infrarroja realizada posterior a la destilación (ilustración 20-3) en donde se puede observar que dentro de los valores de 2800 y 2950 cm^{-1} el tipo de compuesto es un alcano para los dos casos, el siguiente pico es de 1743.33 cm^{-1} siendo el tipo de compuesto un éster, de la misma manera para la última parte de la gráfica los enlaces tienden a ser C-H y C-O, con esto se concluye que la muestra se esterificó con éxito y demuestra que el prototipo analizado es un éster (biodiésel) (Skoog et al., 2008, p. 461)..

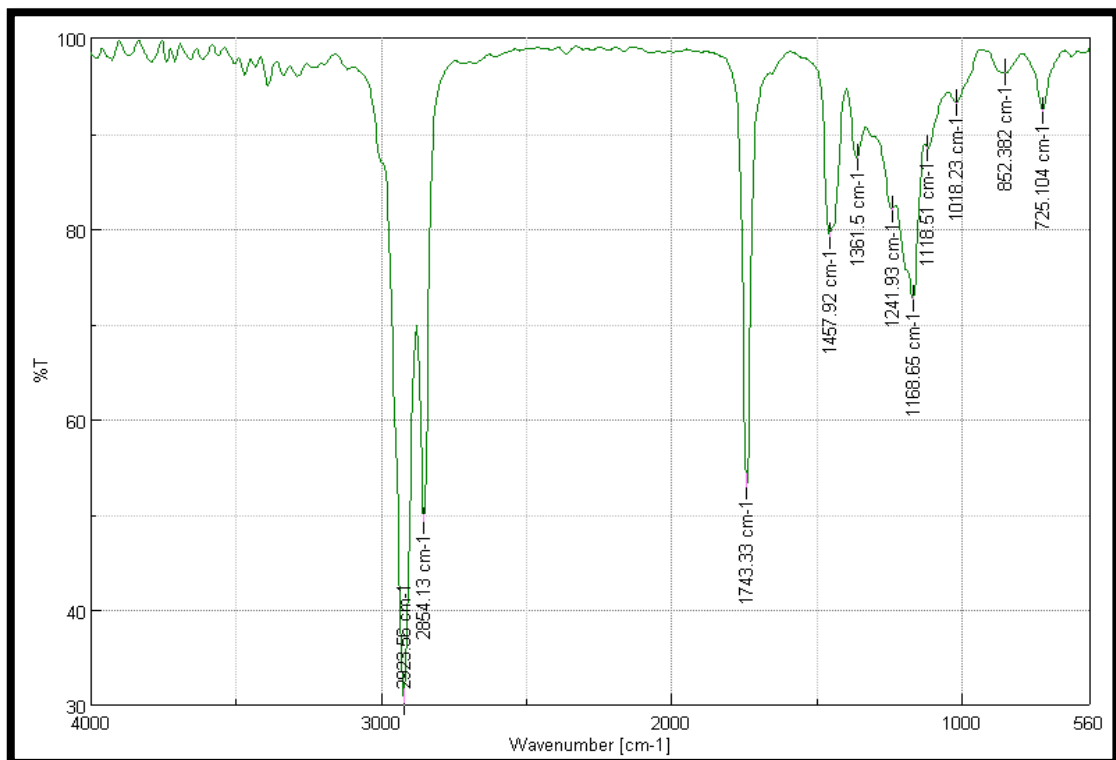


Ilustración 20-3: Espectro infrarrojo del biodiésel

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

3.4.3. Determinación de los parámetros físico – químicos del biodiésel

Tabla 7-3: Determinación de los parámetros físico – químicos del biodiésel

Parámetro	Técnica	Materiales	Cálculos
Densidad a 15°C	<p>Este parámetro se realiza según la norma ASTM 1298.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Transferir lentamente 500 ml de biodiésel a la probeta para evitar salpicaduras y burbujas de aire. ✓ Colocar el termo hidrómetro de forma vertical dentro de la probeta cuando la muestra se encuentre a 15°C. ✓ Dejar que el hidrómetro flote libremente lejos de las paredes de la probeta. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hidrómetro ✓ Termómetro ✓ Probeta de 500 ml 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Factor de corrección $F_c = (T_1 - T_2) * 0.2$ ✓ Densidad API corregida [g/ml] ${}^\circ API_c = {}^\circ API - F_c$ ✓ Gravedad específica $\rho_r = \frac{141.5}{131.5 + {}^\circ API_c}$ ✓ Densidad del fluido [kg/m³] $\rho_{Fluido} = \rho_r * \rho_w$
Viscosidad a 40 °C	<p>Este parámetro se realiza según la norma ASTM D 445.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ajustar el baño María a 40°C. ✓ Cuando se haya alcanzado la temperatura de prueba, ubicar el viscosímetro de capilares. ✓ Extraer la muestra mediante el capilar de trabajo y bulbo de temporización. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Viscosímetro de capilares ✓ Baño María ✓ Pera de succión 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Viscosidad cinemática [mm²/s] $v = t_{Fluido} * C$ ✓ Viscosidad dinámica [kg/ms] $\eta = v * \rho_{Fluido} * 10^{-3}$
Punto de inflamación	<p>Este parámetro se realiza según la norma ASTM D 93.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Llenar la copa con biodiésel hasta la marca señalada internamente. ✓ Tomar la temperatura ambiente de la muestra. ✓ Encender la llama de ensayo. ✓ Encender el equipo de agitación y mantenerlo en una sola dirección. ✓ Registrar como punto de inflamación al valor observado en el 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Termómetro ✓ Equipo para copa cerrada PENSY MARTENS. 	<p><i>Nota:</i> Cuando la presión difiere de 101.3 KPa, se corrige el punto de inflamación mediante las ecuaciones:</p> $F.P.c = C + 0.25(101.3 - K)$ $F.P.c = F + 0.06(760 - P)$

	<p>termómetro al momento de observar el cambio.</p>		$F.P.c = C + 0.033(760 - P)$ <p>Donde:</p> <p>C = Punto de inflamación observado [°C].</p> <p>F = Punto de inflamación observado [°F].</p> <p>P = Presión barométrica ambiental [mmHg].</p> <p>K = Presión barométrica ambiental [KPa].</p>
<p>Temperatura de destilación al 90% recuperado</p>	<p>Este parámetro se realiza según la norma ASTM D 1160.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Colocar hielo con agua en el baño de condensación. ✓ Ubicar el balón de destilación sobre la placa soporte del calentador. ✓ Colocar 100 ml de muestra dentro del balón. ✓ Utilizar una probeta de 100 ml para recoger el destilado. ✓ Insertar el termómetro en la parte superior del balón de tal manera que coincida el inicio del capilar del termómetro con el agujero del brazo del balón. ✓ Establecer la potencia del equipo y esperar que la primera gota caiga dentro de los 15 minutos (anotar la temperatura). ✓ Continuar destilando de tal forma que la potencia modificada permita un goteo uniforme entre 4 y 5 ml/min. ✓ Registrar la temperatura a los 5 ml de recuperado, después al 10% hasta que se alcance el 95%. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Termómetro ✓ Equipo de destilación ✓ Balón de destilación de 250 ml ✓ Probeta de 100 ml 	<p><i>Nota:</i></p> <p>Cuando la presión difiere de 101.3 KPa, se corrige la temperatura de destilación.</p> $T_c = T_p + 0.0009(101.3 - P)(273 - T_p)$ <p>Donde:</p> <p>T_p = Temperatura de prueba [°C].</p> <p>P = Presión de prueba [KPa].</p>

	✓ Registrar la temperatura del punto final (instante en que la temperatura desciende.)		
Índice de cetano	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identificar la densidad a 15 °C. ✓ Identificar la viscosidad a 40 ° C. ✓ Trazar la línea en la figura del Anexo G de esta manera se conocerá el índice de cetano para el biodiésel. 	N/A	Ver Anexo G

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

3.4.4. Balance de masa del descarnado

Los datos descritos en las tablas 8-3 y 9-3 fueron directamente tomados en días aleatorios de producción con el fin de conocer datos exactos del promedio de la cantidad de sebo que se obtiene a diario.

Tabla 8-3: Cantidad promedio de sebo obtenido

Producción agosto						
N° muestra	Fecha	Pieles			Número de pieles	Cantidad de sebo (Kg)
		Lote 1	Lote 2	Lote 3		
1	1/8/2022	215	221	225	661	6279,50
2	6/8/2022	265	305	280	850	8075,00
3	12/8/2022	189	226	244	659	6260,50
4	13/8/2022	260	250	305	815	7742,50
5	18/8/2022	320	300	216	836	7942,00
6	23/8/2022	169	172	300	641	6089,50
7	25/8/2022	150	152	170	472	4484,00
8	29/8/2022	170	175	276	621	5899,50
Total					5555,00	52772,50
Promedio					694,38	6596,56

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 9-3: Cantidad promedio de sebo obtenido

Producción septiembre						
N° muestra	Fecha	Pieles			Número de pieles	Cantidad de sebo
		Lote 1	Lote 2	Lote 3		
1	5/9/2022	200	202	175	577	5481,50
2	9/9/2022	195	195	270	660	6270,00
3	14/9/2022	180	180	250	610	5795,00
4	16/9/2022	260	149	290	699	6640,50
5	20/9/2022	169	169	320	658	6251,00
6	23/9/2022	188	188	311	687	6526,50
7	27/9/2022	170	155	300	625	5937,50
8	30/9/2022	165	305	170	640	6080,00
Total					5156,00	48982,00
Promedio					644,50	6122,75

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 10-3: Promedio del residuo de descarte diario

Sebo (agosto)	Sebo (septiembre)	Promedio diario
6596,56 Kg	6122,75 Kg	6359,65 Kg

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

El promedio diario de sebo (6359,65 kg) no se utilizará netamente para la producción de biodiésel por lo que es importante mencionar la cantidad de grasa que se recupera a partir de este desecho. En CTU actualmente se extrae a diario grasa del sebo bovino en una marmita con capacidad de 2 Tn, mediante datos tomados en la planta de producción se pudo determinar que por cada 2000 kg de sebo fundido se obtiene 600 kg de grasa, mientras que, a nivel de laboratorio, con el método de Soxhlet se obtuvo 58.05 g empleando 1 kg de sebo.

3.4.5. Producción de biodiésel a nivel industrial

Para la producción de biodiésel a nivel industrial se propone el proceso presentado en la ilustración 21-3, ya que de esta manera se precisa la distribución que tendría la planta de producción de biodiésel.

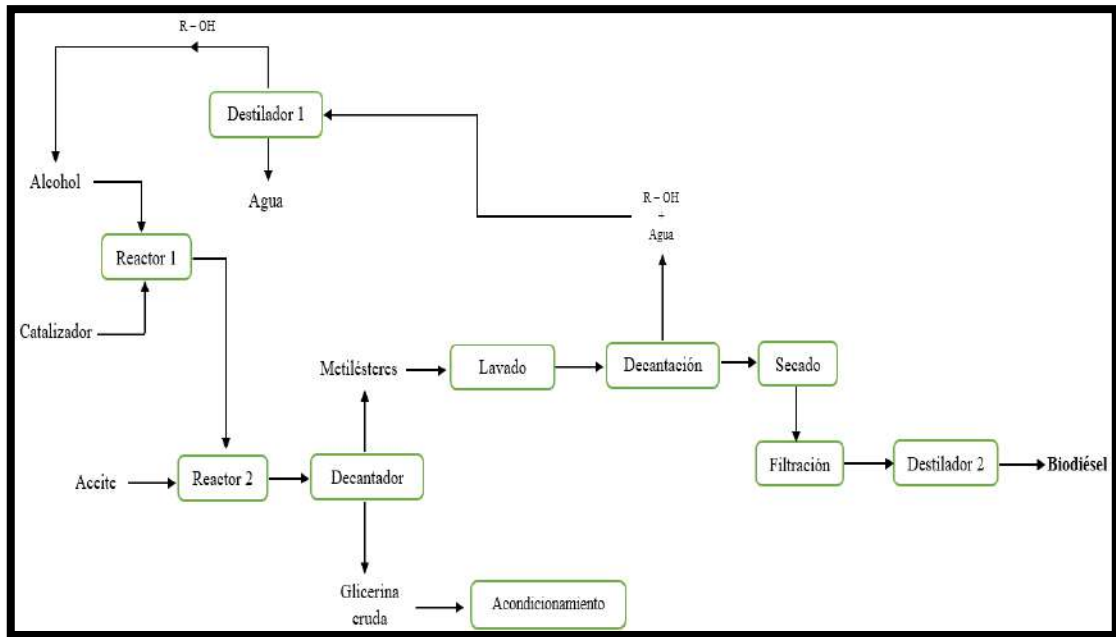


Ilustración 21-3: Diagrama de bloques para el proceso de obtención de biodiésel.

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

3.4.5.1. Diseño del reactor 1 y 2

- **Reactor de tanque agitado continuo (CSTR)**

Este reactor opera en estado estacionario es mayormente utilizado en la industria química orgánica, cuenta con una entrada para reactivos y una salida continua para productos sin que exista acumulación, la reacción se da conforme a la mezcla perfecta dentro del reactor por ende la concentración no cambia en la posición ni en el tiempo, dentro del reactor pueden darse reacciones endotérmicas o exotérmicas debido a que cuenta con una chaqueta por donde puede circular fluido de calentamiento o enfriamiento (Castro, de Miguel y Sad 2020, p. 9-11).

Este tipo de reactor es el indicado para el presente proyecto ya que al mezclar metanol anhidro con el catalizador se produce una reacción exotérmica, gracias al refrigerante fluye agua, logrando de esta manera controlar la temperatura de reacción y evitar la evaporación de alcohol; en el caso del reactor 2 se realizará la reacción química del metóxido de potasio y la grasa de sebo.

- ✓ **Cálculo del volumen del cilindro del reactor**

$$V = \pi * \left(\frac{\phi_T}{2}\right)^2 * h \quad \text{Ec.2-3}$$

$$V1 = \pi * \frac{\phi_T^2}{4} * \phi_T \quad \text{Ec.3-3}$$

Donde:

$V1$ = Volumen del cilindro del reactor

ϕ_T = Diámetro del tanque

h = Altura

✓ **Cálculo de la altura del reactor**

$$V = \pi * r^2 * h_r$$

$$h_r = \frac{V}{\pi * r^2} \quad \text{Ec.4-3}$$

✓ **Cálculo del diámetro y volumen de la cámara de calefacción**

$$V_{c.c.} = \pi * r^2 * h_r \quad \text{Ec. 5-3}$$

✓ **Cálculo de la altura de la cámara de calefacción**

$$h_{c.c.} = h_r + 2.5 \text{ cm} \quad \text{Ec. 6-3}$$

✓ **Cálculo total del volumen de la cámara de calefacción**

$$V_{Total} = V_{c.c} - V1 \quad \text{Ec. 7-3}$$

Donde:

$V_{c.c}$ = Volumen de la cámara de calefacción

$V1$ = Volumen del cilindro del reactor

- **Cálculos para el sistema de agitado**

- ✓ **Cálculo del diámetro del rodete**

$$\frac{\phi_R}{\phi_T} = \frac{1}{3}$$

Ec. 8-3

Donde

ϕ_R = Diámetro del rodete

ϕ_T = Diámetro del tanque

- ✓ **Cálculo de la longitud del brazo**

$$L = \frac{1}{2} * (\phi_T)$$

Ec. 9-3

Donde:

ϕ_T = Diámetro del tanque

- ✓ **Distancia del rodete y el fondo del tanque**

$$X = h_{Tanque} - L$$

Ec. 10-3

Donde:

X = Distancia desde el fondo al rodete

h_{Tanque} = Altura del tanque

L = Largo del brazo

- ✓ **Cálculo de la altura del rodete**

$$\frac{h_{rodete}}{\phi_T} = \frac{1}{3}$$

Ec. 11-3

- ✓ **Cálculo del alto de la paleta**

$$h_{paleta} = \frac{1}{5} * L$$

Ec. 12-3

✓ **Cálculo del ancho de la paleta**

$$W_{paleta} = \frac{1}{4} * L$$

Ec. 13-3

✓ **Cálculo del número de Reynolds**

$$N_{RE} = \frac{\phi_T^2 * N * \rho}{\mu}$$

Ec. 14-3

Donde:

ϕ_T^2 = Diámetro del tanque [m]

N = Número de revoluciones por segundo

ρ = Densidad del fluido [kg/m³]

μ = Viscosidad del fluido [Pa*s]

✓ **Cálculo de la potencia del agitador**

$$N_P = \frac{P}{\rho * N^3 * \phi T^5}$$

Ec. 15-3

$$P = (N_P)(\rho * N^3 * \phi T^5)$$

Nota: El número de potencia (N_p) es determinado directamente con el valor del número de Reynolds y la gráfica de correlaciones de potencia para rodetes específicos, tomando en cuenta que este sistema no cuenta con deflectores.

3.4.5.2. Diseño del decantador

- **Decantador de flujo vertical**

Este es un proceso físico en donde su objetivo principal es separar fases por acción de la gravedad ya sean sólidas o líquidas de tal forma que se obtengan varias etapas con menor presencia de moléculas de la otra fase, los decantadores industriales trabajan en régimen continuo; debido a la naturaleza de este proyecto se desea que el modelo del decantador o separador sea cónico vertical de tal manera que las partículas de glicerina descendan a este proceso se lo conoce como velocidad de asentamiento o velocidad final (Salcedo y Font 2011, p. 3). Este equipo estará diseñado

para recibir todo el volumen que se haya producido en el reactor 2, tomando en cuenta su capacidad máxima para el siguiente diseño.

✓ **Cálculo de la fuerza de arrastre**

$$F_A = C_A * A * \rho * \left[\frac{v^2}{2g} \right]$$

Ec. 16-3

Donde:

F_A = Fuerza de arrastre [kg]

C_A = Coeficiente de arrastre (adimensional) [1]

A = Área de la gota [m²]

ρ = Densidad de la fase continua [kg/m³]

v = Velocidad de asentamiento de la gota [m/s]

g = Constante de gravedad [9.814 m/s²]

✓ **Área del decantador**

$$A_D = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

Ec.17 -3

Donde:

A_D = Área del decantador [m²]

ϕ^2 = Diámetro del decantador [m]

✓ **Cálculo de la velocidad de flujo**

$$v_{flujo} = \frac{Q}{A_D}$$

Ec. 18-3

Donde:

v_{flujo} = Velocidad del flujo [m/s]

Q = Caudal [m³/s]

A_D = Área del decantador [m²]

✓ **Cálculo del alto y ancho de la entrada**

$$h_E = \frac{1}{2} * \phi$$

Ec.19-3

$$W_E = \frac{1}{5} * \phi$$

Ec. 20-3

Donde:

h_E = Altura de la entrada [m]

W_E = Ancho de la entrada [m]

ϕ = Diámetro del decantador [m]

✓ **Cálculo de la altura del decantador (parte cilíndrica)**

$$h_c = \frac{4}{3} * \phi$$

Ec. 21-3

Donde:

h_c = Altura del decantador [m]

ϕ = Diámetro del decantador [m]

✓ **Cálculo de la altura del decantador (parte cónica)**

$$h_{cónica} = \frac{5}{2} * \phi$$

Ec. 22-3

Donde:

$h_{cónica}$ = Altura del decantador [m]

ϕ = Diámetro del decantador [m]

Nota: Las boquillas se ubican tangencialmente como sea posible a la líneas del separador.

✓ **Cálculo del tiempo de retención**

$$t = \frac{V}{Q}$$

Ec.23 -3

Donde:

t = Tiempo de retención [s]

V = Volumen del líquido [L]

Q = Caudal de entrada [L/s]

✓ Cálculo del volumen del decantador

$$V_{Decantador} = 201.42 * \frac{\phi_i^2 * h}{\beta_0 * t}$$

Ec. 24-3

Donde:

ϕ_i = Diámetro del interior del separador [m]

h = Altura [m]

β_0 = Factor volumétrico del biodiésel (adimensional)

t = Tiempo de retención [min]

✓ Cálculo del diámetro de la boquilla de salida

$$\phi_{boq.s} = 0.375 * \phi$$

Ec.25 -3

Donde:

$\phi_{boq.s}$ = Diámetro de la boquilla [m]

0.375 = Valor de referencia STAIRMAND

ϕ = Diámetro del decantador [m]

3.4.5.3. Diseño de la etapa de lavado

• Tanque de lavado

Para este proceso se diseñará un tanque de almacenamiento ya que al ser una etapa de lavado para el biodiésel no requiere del control de variables a excepción de la temperatura del agua que necesite el aspersor incluido en el equipo.

✓ **Cálculo del nivel total de operación**

$$V = \frac{\pi * \phi_i^2}{4} * N_T$$

Ec. 26-3

$$N_T = \frac{V}{\frac{\pi * \phi_i^2}{4}}$$

Donde:

V = Volumen del tanque [m^3]

ϕ_i = Diámetro interno del tanque [m^2]

N_T = Nivel total de operación [m]

✓ **Cálculo de la altura del tanque**

$$h_{Tanque} = L_{Máx} + h_L$$

Ec. 27-3

Donde:

h_{Tanque} = Altura del tanque [m]

L_N = Nivel normal de llenado

$L_{Máx}$ = Nivel máximo de llenado [m]

L_{min} = Nivel mínimo de llenado

h_L = Altura libre [m]

$$L_N = N_T + L_{min}$$

Para conocer la altura o espacio libre (h_L) se define al nivel normal de llenado como 1 m por debajo del límite máximo de llenado, entonces:

$$L_N = L_{Máx} - 1$$

$$h_L = h_{T.T} - L_N$$

Ec. 28-3

Nota: Para determinar este importante parámetro se debe tomar en cuenta que en el techo del tanque se instalará una tubería de aspersion de agua por lo que la altura deberá ser más prolongada, así como establecer el nivel máximo de biodiésel para el diseño como una restricción, de tal forma que se asegure que el nivel normal de llenado (L_N) no alcance los límites y de esta manera se provoque una sobrepresión al rebasar los límites del nivel máximo ($L_{Máx}$), entonces:

$$L_N \leq L_{M\acute{a}x}$$

✓ **Cálculo de la capacidad máxima del tanque**

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{\pi * \phi_i^2}{4} * (L_{M\acute{a}x})$$

Ec. 29-3

Donde:

$L_{M\acute{a}x}$ = Nivel máximo de llenado [m]

✓ **Cálculo de la capacidad geométrica del tanque**

$$V_g = \frac{\pi * \phi_i^2}{4} * (h_{Tanque})$$

Ec.30 -3

Donde:

h_{Tanque} = Altura del tanque [m]

✓ **Cálculo de la capacidad mínima del tanque**

$$V_{m\acute{i}n} = \frac{\pi * \phi_i^2}{4} * (L_{M\acute{i}n})$$

Ec.31 -3

Donde:

$L_{M\acute{i}n}$ = Nivel mínimo de llenado [m]

✓ **Cálculo del área del tanque**

$$A_T = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

Ec. 32-3

Donde:

A_T = Área del tanque

ϕ = Diámetro del tanque

✓ Cálculo de la geometría de la cubierta del tanque

Tomando en cuenta la geometría del estándar para tanques de almacenamiento en donde el radio del casquete es esférico o curvo, así como los siguientes parámetros de diseño, se tiene que:

$$0.8 * \phi \leq R_T \leq 1.2 * \phi$$

$$R_T = \phi$$

$$\theta = \arcsen \left(\frac{\phi}{2 * R_T} \right)$$

Ec.33 -3

$$\theta_2 = 180 - 90 - \theta$$

Ec. 34-3

$$h_{techo} = R_T * (1 - \cos(\theta))$$

Ec. 35-3

Donde:

ϕ = Diámetro nominal [m]

R_T = Radio del techo [m]

θ, θ_2 = Ángulos del techo

h_{techo} = Altura del techo [m]

✓ Cálculo de la presión total del tanque

$$P_{Tanque} = \frac{11265408 * A * \tan\theta}{\phi^2} + (8 * th)$$

Ec. 36-3

Donde:

P_{Tanque} = Presión máxima de diseño [m]

A = Área de la sección transversal [m^2]

θ = Ángulo del techo con respecto al diámetro nominal

ϕ = Diámetro del tanque

th = Espesor mínimo del techo [m]

La presión máxima de diseño deberá ser menor a la presión máxima permisible que se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{1275.8 * W}{\phi^2} + (8 * th)$$

Ec. 37-3

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$ = Presi3n máxima permisible [kg/m²]

W= Peso total del tanque, sin considerar el peso del techo [kg]

- **Aspersor de agua**

El difusor de agua escogido es una tubería de acero inoxidable con agujeros fijada en la parte interna superior del tanque, donde se dispersará el 10% de agua respecto al peso del biodi3sel a la temperatura de 45°C.



Ilustraci3n 22-3: Tubo aspersor de agua para el tanque de lavado

Fuente: Alibaba (2023b)

- ✓ **Cculo del volumen del tubo**

$$V = \pi * r^2 * h$$

Ec. 38-3

Donde:

V = Volumen del tanque

r = Radio

h = Altura del tanque

- Corriente de aire caliente por medio de un ventilador

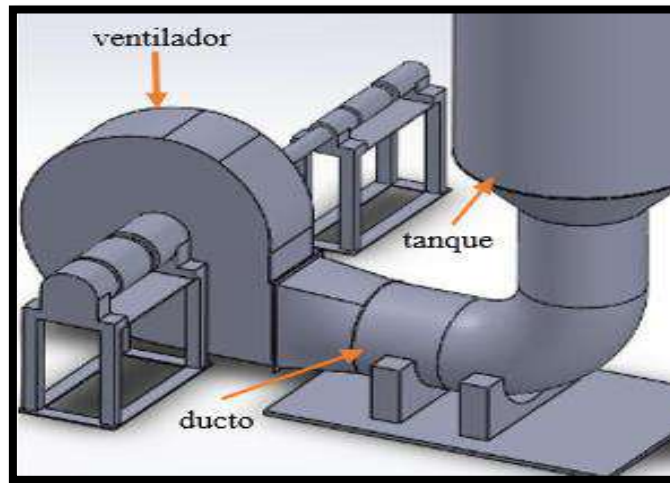


Ilustración 23-3: Dimensionamiento del ventilador

Fuente: Palacios (2016, p. 63)

✓ **Cálculo de la velocidad de operación (ventilador)**

Este cálculo se lo realiza en función de la tabla (ft) de factores por corrección de temperatura para varios materiales de construcción, en el caso de este diseño será en acero inoxidable (Anexo H).

$$w_{HT} = w_{Base (100\text{ }^{\circ}\text{C})} * Ft$$

Ec. 39-3

Donde:

w_{HT} = Velocidad límite del ventilador a mayor temperatura [rpm]

$w_{Base (100\text{ }^{\circ}\text{C})}$ = Velocidad límite base [2677 rpm]

Ft = Factor de de temperatura

$$v = \frac{2 * \pi * r * w}{60}$$

Ec. 40-3

Donde:

v = Velocidad de operación [m/s]

r = Radio del ducto de aire [m]

w = Velocidad angular

✓ **Cálculo del caudal (ventilador)**

$$Q = V * A$$

Ec. 41-3

$$Q = \frac{V * \pi * \phi^2}{4}$$

Ec. 42-3

Donde:

Q = Caudal de aire [m³/s]

V = Velocidad de operación [m/s]

ϕ = Diámetro del ducto de aire [m]

✓ **Cálculo de la presión total (ventilador)**

Mediante la ecuación de Bernoulli se puede determinar este cálculo ya que se entiende mediante esta ecuación como el principio de conservación de la energía, es decir que un flujo con fricción despreciable y flujo constante las distintas formas de energía mecánica se transforman de unas a otras, almacenando la energía total (Antolínez, Guerra y Forero 2016, p. 3).

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2$$

Ec. 43-3

La presión se puede determinar de la siguiente manera:

$$P_T = P_{Tanque} + \frac{\rho_g}{2} (\mu^2) + hf_1 + hf_2 + Z\rho_g g$$

Ec. 44-3

Donde:

P_T = Presión total [Pa]

P_{Tanque} = Presión máxima de diseño [m]

ρ_g = Densidad del gas en función de la temperatura [kg/m³]

μ^2 = Viscosidad dinámica del aire en función de la temperatura [kg/m*s]

hf_1 = Pérdidas primarias en el ducto [Pa]

hf_2 = Pérdidas secundarias en el ducto [Pa]

Z = Altura del ducto [m]

g = Gravedad [m/s²]

$$hf_1 = f * \rho_g * \frac{h_T * 8 * Q^2}{\pi^2 * \phi^5}$$

Ec. 45-3

Donde:

hf_1 = Pérdidas primarias en el ducto [Pa]

f = Factor de pérdida dentro del ducto (adimensional)

ρ_g = Densidad del gas en función de la temperatura [kg/m³]

h_T = Altura del tanque [m]

Q = Caudal de aire [m³/s]

ϕ = Diámetro del ducto de aire [m]

$$Re = \frac{4 * Q}{\pi * \mu * \phi}$$

Ec. 46-3

Donde:

Q = Caudal de aire [m³/s]

ν = Viscosidad cinemática [m²/s]

ϕ = Diámetro del ducto de aire [m]

$$f = \frac{0.25}{[\log(\frac{\epsilon}{3.71 * \phi} + \frac{5.74}{Re^{0.9}})]^2}$$

Ec. 47-3

Donde:

f = Factor de pérdida dentro del ducto (adimensional)

ϵ = Coeficiente de rugosidad del acero inoxidable [m]

ϕ = Diámetro del ducto de aire [m]

$$hf_2 = k * \frac{\rho_g}{2} * V^2$$

Ec. 48-3

Donde:

hf_2 = Pérdidas secundarias en el ducto [Pa]

ρ_g = Densidad del gas en función de la temperatura [kg/ m³]

V = Velocidad de operación [m/s]

$k =$ Constante para uniones de ductos a 90° [$k = 0.22$]

Para realizar los cálculos se debe tomar en cuenta la temperatura ambiente del biodiésel para poder determinar los valores necesarios del diseño.

3.4.5.4. Diseño de la etapa de filtración

El tipo de filtración que se escogió para esta etapa es el de filtración por granulometría del lecho filtrante, es decir que este debe estar compuesto por granos de arena redondos y duros que estén libres de materia orgánica, arcilla y grava, también es importante mencionar que la arena no debe tener más del 2% de elementos como el magnesio y carbonato de calcio, de esta manera se dará una filtración correcta (OMS 2005, p. 18-21). El objetivo de este tipo de filtración es que el biodiésel se desprenda de impurezas que pueda poseer, así como de moléculas de jabón que se pudieron haber formado en la etapa de lavado.

A continuación, se detalla los criterios de diseño que la granulometría del lecho filtrante debe cumplir:

✓ Cálculo del caudal de diseño

$$Q_{Diseño} = \frac{Q_{Total}}{N}$$

Ec. 49-3

Donde:

$Q_{Diseño}$ = Caudal de diseño [m^3/s]

Q_{Total} = Caudal total [m^3/s]

N = Número de unidades [2]

✓ Cálculo del área superficial

$$A_s = \frac{Q_{Diseño}}{N * v_f}$$

Ec. 50-3

Donde:

A_s = Área superficial [m^2]

$Q_{Diseño}$ = Caudal de diseño [m^3/h]

N = Número de unidades [2]

v_f = Velocidad de filtración [m/s]

✓ **Cálculo del coeficiente de mínimo costo**

$$K = \frac{2 * N}{N + 1}$$

Ec. 51-3

Donde:

K = coeficiente de mínimo costo

N = Número de unidades [2]

✓ **Cálculo de la longitud de unidad**

$$L = (A_s * K)^{0.5}$$

Ec. 52-3

Donde:

L = Longitud de unidad [m]

A_s = Área superficial [m²]

K = coeficiente de mínimo costo

✓ **Cálculo del ancho de unidad**

$$b = \left(\frac{A_s}{K} \right)^{0.5}$$

Ec. 53-3

Donde:

b = Ancho de unidad [m]

A_s = Área superficial [m²]

K = coeficiente de mínimo costo

✓ **Cálculo de filtración real**

$$v_{Real} = \frac{Q_{Diseño}}{2 * A_s * b}$$

Ec. 54-3

Donde:

v_{Real} = Velocidad de filtración real

$Q_{Diseño}$ = Caudal de diseño [m³/s]

$A_s = \text{Área superficial [m}^2 \text{]}$

$b = \text{Ancho de unidad [m]}$

3.4.5.5. Diseño del destilador 1 y 2

Este proceso es parte del diseño de obtención de biodiésel ya que después de hacer los lavados el agua resultante viene acompañada del metanol que se empleó para la reacción de transesterificación, por lo que se propone una torre de destilación binaria con el fin de separar los componentes y volverlos a reutilizar. Una segunda torre es fundamental ya que se requiere de la destilación del biodiésel procedente de la etapa de filtración.

Tabla 11-3: Datos de concentración en la alimentación (metanol - agua)

Representación	Parámetro	Unidades	Valor
F	Mezcla metanol – agua	Kg/h	400
x_F	Concentración inicial	% Etanol	0.20
x_D	Concentración en el destilado	% Etanol	0.85
x_w	Concentración en el fondo	% Etanol	0.0015
M_D	Peso molecular del producto destilado	Kg/kmol	41.86
M_F	Peso molecular de la mezcla de alimentación	Kg/kmol	23.63

Fuente: Chuquín (2013, p. 77)

Tabla 12-3: Condiciones de operación (metanol - agua)

Representación	Parámetro	Unidades	Valor
R	Razón de reflujo	-	2.3
$\frac{F_v}{F_{v,Fl}}$	Capacidad relativa de vapor	%	0.75
$\Delta\rho$	Caída de presión	Pa	3447.35
$\Delta\rho/h$	Caída de presión a través de una columna empacada	Pa/m	376.49

Fuente: Chuquín (2013, p. 77)

Tabla 13-3: Propiedades físicas de la mezcla (metanol - agua)

Representación	Parámetro	Unidades	Valor
ρ_v	Densidad de vapor	kg/m ³	1.21
ρ_L	Densidad del líquido	kg/m ³	786
σ	Tensión superficial	N/m	0.025
n_L	Viscosidad dinámica	Kg/ms	4.95x10 ⁻⁴
μ_v	Viscosidad cinemática	m ² /s	9.0x10 ⁻⁶

Fuente: Chuquín (2013, p. 77)

Tabla 14-3: Datos de concentración en la alimentación (biodiésel)

Representación	Parámetro	Unidades	Valor
F	Biodiésel	Kg/h	1.08x10 ⁵
x_F	Concentración inicial	% Biodiésel	1
x_D	Concentración en el destilado	% Etanol	0.85
x_W	Concentración en el fondo	% Etanol	0.0015
M_D	Peso molecular del producto destilado	Kg/kmol	293
M_F	Peso molecular de la mezcla de alimentación	Kg/kmol	300

Fuente: Chuquín (2013, p. 77)

Tabla 15-3: Condiciones de operación (biodiésel)

Representación	Parámetro	Unidades	Valor
R	Razón de reflujo	-	2.3
$\frac{F_v}{F_{v,Fl}}$	Capacidad relativa de vapor	%	0.75
$\Delta\rho$	Caída de presión	Pa	3447.13
$\Delta\rho/h$	Caída de presión a través de una columna empacada	Pa/m	376.49

Fuente: Chuquín (2013, p. 77)

Tabla 16-3: Propiedades físicas de la mezcla (biodiésel)

Representación	Parámetro	Unidades	Valor
ρ_v	Densidad de vapor	kg/m ³	1.21
ρ_L	Densidad del líquido	kg/m ³	871
σ	Tensión superficial	N/m	0.025
n_L	Viscosidad dinámica	Kg/ms	0.32
μ_v	Viscosidad cinemática	m ² /s	3.69x10 ⁻⁶

Fuente: Chuquín (2013, p. 77)

- **Flujos y velocidad de flujo de la parte superior de la columna**

- ✓ **Cálculo del flujo de alimentación (Agua + R-OH)**

$$\dot{F} = \frac{F}{M_F}$$

Ec. 55-3

Donde:

\dot{F} = Flujo de alimentación de la mezcla [kmol/h]

F = Flujo de alimentación [kg/h]

M_F = Peso molecular de la mezcla de alimentación [kg/kmol]

- ✓ **Cálculo del flujo de destilado (metanol anhidro)**

$$\dot{D} = \dot{F} * \frac{x_F - x_w}{x_D - x_w}$$

Ec. 56-3

Donde:

\dot{D} = Flujo del destilado [kmol/h]

\dot{F} = Flujo de alimentación de la mezcla [kmol/h]

x_F = Concentración inicial [% alcohol anhidro]

x_w = Concentración en el fondo [% alcohol anhidro]

x_D = Concentración en el destilado [% alcohol anhidro]

- ✓ **Cálculo del flujo de fondo**

$$\dot{w} = \dot{F} - \dot{D}$$

Ec. 57-3

Donde:

\dot{W} = Flujo de fondo [kmol/h]

\dot{F} = Flujo de alimentación de la mezcla [kmol/h]

\dot{D} = Flujo de destilado (alcohol anhidro) [kmol/h]

✓ **Cálculo del flujo de vapor en la parte superior de la columna**

$$V = [(R + 1) * \dot{D}] * M_D$$

Ec. 58-3

Donde:

V = Flujo de vapor [kg/h]

R = Reflujo

\dot{D} = Flujo de destilado (alcohol anhidro) [kmol/h]

M_D = Peso molecular del producto destilado [kg/kmol]

✓ **Cálculo del flujo condensado en la parte superior de la columna**

$$L = (R * \dot{D}) * M_D$$

Ec. 59-3

Donde:

L = Flujo del líquido [kg/h]

• **Columna empacada**

✓ **Cálculo del punto de inundación**

$$\lambda_o = \frac{L * \rho_v}{\rho_L * V}$$

Ec. 60-3

Donde:

λ_o = Relación de flujo

L = Flujo del líquido [kg/h]

ρ_v = Densidad de vapor [kg/m³]

ρ_L = Densidad del líquido

V = Flujo de vapor [kg/h]

✓ **Cálculo del líquido retenido en el punto de inundación**

$$h_{L,Fl}^{\circ} = \frac{\sqrt{1.44 \lambda_o^2 + 0.8 \lambda_o(1 - \lambda_o)} - 1.2 \lambda_o}{0.4(1 - \lambda_o)}$$

Ec. 61-3

Donde:

$h_{L,Fl}^{\circ}$ = Líquido retenido en el punto de inundación [m³m⁻³]

✓ **Cálculo del líquido retenido basado en una columna vacía**

Para realizar el siguiente cálculo se toma en cuenta el empaque (Pall rings 25 mm x 25 mm).

Tabla 17-3: Especificaciones técnicas (metanol - agua) y (biodiésel)

Representación	Parámetro	Unidades	Valor
D	Diámetro nominal	m	0,3
H	Altura del empaque	m	0,3
A	Área geométrica	m ² / m ² m ⁻³	215
E	Fracción de vacío	-	0,96
ψ_{Fl}	Coefficiente de resistencia flujo de fases	m	2,42
u	Factor de forma empaque seco	-	0,5
φ_P	Factor de forma empaque irrigado	-	0,28

Fuente: Chuquín (2013, p. 77)

$$h_L = h_{L,Fl}^{\circ} * \varepsilon$$

Ec. 62-3

Donde:

h_L = Líquido retenido

$h_{L,Fl}^{\circ}$ = Líquido retenido en el punto de inundación [m³m⁻³]

ε = Fracción de vacío (empaque)

✓ **Cálculo del diámetro hidráulico del lecho empacado**

$$\phi_h = 4 * \frac{\varepsilon}{a}$$

Ec. 63-3

Donde:

ϕ_h = Diámetro hidráulico [m]

ε = Fracción de vacío (empaque) [m³m⁻³]

a = Área de la superficie geométrica del empaque [m²m⁻³]

✓ **Cálculo del diámetro de las gotas formadas**

$$\phi_G = \sqrt{\frac{\sigma}{\Delta\rho * g}}$$

Ec. 64-3

Donde:

ϕ_G = Diámetro de las gotas [m]

σ = Tensión superficial del líquido (gas – líquido) [mNm⁻¹]

$\Delta\rho$ = Variación de densidades (líquido – vapor) [kg/m³]

g = Gravedad [m/s²]

✓ **Cálculo de la velocidad del vapor en el punto de inundación**

$$v_{V,Fl} = 0.56\psi_{Fl}^{-\frac{1}{6}}\left(\frac{\phi_h}{\phi_G}\right)^{\frac{1}{4}} * \varepsilon^{\frac{6}{5}}\left(\frac{\phi_G * \Delta\rho * g}{\rho_v}\right)^{\frac{1}{2}} * (1 - h_{L,Fl}^{\circ})^{3.5}$$

Ec. 65-3

Donde:

$v_{V,Fl}$ = Velocidad del vapor en el punto de inundación (sección transversal de una columna vacía) [m/s]

ψ_{Fl} = Coeficiente de resistencia para un flujo de fase gaseosa

ϕ_h = Diámetro hidráulico [m]

ϕ_G = Diámetro de las gotas [m]

ρ_v = Densidad de vapor [kg/m³]

$\Delta\rho$ = Variación de la densidad (líquido – vapor) [kg/m³]

g = Gravedad [m/s²]

$h_{L,Fl}^{\circ}$ = Líquido retenido en el punto de inundación [m³m⁻³]

✓ **Cálculo de la velocidad de vapor**

$$v_V = v_{V,Fl} * \frac{F_v}{F_{v,Fl}}$$

Ec. 66-3

Donde:

v_V = Velocidad de vapor [m/s]

$v_{V,Fl}$ = Velocidad del vapor en el punto de inundación (sección transversal de una columna vacía) [m/s]

$\frac{F_v}{F_{v,Fl}}$ = Capacidad relativa de vapor [%]

✓ **Cálculo del área de la sección transversal**

$$A_s = \frac{V}{3600 * \rho_v * v_V}$$

Ec. 67-3

Donde:

A_s = Área de la sección transversal [m²]

V = Flujo de vapor [kg/h]

ρ_v = Densidad de vapor [kg/m³]

v_V = Velocidad de vapor [m/s]

✓ **Cálculo del diámetro de la columna empacada**

$$\phi_c = \sqrt{\frac{4 * A_s}{\pi}}$$

Ec. 68-3

Donde:

ϕ_c = Diámetro de la columna empacada [m]

A_s = Área de la sección transversal [m²]

• **Capacidad de Vapor**

✓ **Cálculo del factor de capacidad de vapor en el punto de inundación**

$$F_{V,Fl} = v_{V,Fl} * \sqrt{\rho_v}$$

Ec. 69-3

Donde:

$F_{V,Fl}$ = Factor de capacidad de vapor [m/s* $\sqrt{kg/m^3}$]

$v_{V,Fl}$ = Velocidad del vapor [m/s]

ρ_v = Densidad de vapor [kg/m³]

✓ **Cálculo del factor de capacidad de vapor**

$$F_V = v_V * \sqrt{\rho_v}$$

Ec. 70-3

Donde:

F_V = Factor de capacidad de vapor [m/s* $\sqrt{kg/m^3}$]

v_V = Velocidad de vapor [m/s]

ρ_v = Densidad de vapor [kg/m³]

• **Carga específica del líquido**

$$\mu_L = \frac{L}{3600 * \rho_L * A_s}$$

Ec. 71-3

Donde:

μ_L = Carga específica del líquido [m³/m²h]

L = Flujo de líquido [kg/h]

ρ_L = Densidad del líquido [kg/m³]

A_s = Área de la sección transversal [m²]

• **Número de Reynolds del líquido**

$$Re_L = \frac{\mu_L * \rho_L}{n_L * a}$$

Ec. 72-3

Donde:

μ_L = Carga específica del líquido [m³/m²h]

ρ_L = Densidad del líquido [kg/m³]

n_L = Viscosidad cinemática del líquido [kg/ms]

$a = \text{Área de la superficie geométrica del empaque [m}^2\text{m}^{-3}$]

- **Altura de la columna**

- ✓ **Cálculo del diámetro de la partícula**

$$\phi_p = 6 * \frac{1 - \varepsilon}{a}$$

Ec. 73-3

Donde:

$\phi_p = \text{Diámetro de la partícula [m]}$

$\varepsilon = \text{Fracción de vacío (empaque) [m}^3\text{m}^{-3}$]

$a = \text{Área de la superficie geométrica del empaque [m}^2\text{m}^{-3}$]

- ✓ **Cálculo del factor de pared**

$$K = \left(1 + \frac{2}{3} * \frac{1}{1 - \varepsilon} * \frac{\phi_p}{\phi_c}\right)^{-1}$$

Ec. 74-3

Donde:

$K = \text{Factor de pared}$

$\varepsilon = \text{Fracción de vacío (empaque) [m}^3\text{m}^{-3}$]

$\phi_c = \text{Diámetro de la columna empacada [m]}$

$\phi_p = \text{Diámetro de la partícula [m]}$

- ✓ **Número de Reynolds de vapor**

$$Re_v = \frac{\mu_v * \phi_p}{(1 - \varepsilon) * V_v} * K$$

Ec. 75-3

Donde:

$\mu_v = \text{Velocidad de vapor [m/s]}$

$\phi_p = \text{Diámetro de la partícula [m]}$

$K = \text{Factor de pared}$

$V_v = \text{Viscosidad dinámica [m}^2\text{/s]}$

$\varepsilon = \text{Fracción de vacío (empaque) [m}^3\text{m}^{-3}$]

✓ **Cálculo de la altura de la torre**

$$h = \frac{\Delta\rho}{\left(\frac{\Delta\rho}{h}\right)}$$

Ec. 76-3

Donde:

$\Delta\rho$ = Caída de presión

$\left(\frac{\Delta\rho}{h}\right)$ = Caída de presión a través de una columna empacada

✓ **Cálculo del diámetro de la columna**

$$\phi_D = \frac{[4.82 * (\rho_L - \rho_v)^{0.5} * \Delta\mu^{-0.06}]}{a}$$

Ec. 77-3

Donde:

ϕ_D = Diámetro de la columna de destilación

ρ_L = Densidad del líquido [kg/m³]

ρ_v = Densidad de vapor [kg/m³]

$\Delta\mu$ = Diferencia de viscosidad (metanol - agua)

a = Área de la superficie geométrica del empaque [m²m⁻³]

3.4.5.6. Bomba centrífuga

Este tipo de bomba se empleará para el transporte de líquidos de un equipo a otro, en la tabla 18-3 se detalla la ficha técnica de una bomba centrífuga de marca ROLWAL NFM para para uso industrial y agrícola.

Tabla 18-3: Ficha técnica de una bomba centrífuga

Especificaciones	Unidades	Valor
Altura máxima	m	18
Flujo máximo	l/min	1700
Potencia	HP	2
Presión	bar	10
Tensión	V	220
Viscosidad máxima del fluido	cSt	660
Temperatura máxima del fluido	°C	80
Temperatura ambiente máxima	°C	40

Fuente: (Alibaba 2023a)

3.5. Cálculos ingenieriles para el dimensionamiento del proceso de obtención

3.5.1. Diseño del reactor 1

✓ Cálculo del volumen del cilindro del reactor

Tomando como referencia la cantidad de materia prima se escoge el diámetro de 60 cm para el reactor en donde se producirá el metóxido de potasio.

$$V1 = \frac{\pi * \phi_T^3}{4}$$

$$V1 = \frac{\pi * (60 \text{ cm})^3}{4}$$

$$V1 = 169.646,00 \text{ cm}^3$$

$$V1 = 169.65 \text{ L}$$

✓ Cálculo de la altura del reactor

$$h_r = \frac{V}{\pi * r^2}$$

$$h_r = \frac{169.646,00 \text{ cm}^3}{\pi * (30 \text{ cm})^2}$$

$$h_r = 59.99 \approx 60 \text{ cm}$$

✓ Cálculo del diámetro y volumen de la cámara de calefacción

Para diseñar esta sección Palmay & Espinoza (2009, pp. 51–61) recomiendan que el diámetro del medio de calentamiento sea aumentado en 2.5 cm por cada lado del diámetro del cilindro del reactor, teniendo:

$$\phi = 60 \text{ cm} + 5 \text{ cm}$$

$$\phi = 65 \text{ cm}$$

$$V_{c.c.} = \pi * r^2 * h_r$$

$$V_{c.c} = \pi * (32.50 \text{ cm})^2 * 60 \text{ cm}$$

$$V_{c.c} = 199098.43 \text{ cm}^3$$

$$V_{c.c} = 199.1 \text{ L}$$

✓ **Cálculo de la altura de la cámara de calefacción**

Por seguridad y condición técnica específicamente para este proceso de preparación, la altura de este parámetro debe ser 2.5 cm más grande que la del reactor, entonces:

$$h_{c.c.} = h_r + 2.5 \text{ cm}$$

$$h_{c.c.} = 60 \text{ cm} + 2.5 \text{ cm}$$

$$h_{c.c.} = 62.5 \text{ cm}$$

✓ **Cálculo total del volumen de la cámara de calefacción**

Mediante diferencia de volúmenes se podrá determinar el valor total:

$$V_{Total} = V_{c.c} - V_1$$

$$V_{Total} = 199.1 \text{ L} - 169.65 \text{ L}$$

$$V_{Total} = 29.45 \text{ L}$$

- Dimensionamiento del reactor 1

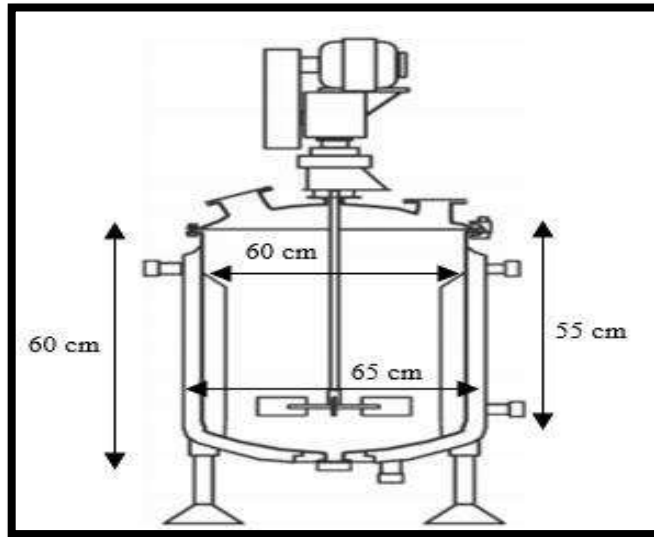


Ilustración 24-3: Dimensionamiento del reactor 1 para el proceso de obtención

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

- Cálculos para el sistema de agitado
- ✓ Cálculo del diámetro del rodete

$$\phi_R = \frac{\phi_T}{3}$$

$$\phi_R = \frac{60 \text{ cm}}{3}$$

$$\phi_R = 20 \text{ cm}$$

- ✓ Cálculo de la longitud del brazo

$$L = \frac{1}{2} * (\phi_T)$$

$$L = \frac{1}{2} * (60 \text{ cm})$$

$$L = 30 \text{ cm}$$

Debido a los 55 cm de altura del tanque la longitud del brazo debe ser más grande por lo que se establece el valor de 45 cm.

✓ **Distancia del rodete y el fondo del tanque**

$$X = h_{\text{Tanque}} - L$$

$$X = 55 \text{ cm} - 45 \text{ cm}$$

$$X = 10 \text{ cm}$$

✓ **Cálculo de la altura del rodete**

$$\frac{h_{\text{rodete}}}{\phi_T} = \frac{1}{3}$$

$$h_{\text{rodete}} = \frac{\phi_T}{3}$$

$$h_{\text{rodete}} = \frac{60 \text{ cm}}{3}$$

$$h_{\text{rodete}} = 20 \text{ cm}$$

✓ **Cálculo del alto de la paleta**

$$h_{\text{paleta}} = \frac{1}{5} * L$$

$$h_{\text{paleta}} = \frac{1}{5} * 30 \text{ cm}$$

$$h_{\text{paleta}} = 6 \text{ cm}$$

✓ **Cálculo del ancho de la paleta**

$$W_{\text{paleta}} = \frac{1}{4} * L$$

$$W_{\text{paleta}} = \frac{1}{4} * 30 \text{ cm}$$

$$W_{\text{paleta}} = 7.5 \text{ cm}$$

✓ **Cálculo del número de Reynolds**

$$N_{RE} = \frac{\phi_T^2 * N * \rho}{\mu}$$

Datos:

$$\mu = 0.35 \text{ Pa.s}$$

$$\rho = 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$N_{RE} = \frac{(0.6 \text{ m})^2 * 2 \frac{\text{rev}}{\text{s}} * 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.35 \text{ Pa.s}}$$

$$N_{RE} = 1.75 \times 10^3$$

✓ **Cálculo de la potencia del agitador**

Este dato es sencillo de determinar, gracias a la gráfica del número de potencia N_p (Anexo I) en función del número de Reynolds obtenido.

$$N_p = 0.39$$

$$N_p = \frac{P}{\rho * N^3 * \phi T^5}$$

$$P = (N_p)(\rho * N^3 * \phi T^5)$$

$$P = (0.39) \left[\left(850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * (2)^3 * (0.60 \text{ m})^5 \right]$$

$$P = 206.22 \text{ HP}$$

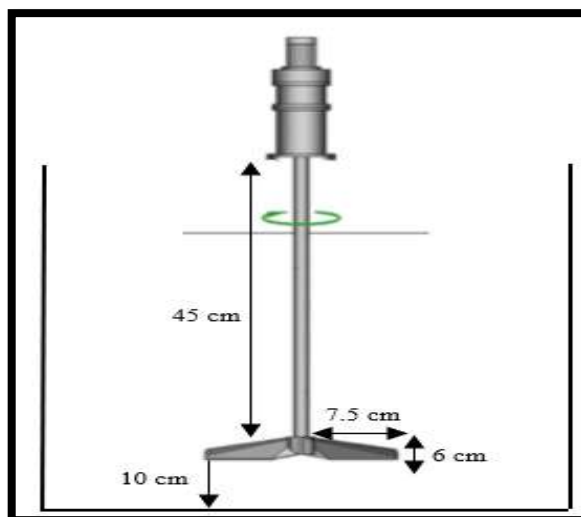


Ilustración 25-3: Dimensionamiento del agitador para el reactor 1

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

3.5.2. Diseño del reactor 2

✓ Cálculo del volumen del cilindro del reactor

Este reactor se encargará de realizar la reacción de transesterificación en donde se alimenta el aceite a partir del sebo con el metóxido de potasio preparado en el reactor 1, siendo su capacidad de producción de 688 L, de tal forma que su diseño es similar al reactor anterior, entonces:

Tomando como referencia la cantidad de materia prima se escoge el diámetro de 96 cm para el reactor en donde se producirá la reacción de transesterificación.

$$V1 = \frac{\pi * \phi_T^3}{4}$$

$$V1 = \frac{\pi * (96 \text{ cm})^3}{4}$$

$$V1 = 694870.03 \text{ cm}^3$$

$$V1 = 694.87 \text{ L}$$

✓ **Cálculo de la altura del reactor**

$$h_r = \frac{V}{\pi * r^2}$$

$$h_r = \frac{694870.03 \text{ cm}^3}{\pi * (48 \text{ cm})^2}$$

$$h_r = 96.00 \text{ cm}$$

✓ **Cálculo del diámetro y volumen de la cámara de calefacción**

Para diseñar esta sección Palmay & Espinoza (2009, pp. 51–61) recomiendan que el diámetro del medio de calentamiento sea aumentado en 2.5 cm por cada lado del diámetro del cilindro del reactor, teniendo:

$$\phi = 96 \text{ cm} + 5 \text{ cm}$$

$$\phi = 101 \text{ cm}$$

Fórmula para el volumen total:

$$V_{c.c.} = \pi * r^2 * h_r$$

$$V_{c.c.} = \pi * (50.50 \text{ cm})^2 * 96 \text{ cm}$$

$$V_{c.c.} = 769.14 \text{ L}$$

✓ **Cálculo de la altura de la cámara de calefacción**

Por seguridad y condición técnica específicamente para el proceso de transesterificación, la altura de este parámetro debe ser 2.5 cm más grande que la del reactor, entonces:

$$h_{c.c.} = h_r + 2.50 \text{ cm}$$

$$h_{c.c.} = 96 \text{ cm} + 2.50 \text{ cm}$$

$$h_{c.c.} = 98.50 \text{ cm}$$

✓ **Cálculo total del volumen de la cámara de calefacción**

$$V_{Total} = V_{c.c} - V_1$$

$$V_{Total} = 769.14 L - 694.87 L$$

$$V_{Total} = 74.27 L$$

• **Dimensionamiento del reactor 2**

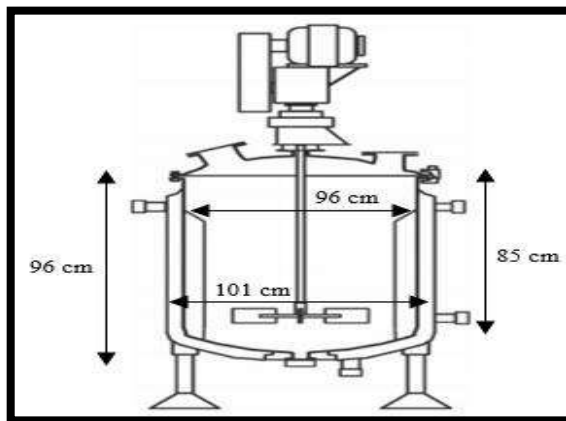


Ilustración 26-3: Dimensionamiento del reactor 2
para el proceso de obtención

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

• **Cálculos para el sistema de agitado**

✓ **Cálculo del diámetro del rodete**

$$\phi_R = \frac{\phi_T}{3}$$

$$\phi_R = \frac{96 \text{ cm}}{3}$$

$$\phi_R = 32 \text{ cm}$$

✓ **Cálculo de la longitud del brazo**

$$L = \frac{1}{2} * (\phi_T)$$

$$L = \frac{1}{2} * (96 \text{ cm})$$

$$L = 48 \text{ cm}$$

La altura del tanque se establece en 85 cm, mientras que la longitud del brazo debe ser mayor de tal forma que esta mide 70 cm.

✓ **Distancia del rodete y el fondo del tanque**

$$X = h_{\text{tanque}} - L$$

$$X = 85 \text{ cm} - 70 \text{ cm}$$

$$X = 15 \text{ cm}$$

✓ **Cálculo de la altura del rodete**

$$h_{\text{rodete}} = \frac{\phi_T}{3}$$

$$h_{\text{rodete}} = \frac{96 \text{ cm}}{3}$$

$$h_{\text{rodete}} = 32 \text{ cm}$$

✓ **Cálculo del alto de la paleta**

$$h_{\text{paleta}} = \frac{1}{5} * L$$

$$h_{\text{paleta}} = \frac{1}{5} * 48 \text{ cm}$$

$$h_{\text{paleta}} = 9.60 \text{ cm}$$

✓ **Cálculo del ancho de la paleta**

$$W_{paleta} = \frac{1}{4} * L$$

$$W_{paleta} = \frac{1}{4} * 48 \text{ cm}$$

$$W_{paleta} = 12 \text{ cm}$$

✓ **Cálculo del número de Reynolds**

$$N_{RE} = \frac{\phi_T^2 * N * \rho}{\mu}$$

Datos:

$$\mu = 0.94 \times 10^{-2} \text{ Pa.s}$$

$$\rho = 1050 \text{ kg/m}^3$$

$$N_{RE} = \frac{(0.48 \text{ m})^2 * 2 \frac{\text{rev}}{\text{s}} * \left(1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{0.94 \times 10^{-2} \text{ Pa} * \text{s}}$$

$$N_{RE} = 5.15 \times 10^4$$

✓ **Cálculo de la potencia del agitador**

Este dato es sencillo de determinar, gracias a la gráfica del N_p (número de potencia) en función del número de Reynolds obtenido.

$$N_p = 0.39$$

$$N_p = \frac{P}{\rho * N^3 * \phi T^5}$$

$$P = (N_p)(\rho * N^3 * \phi T^5)$$

$$P = (0.39) \left(1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * (2)^3 * (0.48 \text{ m}^5)$$

$$P = 83.47 \text{ HP}$$

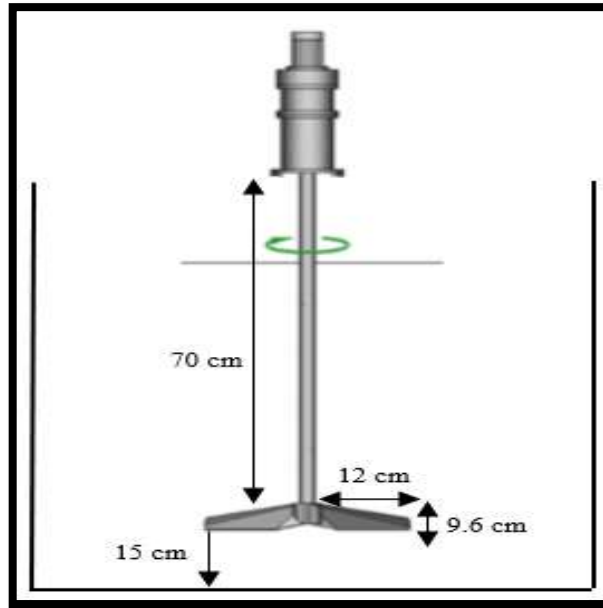


Ilustración 27-3: Dimensionamiento del agitador para el reactor 2

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

3.5.3. Diseño del decantador

✓ Cálculo de la fuerza de arrastre

Para determinar cálculos a partir de este parámetro se debe considerar la siguiente información:

$$\phi = 0.60 \text{ m}$$

$$\phi_i = 0.55 \text{ m}$$

$$\rho = 1050 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 0.09 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.033 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\beta_0 = 0.90$$

$$F_A = C_A * A * \rho * \left[\frac{v}{2g} \right]$$

$$F_A = 1 * 9.82 \times 10^{-6} \text{ m}^2 * 1050 \text{ kg/m}^3 * \left[\frac{(0.09 \text{ m/s})^2}{(2) \left(9.814 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} \right]$$

$$F_A = 0.31 \text{ kg}$$

✓ **Cálculo del área del decantador**

$$A_D = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

$$A_D = \frac{\pi * (0.6 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_D = 0.28 \text{ m}^2$$

✓ **Cálculo de la velocidad de flujo**

$$v_{flujo} = \frac{Q}{A_D}$$

$$v_{flujo} = \frac{0.03 \text{ m}^3/\text{s}}{0.28 \text{ m}^2}$$

$$v_{flujo} = 0.12 \text{ m/s}$$

✓ **Cálculo del alto y ancho de la entrada**

$$h_E = \frac{1}{2} * \phi$$

$$h_E = \frac{1}{2} * 0.6 \text{ m}$$

$$h_E = 0.3 \text{ m}$$

$$W_E = \frac{1}{5} * \phi$$

$$W_E = \frac{1}{5} * 0.6 \text{ m}$$

$$W_E = 0.12 \text{ m}$$

✓ **Cálculo de la altura del decantador (parte cilíndrica)**

$$h_c = \frac{4}{3} * \phi$$

$$h_c = \frac{4}{3} * 0.6 \text{ m}$$

$$h_c = 0.8 \text{ m}$$

✓ **Cálculo de la altura del decantador (parte cónica)**

$$h_{cónica} = \frac{5}{2} * \phi$$

$$h_{cónica} = \frac{5}{2} * 0.6 \text{ m}$$

$$h_{cónica} = 1.5 \text{ m}$$

$$h_{Total} = h_c + h_{cónica}$$

$$h_{Total} = (0.8 + 1.5) \text{ m}$$

$$h_{Total} = 2.3 \text{ m}$$

✓ **Cálculo del tiempo de retención**

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$t = \frac{688 \text{ L}_{Mezcla}}{33 \text{ L/s}}$$

$$t = 20.85 \text{ s}$$

✓ **Cálculo del volumen del decantador**

$$V_{Decantador} = 201.42 * \frac{\phi_i^2 * h}{\beta_0 * t}$$
$$V_{Decantador} = 201.42 * \frac{(0.55 \text{ m})^2 * 3.68 \text{ m}}{0.90 * 0.35 \text{ min}}$$

$$V_{Decantador} = 711.81 \text{ m}^3$$

✓ **Cálculo del diámetro de la boquilla de salida**

$$\phi_{boq.s} = 0.375 * \phi$$

$$\phi_{boq.s} = 0.375 * 0.6 \text{ m}$$

$$\phi_{boq.s} = 0.23 \text{ m}$$

En este proceso es donde se separan las fases, obteniendo biodiésel y glicerina, en cantidades de 0.48 m^3 (419.27 kg) y 0.14 m^3 (129.29 kg), respectivamente; la glicerina pasa directamente a un tanque de almacenamiento y el biodiésel continúa con el tratamiento.

• **Dimensionamiento del decantador**

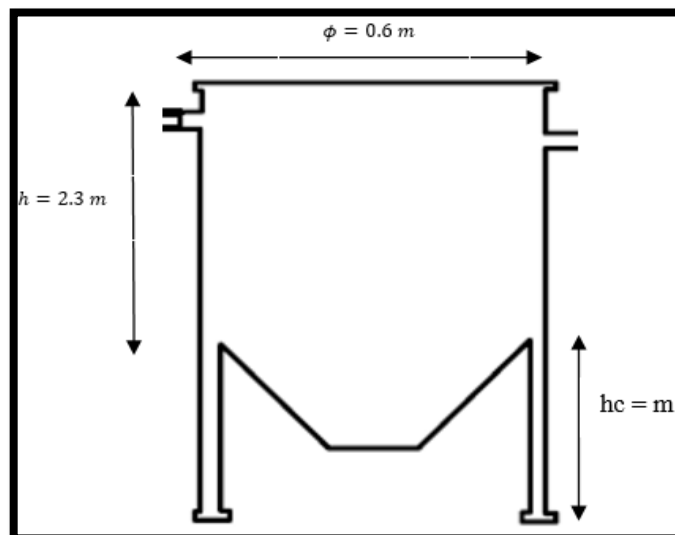


Ilustración 28-3: Dimensionamiento para el decantador

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

3.5.4. Diseño del tanque de lavado

Este tanque tendrá una salida y una entrada, para el ingreso del biodiésel y la salida del agua residual, respectivamente, por lo que se debe tomar en cuenta el diámetro del tanque, 0.9 m, así como de la capacidad neta de operación $V = 0.60 \text{ m}^3$.

✓ Cálculo del nivel total de operación

$$V = \frac{\pi * \phi_i^2}{4} * N_T$$

$$N_T = \frac{V}{\frac{\pi * \phi_i^2}{4}}$$

$$N_T = \frac{0.688 \text{ m}^3}{\frac{\pi * (0.85 \text{ m})^2}{4}}$$

$$N_T = 1.21 \text{ m}$$

✓ Cálculo de la altura del tanque

Para determinar los siguientes parámetros es importante mencionar que por seguridad de diseño es necesario fijar 80 cm como nivel mínimo de llenado ya que un tanque de almacenamiento de combustible no debe quedar vacío en su totalidad por diversos factores y el mismo valor como altura entre el tanque y el techo, definido por $h_{T.T}$, por lo que:

$$L_N = N_T + L_{min}$$

$$L_N = 1.21 \text{ m} + 0.80 \text{ m}$$

$$L_N = 2.01 \text{ m}$$

Para conocer la altura o espacio libre (h_L) se define al nivel normal de llenado como 1 m por debajo del límite máximo de llenado, entonces:

$$L_N = L_{Máx} - 1$$

$$L_{Máx} = L_N + 1$$

$$L_{M\acute{a}x} = 2.01 \text{ m} + 1$$

$$L_{M\acute{a}x} = 3.01 \text{ m}$$

$$h_L = L_N - h_{T.T}$$

$$h_L = 2.01 \text{ m} - 0.80 \text{ m}$$

$$h_L = 1.21 \text{ m}$$

$$h_{Tanque} = L_{M\acute{a}x} + h_L$$

$$h_{Tanque} = 3.01 \text{ m} + 1.21 \text{ m}$$

$$h_{Tanque} = 4.22 \text{ m}$$

✓ **Cálculo de la capacidad máxima del tanque**

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{\pi * \phi_i^2}{4} * (L_{M\acute{a}x})$$

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{\pi * (0.85 \text{ m})^2}{4} * (3.01 \text{ m})$$

$$V_{m\acute{a}x} = 1.71 \text{ m}^3$$

✓ **Cálculo de la capacidad geométrica del tanque**

$$V_g = \frac{\pi * \phi_i^2}{4} * (h_{Tanque})$$

$$V_g = \frac{\pi * (0.85 \text{ m})^2}{4} * (4.22 \text{ m})$$

$$V_g = 2.39 \text{ m}^3$$

✓ **Cálculo de la capacidad mínima del tanque**

$$V_{\min} = \frac{\pi * \phi_i^2}{4} * (L_{\min})$$

$$V_{\min} = \frac{\pi * (0.85 \text{ m})^2}{4} * (0.80 \text{ m})$$

$$V_{\min} = 0.45 \text{ m}^3$$

✓ **Cálculo del área del tanque**

$$A_T = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

$$A_T = \frac{\pi * (0.90 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_T = 0.64 \text{ m}^2$$

✓ **Cálculo de la geometría de la cubierta del tanque**

Diámetro nominal en metros	Espesor mínimo en milímetros
< 15.24	4.76
15.24 < 38.576	6.35
38.576 < 60.96	7.93
> 60.96	9.52

Ilustración 29-3: Parámetros para la geometría de la cubierta del tanque

Fuente: Carreño & Hernández (2008, p. 63)

$$0.80 * \phi \leq R_T \leq 1.20 * \phi$$

$$0.80 * 0.90 \text{ m} \leq R_T \leq 1.20 * 0.90 \text{ m}$$

$$0.72 \text{ m} \leq R_T \leq 1.08 \text{ m}$$

$$R_T = 0.90 \text{ m}$$

$$\theta = \arcsen \left(\frac{\phi}{2 * R_T} \right)$$

$$\theta = \arcsen\left(\frac{0.90 \text{ m}}{2 * 0.90 \text{ m}}\right)$$

$$\theta = 30^\circ$$

$$\theta_2 = 180 - 90 - \theta$$

$$\theta_2 = 180 - 90 - 30^\circ$$

$$\theta_2 = 60^\circ$$

$$h_{techo} = R_T * (1 - \cos(\theta_2))$$

$$h_{techo} = 0.9 \text{ m} * (1 - \cos(60))$$

$$h_{techo} = 0.45 \text{ m}$$

✓ **Cálculo de la presión total del tanque**

$$P_{Tanque} = \frac{11265408 * A * \text{Tan}\theta}{\phi^2} + (8 * th)$$

$$P_{Tanque} = \frac{11265408 * 0.64 \text{ m}^2 * \text{Tan}(30)}{(15.24 \text{ m})^2} + (8 * 4.76x10^{-3} \text{ m})$$

$$P_{Tanque} = 1.79x10^4 \text{ m}$$

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{1275.8 * W}{\phi^2} + (8 * th)$$

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{1275.8 * 685 \text{ kg}}{(0.9 \text{ m})^2} + (8 * 4.76x10^{-3} \text{ m})$$

$$P_{m\acute{a}x} = 1.07x10^6 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$$

La presión del tanque calculada está dentro del parámetro establecido, al ser menor que la presión máxima permisible.

- **Aspersor de agua**

Los parámetros para tomar en cuenta en este dimensionamiento es el diámetro que tendrá el tanque ya que en función de este dato se asumirá la longitud de la tubería adicionando el espesor de pared del tubo de 2 cm, un diámetro de 0.09 m, el volumen de 0.48 m³ de biodiésel.

- ✓ **Cálculo del volumen del tubo**

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * (0.05 \text{ m})^2 * 0.90 \text{ m}$$

$$V = 5.73 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

- **Dimensionamiento del tanque de lavado**

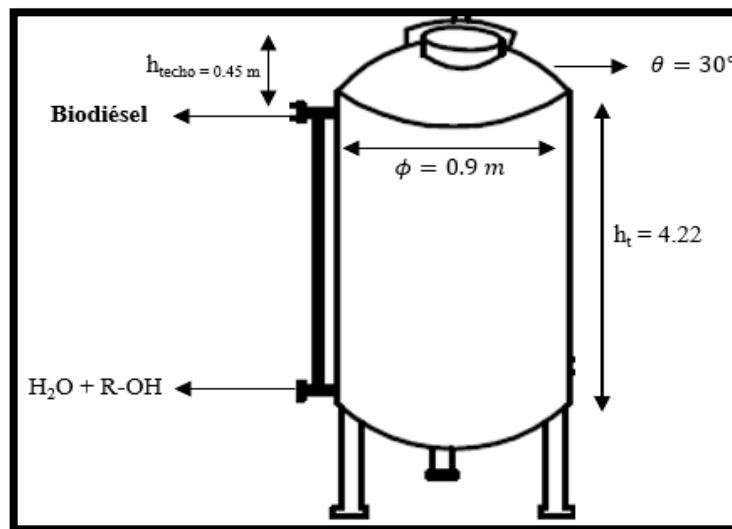


Ilustración 30-3: Dimensionamiento del tanque de lavado

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

- **Corriente de aire caliente por medio de un ventilador**

Se coloca unos ductos de aire dentro del tanque de lavado ya que después de separar el agua del biodiésel este requiere de 110°C de temperatura durante 12 minutos para secar el agua aún presente.

✓ **Parámetros para los ductos de aire**

Tabla 19-3: Parámetros para los ductos de aire

Parámetro	Valor	Unidades
Espesor	0.002	m
Diámetro del ducto de aire	0.2	m
Ducto horizontal	1	m
Ducto vertical (fuente)	4.22 m	m
Coefficiente de rugosidad del acero inoxidable N°304	$\varepsilon = 1.5 \times 10^{-4}$	m
Viscosidad cinemática del aire	1.516×10^{-5}	m ² /s

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

✓ **Cálculo de la velocidad de operación (ventilador)**

$$w_{HT} = w_{Base (100^\circ C)} * Ft$$

$$w_{HT} = 2677 \text{ rpm} * 0.67$$

$$w_{HT} = 1793.59 \approx 1794 \text{ rpm}$$

$$v = \frac{2 * \pi * r * w}{60}$$

$$v = \frac{2 * \pi * (0.1 \text{ m}) * 1794}{60 \text{ s}}$$

$$v = 18.79 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

✓ **Cálculo del caudal de aire (ventilador)**

$$Q = \frac{V * \pi * \phi^2}{4}$$

$$Q = \frac{18.79 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \pi * (0.20 \text{ m})^2}{4}$$

$$Q = 0.59 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

✓ **Cálculo de la presión total (ventilador)**

$$Re = \frac{4 * Q}{\pi * v * \phi}$$

$$Re = \frac{4 * 0.59 \frac{m^3}{s}}{\pi * 1.52x10^{-5} \frac{m^2}{s} * 0.20 m}$$

$$Re = 2.48x10^5$$

$$f = \frac{0.25}{[\log\left(\frac{\varepsilon}{3.71 * \phi} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)]^2}$$

$$f = \frac{0.25}{[\log\left(\frac{1.5x10^{-4} m}{3.71 * 0.2 m} + \frac{5.74}{(2.48x10^5)^{0.9}}\right)]^2}$$

$$f = 0.02$$

$$hf_1 = f * \rho_g * \frac{h_T * 8 * Q^2}{\pi^2 * g * \phi^5}$$

$$hf_1 = 0.02 * 1.20 \text{ kg/m}^3 * \frac{4.22 m * 8 * \left(0.59 \frac{m^3}{s}\right)^2}{\pi^2 * (0.20 m)^5}$$

$$hf_1 = 85.12 \text{ Pa}$$

$$hf_2 = k * \frac{\rho_g}{2} * V^2$$

$$hf_2 = 0.22 * \frac{1.20 \text{ kg/m}^3}{2} * \left(18.79 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$hf_2 = 46.76 \text{ Pa}$$

$$P_T = P_{Tanque} + \frac{\rho_g}{2} (\mu^2) + hf_1 + hf_2 + Z\rho_g g$$

$$P_T = 1.79 \times 10^4 \text{ Pa} + \frac{1.20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2} * (1.83 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}})^2 + 85.12 \text{ Pa} + 46.76 \text{ Pa} + 4.22 \text{ m} \left(1.20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$P_T = 18081.74 \text{ Pa}$$

✓ **Cálculo del dimensionamiento del sistema de aire caliente**

Se requiere de la temperatura de 110°C durante 12 minutos para secar el biocombustible a la temperatura ambiente de 20°C dentro del ducto, estableciendo parámetros como:

Tabla 20-3: Parámetros para el dimensionamiento del sistema de aire caliente

Parámetro	Valor	Unidades
Humedad relativa de la ciudad de Ambato	79	%
Humedad del biodiésel	32 – 70	%
Poder calórico del biodiésel	39701.96	KJ/kg
Calor específico del agua	1	kcal/kg°C
Calor específico del aire a 20°C	0.242	kcal/kg°C
Potencia del ventilador	235.1	HP

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

• **Dimensionamiento de la etapa de secado**

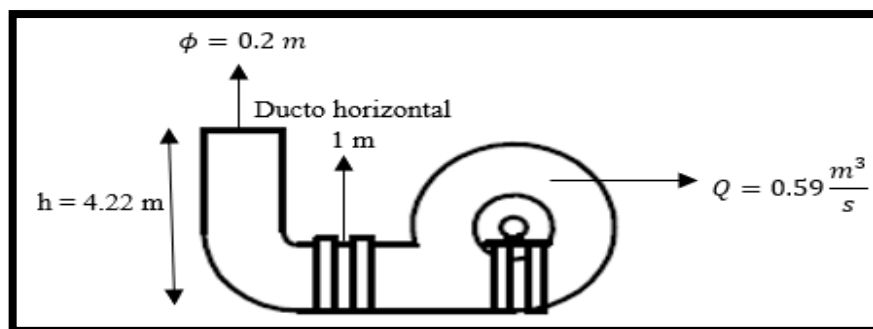


Ilustración 31-3: Dimensionamiento de la etapa de secado

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

3.5.5. Diseño de la etapa de filtración

Criterios de Diseño	Valores Recomendados
Altura de arena (m)	
Inicial	1.00
Mínima	0.50
Diámetro efectivo (mm)	0.15 - 0.35
Coefficiente de uniformidad	
Aceptable	< 3
Deseable	1.8 - 2.0
Altura del lecho de soporte, incluye drenaje (m)	0.1 - 0.3

Ilustración 32-3: Parámetros para el diseño de la etapa filtrante

Fuente: OMS (2005, p. 19)

✓ Cálculo del caudal de diseño

$$Q_{Diseño} = \frac{Q_{Total}}{N}$$
$$Q_{Diseño} = \frac{0.03 \text{ m}^3/\text{s}}{2}$$
$$Q_{Diseño} = 0.02 \text{ m}^3/\text{s}$$

✓ Cálculo del área superficial

Se debe tomar en cuenta que la velocidad de filtración se encuentra en el rango de variación de 0.1 y 0.2 m/h en el caso de agua, para biodiésel Wilharm (2010, p. 138) establece en el artículo publicado en la revista PALMAS que la velocidad es de 1.2 m/h aproximadamente.

$$A_s = \frac{Q_{Diseño}}{N * v_f}$$
$$A_s = \frac{0.02 \text{ m}^3/\text{s}}{2 * 0.02 \text{ m/s}}$$
$$A_s = 0.41 \text{ m}^2$$

✓ **Cálculo del coeficiente de mínimo costo**

$$K = \frac{2 * N}{N + 1}$$

$$K = \frac{2 * 2}{2 + 1}$$

$$K = 1.33$$

✓ **Cálculo de la longitud de unidad**

$$L = (A_s * K)^{0.5}$$

$$L = (0.41m^2 * 1.33)^{0.5}$$

$$L = 0.74 m$$

✓ **Cálculo del ancho de unidad**

$$b = \left(\frac{A_s}{K}\right)^{0.5}$$

$$b = \left(\frac{0.41m^2}{1.33}\right)^{0.5}$$

$$b = 0.56 m$$

✓ **Cálculo de filtración real**

$$v_{Real} = \frac{Q_{Diseño}}{2 * A_s * b}$$

$$v_{Real} = \frac{0.02 m^3/s}{2 * 0.41m^2 * 0.56 m}$$

$$v_{Real} = 0.04 \frac{m}{s}$$

- Dimensionamiento del filtro de arena y grava

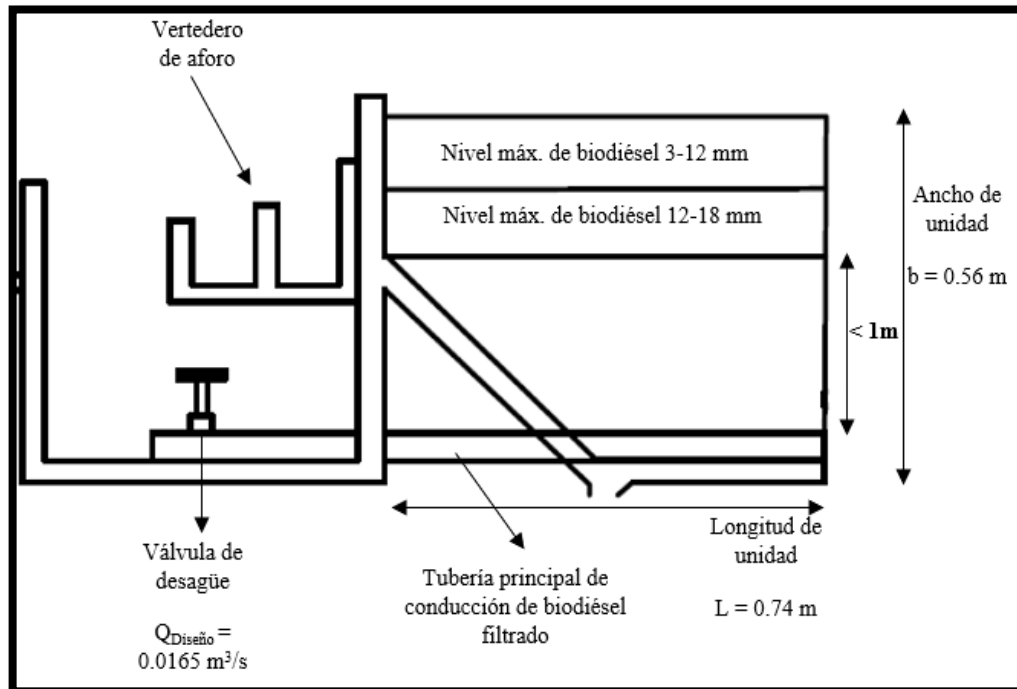


Ilustración 33-3: Dimensionamiento del filtro de arena y grava

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

3.5.6. Diseño de la columna de destilación 1

- Flujos y velocidad de flujo de la parte superior de la columna

- ✓ Cálculo del flujo de alimentación (Agua + R-OH)

$$\dot{F} = \frac{F}{M_F}$$

$$\dot{F} = \frac{400 \text{ kg/h}}{23.63 \text{ kg/kmol}}$$

$$\dot{F} = 16.93 \text{ kmol/h}$$

✓ **Cálculo del flujo de destilado (metanol anhidro)**

$$\dot{D} = \dot{F} * \frac{x_F - x_w}{x_D - x_w}$$

$$\dot{D} = 16.93 \frac{kmol}{h} * \frac{0.20 - 0.0015 (\% \text{ etanol})}{0.85 - 0.0015 (\% \text{ etanol})}$$

$$\dot{D} = 3.96 \frac{kmol}{h} * \frac{41.86 \text{ kg}}{1 \text{ kmol}}$$

$$\dot{D} = 165.77 \text{ kg/h}$$

✓ **Cálculo del flujo de fondo**

$$\dot{W} = \dot{F} - \dot{D}$$

$$\dot{W} = 16.93 - 3.96 \text{ kmol/h}$$

$$\dot{W} = 12.97 \frac{kmol}{h} * \frac{18.07 \text{ kg}}{1 \text{ kmol}}$$

$$\dot{W} = 234.37 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

✓ **Cálculo del flujo de vapor en la parte superior de la columna**

$$V = [(R + 1) * \dot{D}] * M_D$$

$$V = \left[(2.3 + 1) * 3.96 \frac{kmol}{h} \right] * 41.86 \text{ kg/kmol}$$

$$V = 547.03 \text{ kg/h}$$

✓ **Cálculo del flujo condensado en la parte superior de la columna**

$$L = (R * \dot{D}) * M_D$$

$$L = \left(2.3 * 3.96 \frac{kmol}{h} \right) * 41.86 \text{ kg/kmol}$$

$$L = 381.26 \text{ kg/h}$$

- **Columna empacada**

- ✓ **Cálculo del punto de inundación**

$$\lambda_o = \frac{L * \rho_v}{\rho_L * V}$$

$$\lambda_o = \frac{381.26 \text{ kg/h} * 1.21 \text{ kg/m}^3}{786 \text{ kg/m}^3 * 547.03 \text{ kg/h}}$$

$$\lambda_o = 1.07 \times 10^{-3}$$

- ✓ **Cálculo del líquido retenido en el punto de inundación**

$$h_{L,Fl}^{\circ} = \frac{\sqrt{1.44 \lambda_o^2 + 0.8 \lambda_o(1 - \lambda_o)} - 1.2 \lambda_o}{0.4(1 - \lambda_o)}$$

$$h_{L,Fl}^{\circ} = \frac{\sqrt{1.44 * (1.07 \times 10^{-3})^2 + 0.8 * (1.07 \times 10^{-3}) * (1 - 1.07 \times 10^{-3})} - 1.2 * 1.07 \times 10^{-3}}{0.4(1 - 1.07 \times 10^{-3})}$$

$$h_{L,Fl}^{\circ} = 0.07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$$

- ✓ **Cálculo del líquido retenido basado en una columna vacía**

$$h_L = h_{L,Fl}^{\circ} * \varepsilon$$

$$h_L = 0.07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} * 0.96$$

$$h_L = 0.07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$$

- ✓ **Cálculo del diámetro hidráulico del lecho empacado**

$$\phi_h = 4 * \frac{\varepsilon}{a}$$

$$\phi_h = 4 * \frac{0.96}{215 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}}$$

$$\phi_h = 0.02 \text{ m}$$

✓ **Cálculo del diámetro de las gotas formadas**

$$\phi_G = \sqrt{\frac{\sigma}{\Delta\rho * g}}$$

$$\phi_G = \sqrt{\frac{0.03}{(786 - 1.21 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * 9.81 \text{ m/s}^2}}$$

$$\phi_G = 1.80 \times 10^{-3} \text{ m}$$

✓ **Cálculo de la velocidad del vapor en el punto de inundación**

$$v_{V,Fl} = 0.566 \psi_{Fl}^{-\frac{1}{6}} \left(\frac{\phi_h}{\phi_G}\right)^{\frac{1}{4}} * \varepsilon^{\frac{6}{5}} \left(\frac{\phi_G * \Delta\rho * g}{\rho_v}\right)^{\frac{1}{2}} * (1 - h_{L,Fl}^{\circ})^{3.5}$$

$$v_{V,Fl} = 0.566 * 2.42 \text{ m}^{-\frac{1}{6}} \left(\frac{0.02 \text{ m}}{1.80 \times 10^{-3} \text{ m}}\right)^{\frac{1}{4}} * (0.96)^{\frac{6}{5}} \left(\frac{1.80 \times 10^{-3} \text{ m} * (786 - 1.21 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * 9.81 \text{ m/s}^2}{1.21 \text{ kg/m}^3}\right)^{\frac{1}{2}} * (1 - 0.07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3})^{3.5}$$

$$v_{V,Fl} = 2.22 \text{ m/s}$$

✓ **Cálculo de la velocidad de vapor**

$$v_V = v_{V,Fl} * \frac{F_v}{F_{v,Fl}}$$

$$v_V = 2.22 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.75$$

$$v_V = 1.67 \text{ m/s}$$

✓ **Cálculo del área de la sección transversal**

$$A_s = \frac{V}{3600 * \rho_v * v_V}$$

$$A_s = \frac{547.03 \text{ kg/h}}{3600 * 1.21 \text{ kg/m}^3 * 1.67 \text{ m/s}}$$

$$A_s = 0.08 \text{ m}^2$$

✓ **Cálculo del diámetro de la columna empacada**

$$\phi_c = \sqrt{\frac{4 * A_s}{\pi}}$$

$$\phi_c = \sqrt{\frac{4 * 0.08 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$\phi_c = 0.32 \text{ m}$$

• **Capacidad de Vapor**

✓ **Cálculo del factor de capacidad de vapor en el punto de inundación**

$$F_{V,Fl} = v_{V,Fl} * \sqrt{\rho_v}$$

$$F_{V,Fl} = 2.22 \text{ m/s} * \sqrt{1.21 \text{ kg/m}^3}$$

$$F_{V,Fl} = 2.44 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \sqrt{\text{kg/m}^3}$$

✓ **Cálculo del factor de capacidad de vapor**

$$F_V = v_V * \sqrt{\rho_v}$$

$$F_V = 1.67 \text{ m/s} * \sqrt{1.21 \text{ kg/m}^3}$$

$$F_V = 1.84 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \sqrt{\text{kg/m}^3}$$

- **Carga específica del líquido**

$$\mu_L = \frac{L}{3600 * \rho_L * A_s}$$

$$\mu_L = \frac{381.26 \text{ kg/h}}{3600 * 786 \text{ kg/m}^3 * 0.08 \text{ m}^2}$$

$$\mu_L = 1.68 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$$

- **Número de Reynolds del líquido**

$$Re_L = \frac{\mu_L * \rho_L}{n_L * a}$$

$$Re_L = \frac{1.68 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h} * 786 \text{ kg/m}^3}{4.95 \times 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{ms}} * 215 \text{ m}^2\text{m}^{-3}}$$

$$Re_L = 12.41$$

- **Altura de la columna**

- ✓ **Cálculo del diámetro de la partícula**

$$\phi_p = 6 * \frac{1 - \varepsilon}{a}$$

$$\phi_p = 6 * \frac{1 - 0.96}{215 \text{ m}^2\text{m}^{-3}}$$

$$\phi_p = 1.23 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- ✓ **Cálculo del factor de pared**

$$K = \left(1 + \frac{2}{3} * \frac{1}{1 - \varepsilon} * \frac{\phi_p}{\phi_c}\right)^{-1}$$

$$K = \left(1 + \frac{2}{3} * \frac{1}{1 - 0.96} * \frac{1.23 \times 10^{-3} \text{ m}}{0.32 \text{ m}}\right)^{-1}$$

$$K = 0.94$$

✓ **Número de Reynolds de vapor**

$$Re_v = \frac{\mu_v * \phi_p}{(1 - \varepsilon) * V_v} * K$$

$$Re_v = \frac{1.67 \text{ m/s} * 1.23 \times 10^{-3} \text{ m}}{(1 - 0.96) * 9.0 \times 10^{-6}} * 0.94$$

$$Re_v = 4875.89$$

✓ **Cálculo de la altura de la torre**

$$h = \frac{\Delta\rho}{\left(\frac{\Delta\rho}{h}\right)}$$

$$h = \frac{3447.13 \text{ Pa}}{376.49 \text{ Pa/m}}$$

$$h = 9.16 \text{ m}$$

✓ **Cálculo del diámetro de la columna**

$$\phi_D = \frac{[4.82 * (\rho_L - \rho_v)^{0.5} * \Delta\mu^{-0.06}]}{a}$$

$$\phi_D = \frac{[4.82 * (786 - 1.21 \text{ kg/m}^3)^{0.5} * (1.01 \times 10^{-3} - 4.95 \times 10^{-4})^{-0.06}]}{215}$$

$$\phi_D = 0.99 \text{ m}$$

- Dimensionamiento de la columna de destilación 1 (agua - metanol)

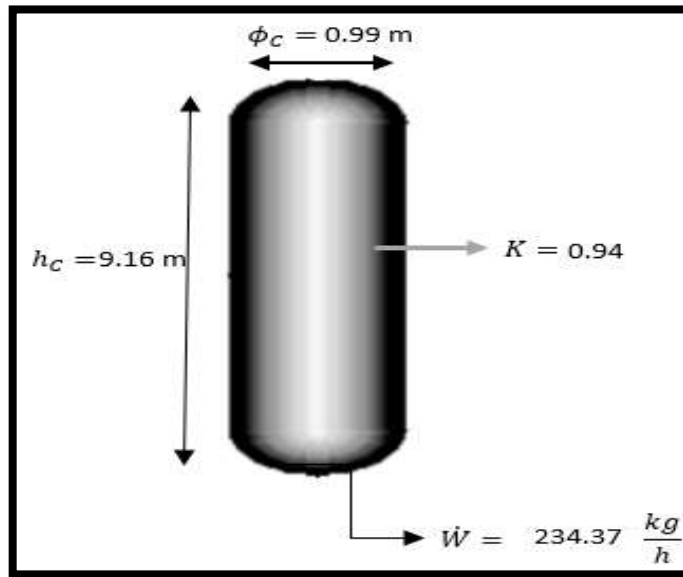


Ilustración 34-3: Dimensionamiento de la columna de destilación 1 (agua - metanol)

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

3.5.7. Diseño de la columna de destilación 2

- Flujos y velocidad de flujo de la parte superior de la columna

- ✓ Cálculo del flujo de alimentación (Agua + R-OH)

$$\dot{F} = \frac{F}{M_F}$$

$$\dot{F} = \frac{1.08 \times 10^5 \text{ kg/h}}{300 \text{ kg/kmol}}$$

$$\dot{F} = 360 \text{ kmol/h}$$

- ✓ Cálculo del flujo de destilado (Biodiésel)

$$\dot{D} = \dot{F} * \frac{x_F - x_w}{x_D - x_w}$$

$$\dot{D} = 360 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} * \frac{1 - 0.0015 (\% \text{ etanol})}{0.85 - 0.0015 (\% \text{ etanol})}$$

$$\dot{D} = 423.64 \text{ kmol/h}$$

$$\dot{D} = 423.64 \text{ kg/h}$$

✓ **Cálculo del flujo de fondo**

$$\dot{W} = \dot{D} - \dot{F}$$

$$\dot{W} = 423.64 - 360 \left(\frac{\text{kmol}}{\text{h}} \right)$$

$$\dot{W} = 63.64 \frac{\text{kmol}}{\text{h}}$$

$$\dot{W} = 63.64 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

✓ **Cálculo del flujo de vapor en la parte superior de la columna**

$$V = [(R + 1) * \dot{D}] * M_D$$

$$V = \left[(2.3 + 1) * 423.64 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \right] * 293 \text{ kg/kmol}$$

$$V = 4.10 \times 10^5 \text{ kg/h}$$

✓ **Cálculo del flujo condensado en la parte superior de la columna**

$$L = (R * \dot{D}) * M_D$$

$$L = \left(2.3 * 423.64 \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \right) * 293 \text{ kg/kmol}$$

$$L = 2.85 \times 10^5 \text{ kg/h}$$

- **Columna empacada**

- ✓ **Cálculo del punto de inundación**

$$\lambda_o = \frac{L * \rho_v}{\rho_L * V}$$

$$\lambda_o = \frac{2.85 \times 10^5 \frac{kg}{h} * 1.21 \text{ kg/m}^3}{871 \frac{kg}{m^3} * 1.20 \times 10^8 \text{ kg/h}}$$

$$\lambda_o = 3.3 \times 10^{-6}$$

- ✓ **Cálculo del líquido retenido en el punto de inundación**

$$h_{L,Fl}^{\circ} = \frac{\sqrt{1.44 \lambda_o^2 + 0.8 \lambda_o (1 - \lambda_o)} - 1.2 \lambda_o}{0.4(1 - \lambda_o)}$$

$$h_{L,Fl}^{\circ} = \frac{\sqrt{1.44 * (3.3 \times 10^{-6})^2 + 0.8 * (3.3 \times 10^{-6}) * (1 - 3.3 \times 10^{-6})} - 1.2 * 3.3 \times 10^{-6}}{0.4(1 - 3.3 \times 10^{-6})}$$

$$h_{L,Fl}^{\circ} = 4.05 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$$

- ✓ **Cálculo del líquido retenido basado en una columna vacía**

$$h_L = h_{L,Fl}^{\circ} * \varepsilon$$

$$h_L = 4.05 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} * 0.96$$

$$h_L = 3.89 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$$

- ✓ **Cálculo del diámetro hidráulico del lecho empacado**

$$\phi_h = 4 * \frac{\varepsilon}{a}$$

$$\phi_h = 4 * \frac{0.96}{215 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}}$$

$$\phi_h = 0.02 \text{ m}$$

✓ **Cálculo del diámetro de las gotas formadas**

$$\phi_G = \sqrt{\frac{\sigma}{\Delta\rho * g}}$$

$$\phi_G = \sqrt{\frac{0.03}{(871 - 1.21 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * 9.81 \text{ m/s}^2}}$$

$$\phi_G = 1.88 \times 10^{-3} \text{ m}$$

✓ **Cálculo de la velocidad del vapor en el punto de inundación**

$$v_{V,Fl} = 0.566 \psi_{Fl}^{-\frac{1}{6}} \left(\frac{\phi_h}{\phi_G}\right)^{\frac{1}{4}} * \varepsilon^{\frac{6}{5}} \left(\frac{\phi_G * \Delta\rho * g}{\rho_v}\right)^{\frac{1}{2}} * (1 - h_{L,Fl}^\circ)^{3.5}$$

$$v_{V,Fl} = 0.566 * 2.42 \text{ m}^{-\frac{1}{6}} \left(\frac{0.02 \text{ m}}{1.88 \times 10^{-3} \text{ m}}\right)^{\frac{1}{4}} * (0.96)^{\frac{6}{5}} \left(\frac{1.88 \times 10^{-3} \text{ m} * (871 - 1.21 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1.21 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}\right)^{\frac{1}{2}} * (1 - 4.05 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-3})^{3.5}$$

$$v_{V,Fl} = 3.02 \text{ m/s}$$

✓ **Cálculo de la velocidad de vapor**

$$v_V = v_{V,Fl} * \frac{F_v}{F_{v,Fl}}$$

$$v_V = 3.02 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.75$$

$$v_V = 2.26 \text{ m/s}$$

✓ **Cálculo del área de la sección transversal**

$$A_s = \frac{V}{3600 * \rho_v * v_V}$$

$$A_s = \frac{4.10 \times 10^5 \text{ kg/h}}{3600 * 1.21 \text{ kg/m}^3 * 2.26 \text{ m/s}}$$

$$A_s = 0.09 \text{ m}^2$$

✓ **Cálculo del diámetro de la columna empacada**

$$\phi_c = \sqrt{\frac{4 * A_s}{\pi}}$$

$$\phi_c = \sqrt{\frac{4 * 0.09 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$\phi_c = 0.34 \text{ m}$$

• **Capacidad de Vapor**

✓ **Cálculo del factor de capacidad de vapor en el punto de inundación**

$$F_{V,Fl} = v_{V,Fl} * \sqrt{\rho_v}$$

$$F_{V,Fl} = 3.02 \text{ m/s} * \sqrt{1.21 \text{ kg/m}^3}$$

$$F_{V,Fl} = 3.32 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \sqrt{\text{kg/m}^3}$$

✓ **Cálculo del factor de capacidad de vapor**

$$F_V = v_V * \sqrt{\rho_v}$$

$$F_V = 2.26 \text{ m/s} * \sqrt{1.21 \text{ kg/m}^3}$$

$$F_V = 2.49 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \sqrt{\text{kg/m}^3}$$

• **Carga específica del líquido**

$$\mu_L = \frac{L}{3600 * \rho_L * A_s}$$

$$\mu_L = \frac{2.85 \times 10^5 \text{ kg/h}}{3600 * 871 \text{ kg/m}^3 * 0.09 \text{ m}^2}$$

$$\mu_L = 1.01 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$$

- **Número de Reynolds del líquido**

$$Re_L = \frac{\mu_L * \rho_L}{n_L * a}$$

$$Re_L = \frac{1.01 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h} * 871 \text{ kg}/\text{m}^3}{0.32 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}} * 215 \text{ m}^2\text{m}^{-3}}$$

$$Re_L = 12.79$$

- **Altura de la columna**
- ✓ **Cálculo del diámetro de la partícula**

$$\phi_p = 6 * \frac{1 - \varepsilon}{a}$$

$$\phi_p = 6 * \frac{1 - 0.96}{215 \text{ m}^2\text{m}^{-3}}$$

$$\phi_p = 1.23 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- ✓ **Cálculo del factor de pared**

$$K = \left(1 + \frac{2}{3} * \frac{1}{1 - \varepsilon} * \frac{\phi_p}{\phi_c}\right)^{-1}$$

$$K = \left(1 + \frac{2}{3} * \frac{1}{1 - 0.96} * \frac{1.23 \times 10^{-3} \text{ m}}{0.34 \text{ m}}\right)^{-1}$$

$$K = 0.94$$

- ✓ **Número de Reynolds de vapor**

$$Re_v = \frac{\mu_v * \phi_p}{(1 - \varepsilon) * V_v} * K$$

$$Re_v = \frac{2.26 \text{ m}/\text{s} * 1.23 \times 10^{-3} \text{ m}}{(1 - 0.96) * 3.69 \times 10^{-6}} * 0.94$$

$$Re_v = 17703.33$$

✓ **Cálculo de la altura de la torre**

$$h = \frac{\Delta\rho}{\left(\frac{\Delta\rho}{h}\right)}$$

$$h = \frac{3447.13 \text{ Pa}}{376.49 \text{ Pa/m}}$$

$$h = 9.16 \text{ m}$$

✓ **Cálculo del diámetro de la columna**

$$\phi_D = \frac{[4.82 * (\rho_L - \rho_v)^{0.5} * \Delta\mu^{-0.06}]}{a}$$

$$\phi_D = \frac{[4.82 * (871 - 1.21 \text{ kg/m}^3)^{0.5} * (0.56 - 0.32)^{-0.06}]}{215}$$

$$\phi_D = 0.72 \text{ m}$$

• **Dimensionamiento de la columna de destilación 2 (Biodiésel)**

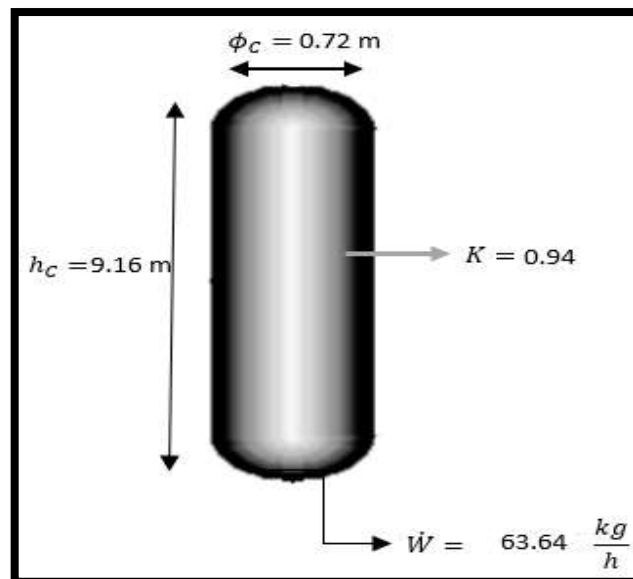


Ilustración 35-3: Dimensionamiento de la columna de destilación 2 (biodiésel)

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

3.6. Balance de masa y energía

3.6.1. Balance de masa

3.6.1.1. Balance de masa para el reactor 1

La alimentación para este reactor es de 150 l de Metanol Anhidro al 99% y 12 kg de Catalizador, tomando como referencia los ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Datos:

$$\rho_{R-OH} = 792 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{R-OH} = 118.8 \text{ kg}$$

$$A + C = M$$

Ec. 78-3

Donde:

A = Metanol anhidro

C = Hidróxido de potasio (KOH)

M = Metóxido de potasio

3.6.1.2. Balance de masa para el reactor 2

La alimentación para este reactor es de 600 kg de grasa de sebo, tomando como referencia los ensayos realizados a nivel de laboratorio.

Datos:

$$\rho_{Biodiésel} = 871 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{Glicerina} = 914.11 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{Biodiésel} = 481.37 \text{ L}$$

$$V_{Glicerina} = 141.44 \text{ L}$$

$$m_{Biodiésel} = 419.27 \text{ kg}$$

$$m_{Glicerina} = 129.29 \text{ kg}$$

$$G + M = T$$

Ec. 79-3

Donde:

G = Grasa de sebo

M = Metóxido de potasio (KOH)

T = Transesterificación

3.6.1.3. Balance de masa para el decantador

Datos:

$$\rho_{\text{Biodiésel}} = 871 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{Glicerina}} = 914.11 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{Biodiésel}} = 481.37 \text{ L}$$

$$V_{\text{Glicerina}} = 141.44 \text{ L}$$

$$m_{\text{Biodiésel}} = 419.27 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Glicerina}} = 129.29 \text{ kg}$$

$$T = B + G$$

Ec. 80-3

Datos:

T = Transesterificación

B = Biodiésel

G = Glicerina cruda

3.6.1.4. Balance de masa para el tanque de lavado

Para este cálculo se considera que ingresa el 10% de agua respecto al peso del biodiésel que ingresará a esta etapa.

$$B = W + A$$

Ec. 81-3

Datos:

B = Biodiésel

W = Agua

St = Salida del tanque

3.6.1.5. Balance de masa para la etapa de filtración

Bibliográficamente un combustible que se filtra con arena y grava retiene alrededor del 5% en peso de la materia entrante, por lo que:

$$St = F + A$$

Ec. 82-3

Datos:

S_t = Salida del tanque

F = Biodiésel filtrado

A = Acumulado

3.6.1.6. Balance de masa para la etapa de destilación 1

Este cálculo se realiza en función de la cantidad de agua resultante de la etapa del lavado, tomando en cuenta el siguiente dato:

Datos:

$H_2O_R = 42.08$ kg

$$H_2O_R = H_2O + ROH$$

Ec. 83-3

Datos:

H_2O_R = Agua residual

3.6.1.7. Balance de masa para la etapa de destilación 2

$$F = B_{Destilado} + R$$

Ec. 84-3

3.6.2. Balance de energía

3.6.2.1. Balance de energía para el reactor 1 y 2

Los dos reactores requieren de una cantidad de vapor para operar bajo condiciones óptimas.

$$-Q_{Cedido} = Q_{Absorbido}$$

Ec. 85-3

$$V\lambda_{CF} = (H_B + H_G) + V\lambda_{CFs}$$

Ec. 86-3

Donde:

V = Flujo másico de agua

λ_{CF} = Calor latente de vapor

$H_B + H_G$ = Entalpia del biodiésel y glicerina.

λ_{CFs} = Calor latente de vapor de salida

3.6.2.2. Balance de energía para la bomba centrífuga

$$H_{sist} = H_e + K * Q^2$$

Ec. 87-3

Donde:

H_{sist} = Carga del sistema

H_e = Carga estática

K = Constante

Q^2 = Caudal requerido

$$P = \frac{\gamma * Q H_b}{100 * \eta_b * \eta_t}$$

Ec. 88-3

Donde:

P = Potencia requerida

η_b = Eficiencia de la bomba

η_t = Eficiencia de la transmisión

3.6.2.3. Balance de energía para el ventilador de aire caliente

$$\dot{Q} + \dot{W} = \Delta \dot{E}_c + \Delta \dot{E}_p + \Delta \dot{U}$$

Ec. 89-3

Donde:

\dot{Q} = Cantidad de transferencia de calor

\dot{W} = Trabajo

\dot{E}_c = Energía cinética

\dot{E}_p = Energía potencial

$\Delta \dot{U}$ = Energía Interna

$$V = \sqrt{\frac{2 * \dot{W}}{\dot{m}}}$$

Ec. 90-3

Donde:

V = Velocidad del aire

\dot{W} = Trabajo

\dot{m} = Flujo másico

$$P_i = P * q$$

Ec. 91-3

Donde:

P_i = Consumo de potencia

P = Presión total del ventilador

q = Caudal del volumen de aire entregado

3.6.2.4. Balance de energía para la columna de destilación 1 y 2

$$Q - W = \Delta U$$

$$Q - W = \Delta H$$

$$Q = m * c_p * (T_f - T_o)$$

Ec. 92-3

La energía puede ser escrita como entalpía en función de la capacidad calórica y la diferencia de temperaturas.

Donde:

m = Masa de la alimentación

c_p = Calor específico de la alimentación

T_f = Temperatura final del producto

T_o = Temperatura inicial del producto

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Resultados del diseño del proceso para obtención de biodiésel

Los resultados de los cálculos ingenieriles realizados para el dimensionamiento de cada equipo se presentan de manera detallada en las siguientes tablas:

Tabla 1-4: Resultados del diseño del reactor 1

Parámetro	Variable	Unidad
Reactor		
Diámetro	60	cm
Volumen	169,65	L
Altura	60	cm
Material de construcción	Acero inoxidable N°304	
Cámara de calefacción		
Diámetro	65	cm
Altura	62,5	cm
Volumen	29,45	L
Material de construcción	Acero inoxidable N°304	
Sistema de agitación		
Diámetro del rodete	20	cm
Longitud del brazo	45	cm
Distancia del rodete y el fondo del tanque	10	cm
Altura del rodete	20	cm
Altura de la paleta	6	cm
Ancho de la paleta	7,5	cm
Potencia requerida	206,22	hp

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 2-4: Resultados del diseño del reactor 2

Parámetro	Variable	Unidad
Reactor		
Diámetro	96	cm
Volumen	694,87	L
Altura	96	cm
Material de construcción	Acero inoxidable N°304	
Cámara de calefacción		
Diámetro	101	cm

Altura	98,50	cm
Volumen	74,27	L
Material de construcción	Acero inoxidable N°304	
Sistema de agitación		
Diámetro del rodete	32	cm
Longitud del brazo	70	cm
Distancia del rodete y el fondo del tanque	15	cm
Altura del rodete	32	cm
Altura de la paleta	9,60	cm
Ancho de la paleta	12	cm
Potencia requerida	83,47	hp

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 3-4: Resultados del diseño del decantador

Parámetro	Variable	Unidad
Fuerza de arrastre	0,31	kg
Área	0,28	m ²
Velocidad de flujo	0,12	m/s
Altura	2,3	m
Volumen	711,81	m ³
Material de construcción	Acero inoxidable N°304	
Entrada		
Altura	0,3	m
Diámetro	0,12	m
Boquilla de salida		
Diámetro	0,23	m

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 4-4: Resultados del diseño del tanque de lavado

Parámetro	Variable	Unidad
Nivel de operación	1,21	m
Diámetro	0,9	m
Altura	4,22	m
Área	0,64	m ²
Presión Total	1,79x10 ⁴	m
Material de construcción	Acero inoxidable N°304	
Capacidad		
Capacidad máxima	1,71	m ³
Capacidad geométrica	2,39	m ³
Capacidad mínima	0,45	m ³
Niveles de llenado		
Nivel máximo	3,01	m

Nivel mínimo	0,8	m
Nivel normal	2,01	m
Cubierta del tanque		
Ángulo del techo	60	°
Altura	0,45	m
Material de construcción	Acero inoxidable N°304	
Aspersor de agua		
Volumen	$5,73 \times 10^{-3}$	m ³
Material de construcción	Acero inoxidable N°304	

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 5-4: Resultados del diseño del ventilador de aire caliente

Parámetro	Variable	Unidad
Velocidad de operación	18,79	m/s
Caudal de aire	0,59	m ³ /s
Presión	$1,81 \times 10^4$	Pa
Potencia	186.32	HP
Espesor	0,002	m
Material de construcción	Acero inoxidable N°304	
Ducto		
Diámetro	0,2	m
Longitud	1	m
Altura	4,22	m
Material de construcción	Acero inoxidable N°304	

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 6-4: Resultados del diseño de la etapa filtrante

Parámetro	Variable	Unidad
Caudal de diseño	0,02	m ³ /s
Área superficial	0,41	m ²
Longitud	0,74	m
Ancho	0,56	m
Velocidad de filtración	0,04	m/s
Nivel máximo	3 a 25	mm
Material filtrante	Grava y arena	

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 7-4: Resultados del diseño de la columna de destilación 1 (metanol - agua)

Parámetro	Variable	Unidad
Parte superior de la columna		
Flujo de alimentación	16,93	kmol/h
Flujo de fondo	234,37	kg/h
Flujo de vapor	547,03	kg/h
Flujo condensado	381,26	kg/h
Material de construcción	Acero inoxidable N°304	
Columna empacada		
Punto de inundación	1,07x10 ⁻³	
Líquido retenido	0,07	m ³ m ⁻³
Diámetro hidráulico	0,02	m
Diámetro de gotas formadas	1,80x10 ⁻³	m
Velocidad de vapor	1,67	m/s
Área sección transversal	0,08	m ²
Diámetro	0,32	m
Capacidad de vapor		
Factor de capacidad de vapor en el punto de inundación	2,44	$\frac{m}{s} * \sqrt{kg/m^3}$
Factor de capacidad de vapor	1,84	$\frac{m}{s} * \sqrt{kg/m^3}$
Carga específica del líquido	1,68x10 ⁻³	m ³ /m ² h
Columna de destilación		
Factor de pared	0,94	
Altura	9,16	m
Diámetro	0,99	m
Material de construcción	Acero inoxidable N°304	

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 8-4: Resultados del diseño de la columna de destilación 2 (biodiésel)

Parámetro	Variable	Unidad
Parte superior de la columna		
Flujo de alimentación	360	kmol/h
Flujo de fondo	63,64	kg/h
Flujo de vapor	4,10x10 ⁵	kg/h
Flujo condensado	2,85x10 ⁵	kg/h
Material de construcción	Acero inoxidable N°304	
Columna empacada		
Punto de inundación	3,3x10 ⁻⁶	
Líquido retenido	3,89x10 ⁻³	m ³ m ⁻³
Diámetro hidráulico	0,02	m
Diámetro de gotas formadas	1,88x10 ⁻³	m

Velocidad de vapor	2,26	m/s
Área sección transversal	0,09	m ²
Diámetro	0,34	m
Capacidad de vapor		
Factor de capacidad de vapor en el punto de inundación	3,32	$\frac{m}{s} * \sqrt{kg/m^3}$
Factor de capacidad de vapor	2,49	$\frac{m}{s} * \sqrt{kg/m^3}$
Carga específica del líquido	1,01	m ³ /m ² h
Columna de destilación		
Factor de pared	0,94	
Altura	9,16	m
Diámetro	0,72	m

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Partiendo de los resultados de cada equipo que formarán parte de Curtiduría Tungurahua se establece que la empresa debe contar con 78 m² de área total para la construcción del proceso de obtención de biodiésel.

4.2. Resultados del balance de masa y energía

4.2.1. Balance de masa

4.2.1.1. Análisis de resultados para el balance de masa

El análisis de la tabla 29-1 muestra que por cada equipo existen pérdidas mínimas de masa al momento de purificar el biodiésel, teniendo en cuenta que el rendimiento es del 65%, mientras que de la Glicerina Cruda es el 35% aproximadamente, siendo un subproducto que tiene gran valor comercial.

Tabla 9-4: Balance de masa para equipos

Equipo	Unidades	Valor
Reactor 1	kg	130,80
Reactor 2	kg	730,80
Decantador	kg	419,27 / 129,29
Tanque de lavado	kg	461,20
Filtración	kg	438,14
Destilación 1	kg	29,46 / 12,64
Destilación 2	kg	394,32

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

4.2.2. Balance de energía

Los resultados de los balances de energía para cada equipo fueron desarrollados mediante el programa DWSIM, donde se detalla información necesaria para el dimensionamiento del proceso de obtención.

Tabla 10-4: Balance de energía para reactor 1

Calor latente de vapor sobrecalentado (39 °C)	Unidades	Calor latente de vapor saturado (22 °C)	Unidades	Vapor requerido	Unidades
2565,3	KJ/Kg	2541,7	KJ/Kg	1,01	L

Fuente: DWSIM (2023)

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 11-4: Balance de energía para reactor 2

Calor latente de vapor sobrecalentado (93 °C)	Unidades	Calor latente de vapor saturado (45 °C)	Unidades	Vapor requerido	Unidades
2665,21	KJ/Kg	2394,74	KJ/Kg	5,12	L

Fuente: DWSIM (2023)

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 12-4: Balance de energía para una bomba centrífuga

Punto de operación (Q)	Unidades	Valor de carga	Unidades	Potencia demanda por la bomba	Unidades
0,048	m ³ /s	65,2	m	24,4	kW

Fuente: DWSIM (2023)

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 13-4: Balance de energía para el ventilador de aire caliente

Potencia del ventilador	Unidades	Velocidad del aire	Unidades	Consumo de potencia	Unidades
139	KW	35,2	m/s	140	kW

Fuente: DWSIM (2023)

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 14-4: Balance de energía para columnas de destilación 1 y 2

Equipo	Cantidad de calor requerido	Unidades	Tiempo requerido para el calentamiento	Unidades
Columna de destilación 1	1,10x10 ⁵	BTU/h	15	min
Columna de destilación 2	2,22x10 ⁵	BTU/h	15	min

Fuente: DWSIM (2023)

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

4.2.2.1. Análisis de resultados para el balance de energía

Se presenta una reacción exotérmica en uno de los reactores debido a la mezcla de Metanol Anhidro e Hidróxido de Potasio (KOH), para esto la chaqueta incluida en el reactor controlará la energía liberada, en el caso del reactor 2, donde se producirá la reacción de transesterificación requiere de temperatura que será proporcionada por 5.12 litros de vapor; según los resultados de la tabla 11-4 se trabaja bajo un sistema de aislamiento. Por otra parte, se requiere de 24.4 KW de la bomba centrífuga para mover los fluidos de un equipo a otro.

4.3. Resultados comparativos

4.3.1. Glicerina

La glicerina cruda es un subproducto de la transesterificación de coloración oscura, constituida de metanol, ácidos grasos y otros precipitados producto de la obtención, la caracterización fisicoquímica se presenta en la tabla 15-4.

4.3.1.1. Caracterización físico – química

Tabla 15-4: Caracterización físico - química de la glicerina

Parámetros	Unidades	Resultados
Color	-	Marrón
Viscosidad	Kg/m*s	1.5
Densidad	Kg/m ³	914.1
Ph	-	4.5
Índice de turbidez	NTU	159.00

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

La ilustración 1-4 indica la espectrometría infrarroja de transformada de Fourier (FTIR) de la glicerina cruda, en esta gráfica se puede observar curvas características de una glicerina separada del biodiésel, la curva en entre $2500 - 2700 \text{ cm}^{-1}$ indica la presencia de O-H (alcoholes con puentes de hidrógeno), las frecuencias entre los rangos $2850 - 2970 \text{ cm}^{-1}$ demuestra que en la muestra hay alcanos de una intensidad fuerte; la curva determinante para un glicerol se establece de $1800 - 2700 \text{ cm}^{-1}$ y finalmente se encuentra la sección de la huella dactilar en donde se observa la presencia de C-O y C-H (ácidos carboxílicos y ésteres).

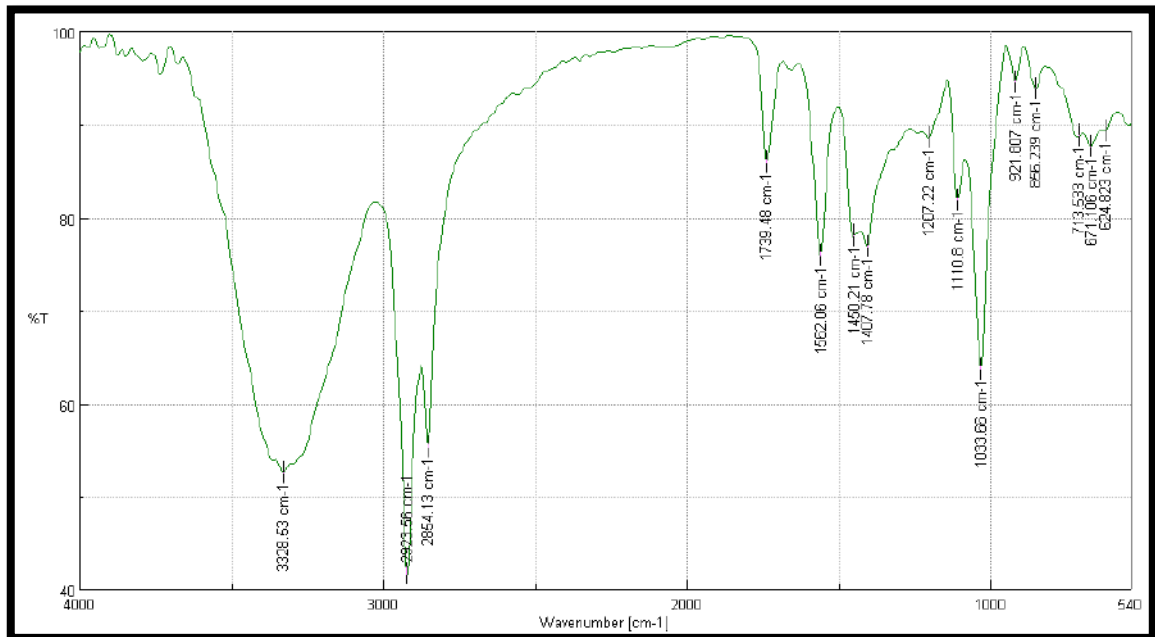


Ilustración 1-4: Espectrometría infrarroja de la glicerina cruda

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

La glicerina obtenida por una industria del biodiésel fue sometido a la espectrometría infrarroja antes y después de mezclar con ácido acético, el FTIR realizado antes de la mezcla y de esta manera se verifica que las gráficas analizadas tienen curvas similares ya que los descensos de los picos coinciden en la frecuencia de $3200 - 3600 \text{ cm}^{-1}$, $2700 - 3000 \text{ cm}^{-1}$ (Delgado Tobón & Rodríguez Carmona, 2021, p. 27).

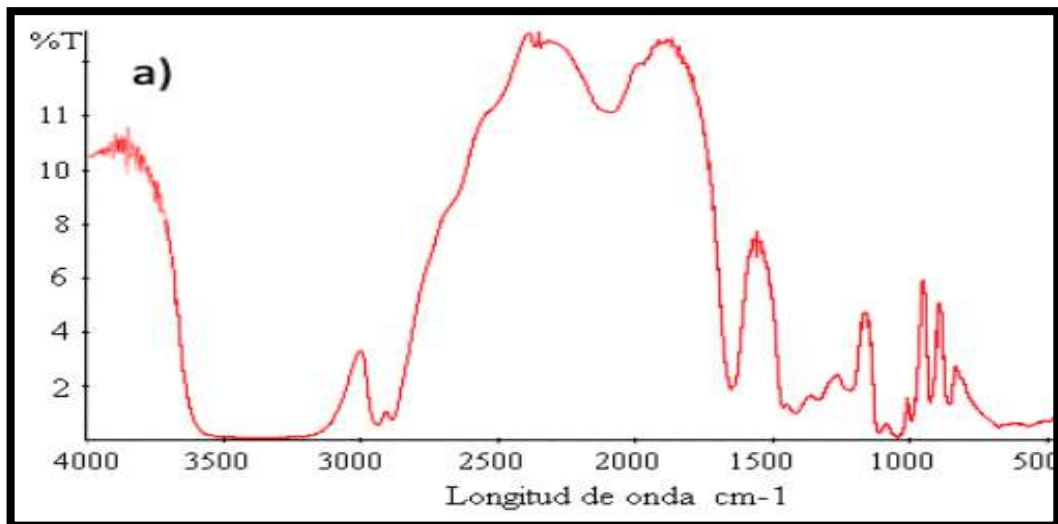


Ilustración 2-4: Espectrometría infrarroja de comparación para la glicerina cruda

Fuente: Delgado Tobón & Rodríguez Carmona (2021, p. 27)

4.3.2. *Diésel comercial*

4.3.2.1. *Comparación de la caracterización físico – química del diésel comercial y biodiésel obtenido*

El diésel 1 derivado del petróleo es analizado bajo las normas INEN y ASTM ya que con estas se analiza al petróleo y sus derivados, mientras que para caracterizar un biodiésel debe ser realizado bajo las mismas normas, pero con especificaciones únicas para biodiésel, por lo que se observa entre la tabla 16-4 (caracterización del diésel) y la tabla para caracterización del biodiésel variaciones entre sus resultados, métodos de ensayo y limitaciones como en la densidad, cada producto varía en su resultado pero no sobrepasa los límites, la viscosidad es medida en las mismas unidades para los dos productos pero las limitaciones para el diésel son menores que para el biodiésel, entendiendo que esto se da por la materia prima del biocombustible, el punto de inflamación para ambos casos tiene un límite mínimo de 52 °C y 120 °C para el diésel y biodiésel, respectivamente; la temperatura de destilación al 90% de recuperado para el diésel y biodiésel varía ya que el biocombustible al ser más denso y al tener un punto de inflamación más elevado necesita mayor temperatura de destilación.

Tabla 16-4: Caracterización físico – química del diésel comercial

Parámetros	Unidades	Resultados	Método de ensayo	Límite	
				Mín.	Máx.
Densidad API	Kg/m ³	845.18	ASTM D 287-67		850
Viscosidad	mm ² /s	2.30	NTE INEN 810	1,3	3
Punto de inflamación	°C	60.26	ASTM D 92	52	-
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	292	ASTM D 86	-	360
Índice de cetano	-	49	INEN 1495	40	-
Gravedad API	°API	35.42	ASTM D 287-67	-	-
Poder calórico	KJ/kg	45187.20	ATMD D 5865	-	-

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Parámetros	Unidades	Resultados	Método de ensayo	Límite	
				Mín.	Máx.
Densidad a 15°C	Kg/m ³	871	ASTM D 1298	860	900
Viscosidad a 40°C	mm ² /s	3,69	ASTM D 445	1,9	6
Corrosión a la tira de cobre	Clasificación	1	ASTM D 130	-	3
Punto de inflamación	°C	162	ASTM D 93	120	-
Temperatura de destilación al 90% recuperado*	°C	319	ASTM D 1160	-	360
Índice de cetano*	-	51	ASTM D 613	47	-
Gravedad API	°API	30.36	ASTM D 6751-07	-	-
Poder calórico	KJ/kg	39701,96	ASTM D 4809	-	-

Ilustración 3-4: Caracterización físico - química del biodiésel

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Los resultados gráficos de la espectrometría infrarroja para el biodiésel a partir de sebo bovino y el diésel comercial (ilustración 3-4), tienen curvas y picos similares, propios de un combustible, sin embargo en la ilustración del diésel se observa la presencia de ácidos carboxílicos, anillos aromáticos de intensidad variable en la frecuencia de 1612.2 – 732.82 cm⁻¹, también componentes que se observan en el FTIR del biodiésel para las frecuencia de 1490 – 1000 cm⁻¹, con una mínima cantidad de ácidos grasos, este último se puede verificar mediante el FTIR de la grasa del sebo (ilustración 19-3). Es importante realizar la comparación entre estos dos productos, mediante la

caracterización físico – química del diésel 1, donde se puede observar que los límites de cada parámetro son similares a los del biodiésel, así como los resultados se encuentran dentro de los rangos establecidos, por la naturaleza del biodiésel los resultados son más elevados a diferencia del diésel común.

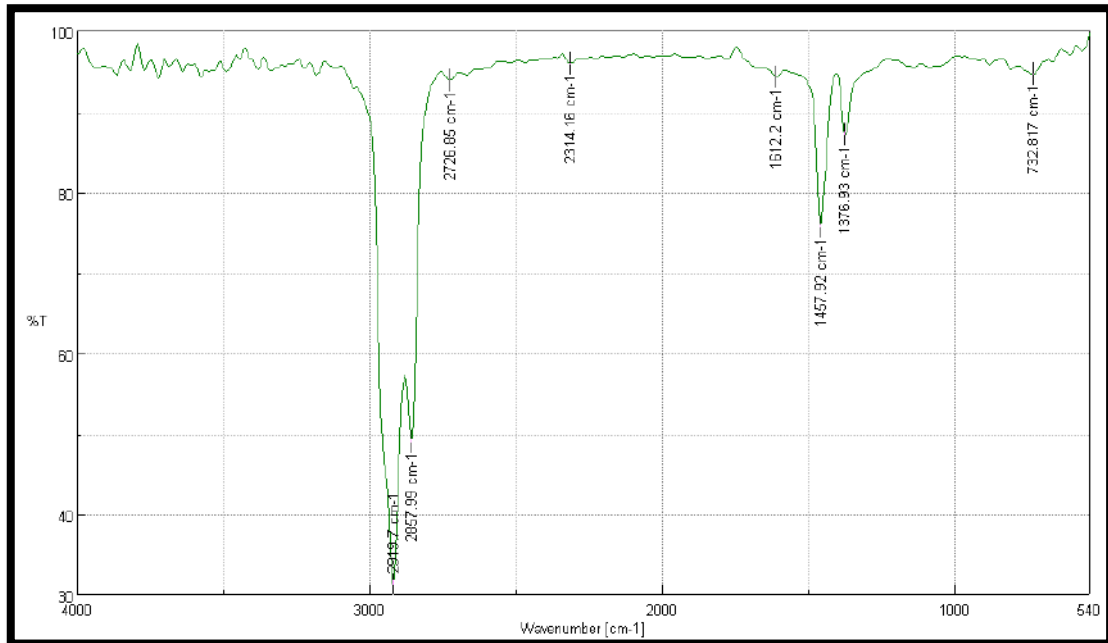


Ilustración 4-4: Espectrometría infrarroja del diésel comercial

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

4.4. Análisis de costos TIR y VAN

4.4.1. Costos variables

Los costos variables se calculan en función de la materia prima directa detallada en la tabla 37-3, cabe recalcar que la grasa de sebo bovino no es un producto sin costo, ya que CTU considera a este como un desecho, determinando de esta manera que el costo variable unitario es de \$3.43, en la tabla 17-4 se muestra la producción mensual esperada a partir de 452.72 litros de biodiésel diario.

Tabla 17-4: Materia prima directa

MATERIA PRIMA DIRECTA				
RUBROS	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO \$	TOTAL
GRASA DE SEBO BOVINO	1,10	kilogramo	0	0
HIDRÓXIDO DE POTASIO (KOH)	0,03	kilogramo	4,20	0,13
METANOL ANHIDRO AL 99%	0,33	litros	10,00	3,30
TOTAL				3,43

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 18-4: Producción mensual

PRODUCCIÓN			
DETALLE	DIARIO	DÍAS TRABAJADOS	PRODUCCIÓN MENSUAL ESPERADA
LITRO DE BIODIÉSEL	452,72	22	9959,84

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

4.4.2. Costos fijos

Los costos fijos son egresos que la empresa debe pagar, es decir, es la materia prima indirecta que se necesita mensualmente para desarrollar los trabajos planteados.

Tabla 19-4: Materia prima indirecta

MATERIA PRIMA INDIRECTA	
RUBROS	VALORES POR MES
TANQUES PLÁSTICOS IBC, ETIQUETAS	40
DISTRIBUCIÓN, COMBUSTIBLE	40
SUBTOTAL	80
MANO DE OBRA INDIRECTA	
RUBROS	VALORES POR MES
SUPERVISOR DE CALIDAD	600
SUBTOTAL	600
OTROS GASTOS FIJOS	
SERVICIOS BÁSICOS (AGUA, LUZ, TELÉFONO)	200,00
PUBLICIDAD	25
REPARACIONES Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO (TODAS LAS ÁREAS)	250
SUBTOTAL	475
TOTAL	1155

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

4.4.3. Costo total

$$CT = CV + \frac{CF}{P.E}$$

Ec. 93-3

Donde:

CT = Costo total

CV = Costos variables

CF = Costos fijos

$P.E$ = Producción esperada

$$CT = 3.43 + \frac{1155}{995.64}$$

$$CT = \$ 3.54$$

4.4.4. Precio de venta

En la ecuación 95-3 se calcula el precio de venta por cada litro de biocombustible con una utilidad del 30%.

$$MC = CT * Utilidad$$

Ec. 94-3

Donde:

MC = Margen de contribución

CT = Costo total

$$MC = \$ 3.54 * 30\%$$

$$MC = \$1.06$$

$$PV = CT + MC$$

Ec. 95-3

$$PV = \$ 3.54 + \$1.06$$

$$PV = \$4.60$$

4.4.5. Punto de equilibrio

La tabla 40-3 muestra el punto de equilibrio mensual y anual para la producción de biodiésel, es decir que se debe producir un total de \$11760,20 anuales para evitar pérdidas.

Tabla 20-4: Punto de equilibrio

CF (COSTOS FIJOS)	1155
PV(PRECIO DE VENTA)	4,60
CV (COSTOS VARIABLES)	3,43
PE MENSUAL	980,00
PE ANUAL	11760,20

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

4.4.6. Costos de maquinaria y mantenimiento

El costo para la construcción de maquinaria del diseño se estima de \$14481.50, mientras que el mantenimiento se valora en función del 5% del precio por equipo, detallado en la tabla 21-4.

Tabla 21-4: Costos de maquinaria

MAQUINARIA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ÁREA DE PRODUCCIÓN			
REACTOR 1	1	2350,00	2350,00
REACTOR 2	1	2500,00	2500,00
DECANTADOR	1	800,00	800,00
TANQUE DE LAVADO	1	950,00	950,00
ASPERSOR DE AGUA	1	20,00	20,00
VENTILADOR DE AIRE CALIENTE	1	290,00	290,00
COLUMNA DE DESTILACIÓN 1	1	2000,00	2000,00
FILTRACIÓN CON ARENA Y GRAVA	1	450,00	450,00
COLUMNA DE DESTILACIÓN 2	1	2700,00	2700,00
TUBERÍAS	10	2,15	21,50
BOMBA CENTRÍFUGA	2	1200,00	2400,00
SUBTOTAL			14481,5
TOTAL		14481,50	

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Tabla 22-4: Mantenimiento de la maquinaria

MAQUINARIA	VALOR TOTAL	MANTENIMIENTO 5%
ÁREA DE PRODUCCIÓN		
REACTOR 1	2350,00	117,50
REACTOR 2	2500,00	125,00
DECANTADOR	800,00	40,00
TANQUE DE LAVADO	950,00	47,50
ASERSOR DE AGUA	20,00	1,00
VENTILADOR DE AIRE CALIENTE	290,00	14,50
COLUMNA DE DESTILACIÓN 1	2000,00	100,00
FILTRACIÓN CON ARENA Y GRAVA	450,00	22,50
COLUMNA DE DESTILACIÓN 2	2700,00	135,00
TUBERÍAS	21,50	1,08
BOMBA CENTRÍFUGA	2400,00	120,00
TOTAL	14481,50	724,08

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

4.4.7. Depreciación de la maquinaria

Debido a los trabajos que se pretenden realizar con los equipos diseñados, estos tienden a devaluarse con el pasar de los años, por lo que se detalla a continuación, el valor total que se deprecia anualmente cada equipo.

Tabla 23-4: Depreciación de la maquinaria

RUBRO	VIDA ÚTIL (AÑOS)	INVERSIONES	
		Depreciación	Valor
Activos fijos operativos/producción		Porcentaje	USD \$
REACTOR 1	20	15,00%	352,50
REACTOR 2	20	15,00%	375,00
DECANTADOR	35	10,00%	80,00
TANQUE DE LAVADO	30	10,00%	95,00
ASERSOR DE AGUA	20	10,00%	2,00
VENTILADOR DE AIRE CALIENTE	25	10,00%	29,00
COLUMNA DE DESTILACIÓN 1	30	25,00%	500,00
FILTRO DE ARENA Y GRAVA	40	10,00%	45,00
COLUMNA DE DESTILACIÓN 2	35	25,00%	675,00
TUBERÍAS	20	10,00%	240,00
BOMBA CENTRÍFUGA	35	20,00%	2896,30
SUBTOTAL			5289,8
TOTAL			5289,8

Realizado por: Jara, Anaís. 2023

Mediante los cálculos analizados se puede concluir que la inversión de \$15.764,19 producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida, de tal forma que por cada litro de biodiésel habrá una ganancia del 30%, cabe recalcar que las ganancias se empezarán a reflejar a partir del segundo año, en el tercer año se notarán ganancias netas, la Tasa Interna de Retorno que se espera es del 77%.

CONCLUSIONES

- ✓ Se realizó la caracterización física – química de la materia prima necesaria para producir biodiésel proveniente del área de descarte de Curtiduría Tungurahua, donde se obtuvieron los siguientes resultados, densidad relativa, índice de acidez, índice de yodo, índice de peróxido, material volátil - humedad y grasa bajo estándares de la norma INEN 35, 38, 39, NTE-INEN-ISO 3960 y parámetros propios del Laboratorio.
- ✓ Para identificar las variables de diseño se parte del porcentaje de grasa y el índice de acidez, para la dosificación del 25% de Metanol Anhidro y 2% de Catalizador (KOH) según el peso de aceite, realizando espectrometría infrarroja para el desarrollo del biocombustible observando la composición química mediante frecuencias y curvas, de esta manera se dimensionaron los equipos a partir del diagrama de flujo del proceso para la producción a nivel industrial.
- ✓ Se realizaron cálculos ingenieriles con los datos obtenidos a partir de las variables de diseño, que consta con el dimensionamiento de dos reactores, un decantador de flujo vertical, un tanque de lavado por aspersion, un sistema de secado, dos columnas de destilación, estas ayudarán a separar el agua del metanol resultante de la etapa de lavado y para la separación de impurezas presentes en el biodiésel, esta información es necesaria ya que para el dimensionamiento se presenta informes de balance de masa y energía para cada equipo según sea su función.
- ✓ Mediante la caracterización físico – química del biodiésel se realizó la validación técnica cumpliendo con los siguientes parámetros según la Norma ASTM Para Biodiésel D6751-09 – Ilustración 4-3, permitiendo identificar limitaciones permisibles de calidad, entre ellas se realizó la densidad a 15 °C, viscosidad a 40 °C, punto de inflamación, temperatura de destilado al 90% de recuperado, índice de cetano, gravedad API (Tabla 8-3), corrosión a la tira de cobre (Anexo L) y poder calórico (Anexo M), resultados que se encuentran entre los parámetros permitido; para el análisis económico se obtuvo el 77% de la Tasa Interna de Retorno mostrando que el proyecto es económicamente viable y \$15.764,19 del Valor Actual Neto con un punto de equilibrio de \$11760.2 anual.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar análisis fisicoquímicos para asegurar la calidad del biodiésel, ya que de esta manera se sabrá si el producto está dentro los parámetros establecidos de calidad, evitando que este cause daños.
- ✓ La reacción de transesterificación debe ser ejecutada con productos altamente puros, sin presencia de agua, en especial el alcohol, este debe ser Metanol Anhidro al 99%, de no ser así la mezcla del aceite y el metóxido de potasio preparado darán lugar a una solidificación.
- ✓ La separación de fase entre el biodiésel y la glicerina debe ser controlado que en la decantación el biodiésel no tenga presencia de glicerina, para esto se recomienda dejar pasar un pequeño porcentaje de biodiésel con la glicerina.
- ✓ Cuando se realice la etapa de secado, asegurarse de no someter al biodiésel a temperaturas mayores de 110 °C a excesivos periodos de tiempo ya que esto podría causar que los componentes esterificados se quemen y no tenga la misma eficiencia.
- ✓ Hacer mantenimientos preventivos para los equipos que conforman el diseño, de esta forma se evitará daños o problemas a futuro, así como cuidar los años de vida útil para cada componente.

BIBLIOGRAFÍA

ALFONSO ALVAREZ, Juan Antonio. Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del refugio [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C, Chihuahua – México. 2013. pp. 31 – 32. [Consulta: 14 agosto 2022]. Disponible en: <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/349>

ALIBABA. *Bomba centrífuga para agua* [blog]. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: <https://www.alibaba.com/>

ALIBABA. *Tubo de acero* [blog]. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: <https://www.alibaba.com/>

ANTOLÍNEZ, M. *Principios de la ecuación de Bernoulli, aplicaciones y esquema del montaje experimental* [blog]. [Consulta: 04 noviembre 2022]. Disponible en: https://www.academia.edu/34673817/Principios_de_la_ecuaci%C3%B3n_de_Bernoulli_aplicaciones_y_esquema_del_montaje_experimental

ARÉVALO ASTUDILLO, Pablo Sebastián, & ULLOA ASTUDILLO, José. Introducción obtención de biodiesel a partir de grasa bovina [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador. 2014. pp. 99 – 102. [Consulta: 16 noviembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10905>

ASTM D6751-09. *Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock.*

ÁVILA OROZCO, Francisco Daniel. Biodiesel: Estudios analíticos y desarrollo de métodos de análisis para el control de calidad. (Trabajo de Titulación). (Doctorado) Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca – Argentina. 2015. pp. 3 – 7. [Consulta: 06 enero 2023]. Disponible en: <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2516>

BENGOAGOROSTIZA LEÓN, Paúl Andrés. Síntesis de biodiesel mediante catálisis ácida heterogénea a partir de mezclas de aceite y ácidos grasos (Trabajo de titulación). (Doctorado) Universidad Pública de Navarra, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Pamplona – España. 2012. pp. 22 – 23. [Consulta: 16 noviembre 2022]. Disponible en: <http://academica->

e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/5984/577867.pdf;jsessionid=3711CD4E5BDAC95FDD96E6A34EA69F9E?sequence=1

BENJUMEA, P. “Estudio experimental de las variables que afectan la reacción de transesterificación del aceite crudo de palma para la producción de biodiésel”. *Scientia Et Technica* [en línea], 2014, (Colombia) 10 (24), pp. 169 - 170. [Consulta: 18 noviembre 2022]. ISSN 0122-1701. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84912053021>

BOEY, P. “A new heterogeneous acid catalyst for esterification: Optimization using response surface methodology”. *Energy Conversion and Management* [en línea], 2013, (Malasia) 65(10), pp. 392 – 396. [Consulta: 17 febrero 2023]. ISSN 01968904. Disponible en: www.elsevier.com/locate/enconman

CABELLO, C. “Catalizadores heterogéneos utilizados para la obtención de biodiesel”. *Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry* [en línea], 2017, (México) 74 (577), pp. 52 - 54 [Consulta: 29 octubre 2022]. ISSN 0123 – 3207. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/320756>

CARREÑO VÁZQUEZ, Guillermo Gustavo & HERNÁNDEZ LUNA, José Fernando Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento para nafta con diámetro de 70ft x 30ft de altura bajo la norma API 650 (Trabajo de titulación). (Maestría) Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, D.F. - México. 2008. pp. 63 – 65. [Consulta: 19 febrero 2023]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/2699>

CASTELLAR, G. “Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos” *Prospect Science* [en línea], 2014, (Colombia) 12 (2), pp. 4 - 5. [Consulta: 14 noviembre 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n2/v12n2a10.pdf>

CASTRO, A. *Reactores Químicos* [en línea]. Córdoba - Argentina: ediciones UNL, 2020. [Consulta: 15 enero 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11185/5528>

CHRISTENSEN, K. *Design of Industrial Catalysts* [en línea]. New Jersey – USA: Elsevier B.V., 2007. [Consulta: 17 enero 2023]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1570-7946\(07\)80014-9](https://doi.org/10.1016/S1570-7946(07)80014-9)

CHUQUÍN VASCO, Daniel Antonio. Diseño y simulación de una columna de destilación binaria de etanol-agua para la empresa Hetween [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba - Ecuador. 2013. pp. 109 – 115. [Consulta: 15 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2528>

CRABB, E. 2010. “Catalysis”. Journal of The Electrochemical Society [en línea], 2010, (USA) 147 (12), pp. 1 - 22. [Consulta: 07 diciembre 2022]. ISSN 1147 – 4440. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2010.08.077>

DELGADO, A. “Synthesis of mono di tri acetyl glycerols from glycerin technical degree”. TECCIENCIA [en línea], 2021, (Colombia) 15 (29), pp. 27-30. [Consulta: 18 diciembre 2022]. ISSN 19093667. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18180/tecciencia.2020.29.3>

DEMIRBAS, A. “Biodiesel from Vegetable Oils Via Transesterification in Supercritical Methanol”. Energy Conversion and Management [en línea], 2002, (Turquía) 43 (17), pp. 2350 – 2351. [Consulta: 01 diciembre 2022]. ISSN 61035. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(01\)00170-4](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00170-4)

DWSIM. *Chemical Process Simulation for Everyone* [blog]. [Consulta: 19 febrero 2023]. Disponible en: <https://dwsim.org/>

ERVITI, A. *Mercado de los productos oleoquímicos del biodiésel: Perspectivas del biodiésel en el mercado europeo* [en línea]. Palmas – España: Fedepalma, 2007. [Consulta: 08 noviembre 2022]. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1323>

GOOGLE EARTH. *Curtiduría Tungurahua* [blog]. [Consulta: 10 septiembre 2022]. Disponible en: https://earth.google.com/web/search/CURTIDURIA+TUNGURAHUA,+Ambato/@-1.196676,78.587359,2652.86138484a,1056.28423171d,35y,134.22011755h,45t,0r/data=CogBG14SWAolMHg5MWQzODBhMjk4ODBlOGMxOjB4YTRIN2M1NjI3ZjYzNjA2OBmPh7671SXzvyG4ADRKI6VTwCodQ1VSVEIEVVJJQSBUVU5HVvVJBSFVBLcBBbWJhdG8YAIABiYKJAnap-EqQKX6vxFEbleAxy_7vxn8pRruWKhTwCEbOIN_-6pTwA

ITO, T. “Biodiesel production from waste animal fats using pyrolysis method”. Fuel Processing Technology [en línea], 2012, (Japón) 94 (1), pp. 47- 52. [Consulta: 13 septiembre 2022]. ISSN 0378 - 3820. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.10.004>

JORQUERA, A. “Factores que influyen en el valor nutricional de las grasas utilizadas en las dietas para bovinos”. *Interciencia* [en línea], 2006, (Venezuela) 30 (3), pp. 2 - 3. [Consulta: 28 agosto 2022]. ISSN 0378 - 1844. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33910204>

KUMAR, A. “Catalizadores básicos heterogéneos para la transesterificación de aceites vegetales”. *Actas de la conferencia de ingeniería mecánica sobre investigación e innovación sostenibles* [en línea], 2012, (Kenya) 4 (3), pp. 62 – 63. [Consulta: 20 septiembre 2022]. ISSN 2079 - 6226. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000215084_spa

LACONAL. *Laboratorio de control y análisis de alimentos UTA* [blog]. [Consulta: 08 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.uta.edu.ec/v4.0/index.php/laconal>

LAMOUREUX HERNÁNDEZ, Jerome Hervé. *Diseño conceptual de una planta de biodiésel* [en línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago de Chile – Chile. 2007. pp. 17 -21. [Consulta: 25 diciembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104538>

MARCANO, L. “Estudio de la obtención de biodiesel a partir de productos secundarios de la reacción de transesterificación de aceites residuales de cocina”. *Revista de la facultad de Ingeniería U.C.V.* [en línea], 2014, (Venezuela) 29 (1), pp. 66 - 67. [Consulta: 02 enero 2023]. ISSN 0798 - 4065. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652014000100009

MARTÍNEZ OLAYA, Hernán Eduardo. *Análisis del uso de biocombustible en Ecuador período 2010 – 2017* [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Guayaquil – Ecuador. 2010. pp. 63 – 64. [Consulta: 19 septiembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10407>

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Estudio para conocer los potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador* [en línea]. Quito – Ecuador: SAICIM, 2013. [Consulta: 03 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/03/PART11.pdf>

NACIONES UNIDAS & COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE – CEPAL. *La crisis de los precios del petróleo y su impacto en los países centroamericanos* [en línea]. D.F. – México: CEPAL, 2009. [Consulta: 16 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/25972-la-crisis-precios-petroleo-su-impacto-paises-centroamericanos>

NATIONAL BUREAU OF STATICAL. *National economy made a good start in the first quarter* [blog]. [Consulta: 23 enero 2023]. Disponible en: <http://www.stats.gov.cn/english/>

NAVAS, Marisa Belén. Estudio de catalizadores heterogéneos en la transesterificación de triglicéridos para obtener biodiesel de segunda generación [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado) Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ciencias Exactas, Buenos Aires – Argentina. 2018. pp. 95 - 96. [Consulta: 13 febrero 2023]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/68026>

NMX-F-SCFI-2012. *Normativa mexicana para caracterización fisicoquímica para sebo bovino.*

OMS. *Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas* [En línea]. Lima – Perú: COSUDE, 2005. [Consulta: 19 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.ircwash.org/sites/default/files/255.9-99FI-17025.pdf>

PALACIOS ARIAS, Guillermo Xavier. Diseño de un tostador de café mediante flujo de aire caliente para la empresa Café Indera [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Loja, Facultad de la Energía, Industrias y Recursos Naturales No Renovables, Loja – Ecuador. 2016. pp. 63 – 64. [Consulta: 19 diciembre 2022]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/18545>

PALMAY PAREDES, Paúl Gustavo & ESPINOZA GUERRERO, Alex Javier. Diseño y construcción de un reactor batch para la obtención por transesterificación de biodiesel a partir de aceite de cocina reciclado [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba – Ecuador. 2009. pp. 51 – 61. [Consulta: 21 diciembre 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/315778869_DISENO_Y_CONSTRUCCION_DE_UN_REACTOR_BATCH_PARA_LA_OBTENCION_POR_TRANSESTERIFICACION_DE_BIODIESEL_A_PARTIR_DE_ACEITE_DE_COCINA_RECICLADO

PEÑATES, S. “Evaluación del proceso de desencalado de residuos de descarnes de un proceso de curtición”. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* [en línea], 2017, (Colombia) 9 (2), pp. 253 – 259. [Consulta: 12 agosto 2022]. ISSN 2027 - 4297. Disponible en: <https://doi.org/10.24188/recia.v9.n2.2017.607>

PUENTE, Y. “Obtención de biocombustible vía catálisis enzimática a partir de aceites de desecho provenientes de frituras en profundidad” . *Ingeniería UC* [en línea], 2016, (Venezuela) 23 (2), pp. 186 – 188. [Consulta: 26 noviembre 2022]. ISSN 1316 - 6832. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70746634008>.

SALCEDO, M. *Mecánica de fluidos* [en línea]. California – USA: Creative Commons, 2011. [Consulta: 09 febrero 2023]. Disponible en: <https://ocw.ehu.eus/course/view.php?id=450&lang=es>

SÁNCHEZ, F. “Esterificación”. *Ingeniería e Investigación* [en línea], 1995, (Colombia) (33), pp. 87 – 88. [Consulta: 20 agosto 2022]. ISSN 20904. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/ing.investig.n33.20904>

SKOOG, D. *Principios de análisis instrumental* [en línea]. CENGAGE Learning, 2008. [Consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://latam.cengage.com/libros/principios-de-analisis-instrumental/>

UNE-EN 14214:2008. *Ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) para motores diésel.*

VILLA ZAPATA, Carlos Alberto & ARISTIZABAL VÉLEZ, Juan Diego. El sebo bovino como insumo para la producción del biodiesel y su comercialización en china [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Institución Universitaria Esumer, Facultad de Estudios Internacionales, Medellín – Colombia. 2012. pp. 1 – 54. [Consulta: 10 diciembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.esumer.edu.co/jspui/handle/esumer/2362>

WILHARM, T. “Sedimentos que afectan la calidad del biodiésel”. *PALMAS* [en línea], 2010, (Colombia) 31 (especial), pp. 138 -139. [Consulta: 21 diciembre 2022]. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/156>

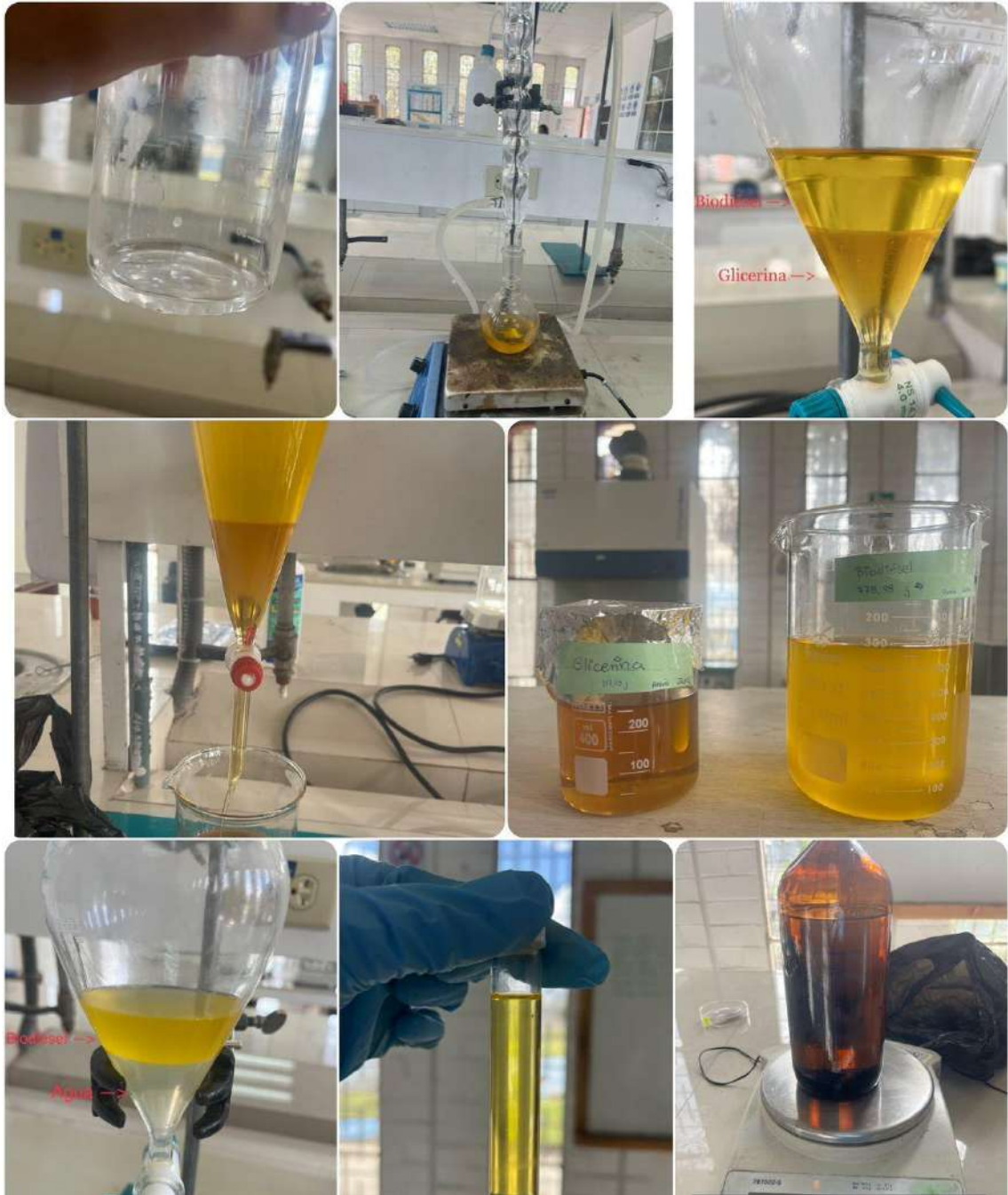
ZHANG, Y. “Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment”. *Bioresource Technology* [en línea], 2003, (Canadá) 89 (1), pp. 2 - 3. [Consulta: 01

noviembre 2022]. ISSN 1267 - 6469. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00040-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00040-3)



ANEXOS

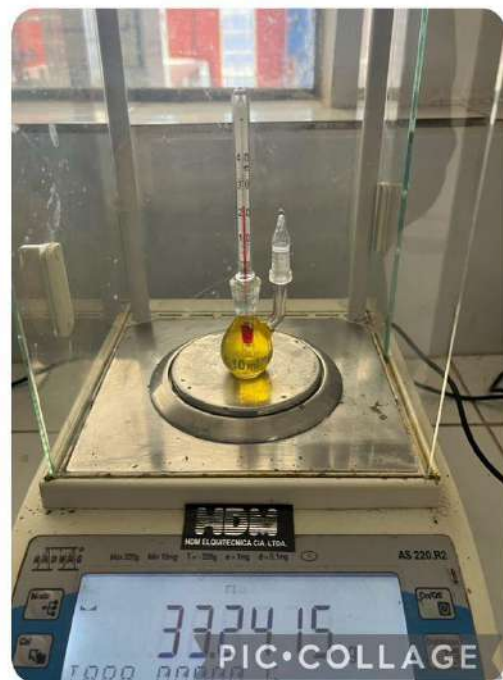
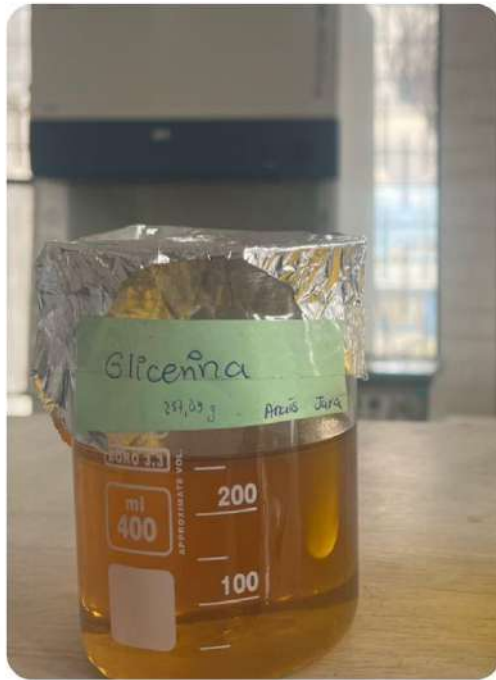
ANEXO A: PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL.



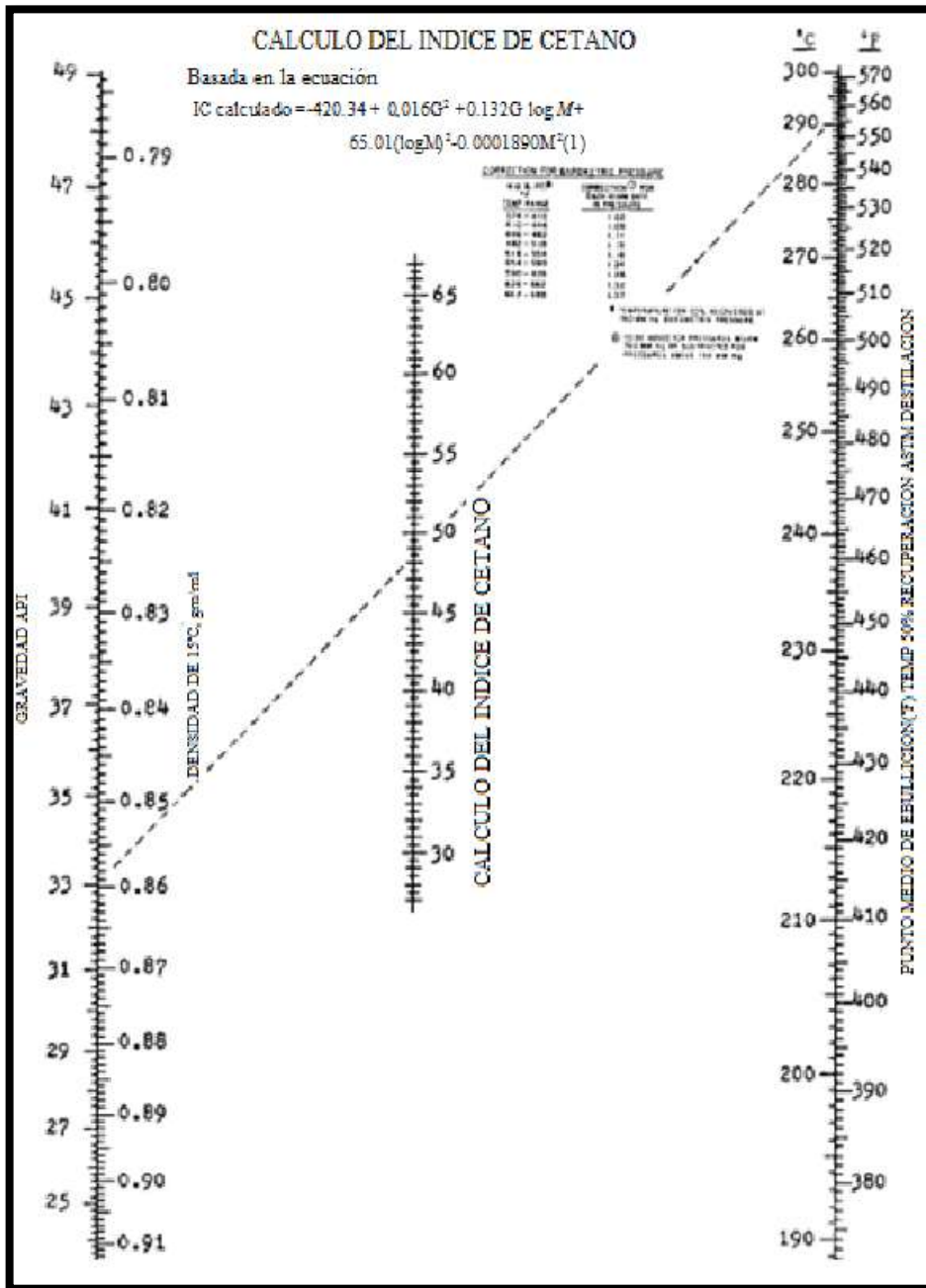
ANEXO B: CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICA DEL BIODIÉSEL.



ANEXO C: CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICA DE LA GLICERINA.



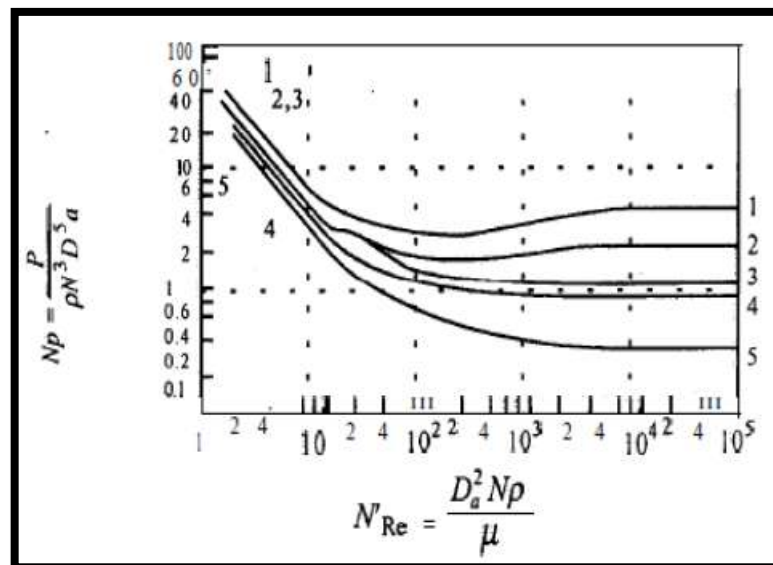
ANEXO D: GRÁFICA PARA CALCULAR EL ÍNDICE DE CETANO.



ANEXO E: FACTORES POR CORRECCIÓN DE TEMPERATURA SEGÚN EL MATERIAL.

°F	°C	ACERO	INOXIDABLE	ALUMINIO
70	21	1.00	0.67	1.00
100	38	1.00	0.67	1.00
212	100	1.00	0.67	1.00
250	121	0.99	0.65	0.95
300	149	0.97	0.63	0.89
350	177	0.96	0.61	NR
400	204	0.95	0.60	NR
450	232	0.93	0.59	NR
500	260	0.92	0.58	NR
550	288	0.90	0.57	NR
600	316	0.87	0.56	NR

ANEXO F: GRÁFICA PARA EL NÚMERO DE POTENCIA.



ANEXO G: TABLA DE PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AIRE.

Propiedades del aire a 1 atm de presión							
Temp. <i>T</i> , °C	Densidad ρ , kg/m ³	Calor específico c_p J/kg · K	Conductividad térmica k , W/m · K	Difusividad térmica α , m ² /s	Viscosidad dinámica μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática ν , m ² /s	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268

ANEXO H: FRECUENCIAS DE GRUPO PARA GRUPOS ORGÁNICOS FUNCIONALES.

Enlace	Tipo de compuesto	Frecuencias, cm ⁻¹	Intensidad
C—H	Alcanos	2850–2970	Fuerte
		1340–1470	Fuerte
C—H	Alquenos (>C=C<H)	3010–3095	Media
		675–995	Fuerte
C—H	Alquinos (—C≡C—H)	3300	Fuerte
C—H	Anillos aromáticos	3010–3100	Media
O—H	Alcoholes monoméricos, fenoles	690–900	Fuerte
	Alcoholes con puentes de hidrógeno, fenoles	3590–3650	Variable
	Ácidos carboxílicos monoméricos	3200–3600	Variable, a veces amplia
	Ácidos carboxílicos con puentes de hidrógeno	3500–3650	Media
N—H	Aminas, amidas	2500–2700	Amplia
C=C	Alquenos	3300–3500	Media
C=C	Anillos aromáticos	1610–1680	Variable
C=C	Alquinos	1500–1600	Variable
C—N	Aminas, amidas	2100–2260	Variable
C≡N	Nitrilos	1180–1360	Fuerte
C—O	Alcoholes, éteres, ácidos carboxílicos, ésteres	2210–2280	Fuerte
C=O	Aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres	1050–1300	Fuerte
NO ₂	Compuestos nitro	1690–1760	Fuerte
		1500–1570	Fuerte
		1300–1370	Fuerte

ANEXO I: ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL LABORATORIO “LACBAL”.



IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE:

Nombre:	JARA URRUTIA ANAIS DE LOS ANGELES	Teléfono:	0978769865
Dirección:	CONOCOTO	Número de muestras:	1
Correo electrónico:	anaisj.u28@hotmail.com		

INFORMACIÓN GENERAL

Realizado por:	Mgs. Dina Albuja	N° de proforma:	DC-P1106-2023	Recepción de muestras:	2023-01-23
Tipo de cliente:	Externo	N° de factura:	001-003-0075073	Inicio de ensayos:	2023-01-23
Transporte:	NA			Entrega de informe:	2023-01-26

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD
---	---	1106 - 01	Biodiésel	Vidrio	250 ml

CONDICIONES AMBIENTALES:

TEMPERATURA [°C]	HUMEDAD RELATIVA [%]	PRESIÓN [kPa]
15,0 a 22,0	32,0 a 70	72,4 a 73,2

NOTAS ACLARATORIAS

1.	Todos los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no todos están acreditados.
2.	Los métodos que constan de un * , son aquellos métodos acreditados. <u>Acreditación N° SAE IEN 21-002</u>
3.	Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados.
4.	Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del LACBAL.
5.	Cuando aplique, se realizan los ensayos aun sin cumplir con los criterios de aceptación y rechazo de las muestras de objeto de ensayo previa aceptación del cliente, la comparación respectiva con la normativa vigente NTE INEN.
6.	El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra, los resultados son únicamente de la muestra entregada por el cliente.
7.	El laboratorio no cuenta con otras instalaciones, por lo que todas las actividades son realizadas en las instalaciones de LACBAL.
8.	En caso de que el laboratorio sea el responsable del transporte de la muestra (convenio suscrito) LACBAL lo realizará de acuerdo a los protocolos establecidos para transporte en la norma ASTM D4057-19.
9.	El LACBAL no se responsabiliza por los datos obtenidos en muestras que no se encuentran dentro de las especificaciones técnicas presentadas en la proforma, los análisis ejecutados serán responsabilidad del cliente, toda vez que ésta presenta desvío en las condiciones de ingreso de la muestra siempre existirá la constancia para el respaldo de la ejecución del ensayo.



TABLA DE RESULTADOS:

Norma método	Ensayo	Norma método	Unidades	Valor obtenido
1106 - 01	Corrosión a la lámina de cobre	ASTM D130	----	1 B

Autenticación del Informe



Autorizado y firmado por:

Digitally signed by
DINA MELISSA
ALBUJA TAPIA
Date: 2023.01.26
15:38:09 -05'00'


Mgs. Dina Melissa Albuja Tapia
RESPONSABLE TÉCNICO DEL LACBAL

ANEXO J: ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL LABORATORIO “LAI”.

	INFORME DE RESULTADOS	Página:	1 de 1	
		FPT-7.8-05-03		

INFORME No. I-LAI-023-09-01

Orden de Trabajo No. DQ-OT0023-2023

INFORMACIÓN CLIENTE								
Cliente / Empresa:	Anais Jara	Persona de contacto:	Anais Jara					
Dirección / Telf.:	Conocoto/ 978769865	E-mail:	anaisj.u28@hotmail.com					
PARÁMETROS DE LA MUESTRA								
Identificación:	Biodiesel 1106-01	Fecha de muestreo:	* 18/1/2023					
Muestra:	M-LAI-023-09-01	Plan de muestreo:	No especificado por el cliente					
Tipo de contenedor:	Vidrio ámbar	Fecha inicio del ensayo:	30/1/2023					
Fecha de recepción:	26/1/2023	Fecha entrega informe:	1/2/2023					
CONDICIONES DE TRABAJO								
Temperatura y %HR ambiente:	19,0 °C	45,0 %	Norma de referencia:	ASTM D 4809				
			Procedimiento interno:	PE-7.2-03				
RESULTADOS								
COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA	Azufre	** 1820	ppm	0,1820	%W			
PROPIEDADES DE LA MUESTRA	Poder calórico superior	9489 ± 1,14	cal/g	39701,96 ± 4,76	kJ/kg			
DETALLE DEL ENSAYO REALIZADO			MUESTRA					
Parr 6400 Calorímetro Rev. 190314104420 ID de muestra: M-LAI-23-9-18 01/30/ 23 16:18:46 Método Equilibrio Tipo Final Modo Determinación ID de la bomba 1 Temperatura 29,7476 Valor EE 930,538 Temperatura 29,9730 Incremento de 9,5200 Peso 0,89230 Peso del co 0,05250 Fusible 50,0000 A cido 8,0000 Azufre 0,18200 Calor total 9488,19 cal/g			Parr 6400 Calorímetro Rev. 190314104420 ID de muestra: M-LAI-23-9-18 01/30/ 23 16:37:04 Método Equilibrio Tipo Final Modo Determinación ID de la bomba 1 Temperatura 29,7601 Valor EE 930,538 Temperatura 29,8980 Incremento de 10,3269 Peso 0,97193 Peso del co 0,05150 Fusible 50,0000 A cido 8,0000 Azufre 0,18200 Calor total 9489,80 cal/g					
DECLARATORIAS	* Dato proporcionado por el cliente. ** Por solicitud del cliente se colocó un valor bibliográfico de la cantidad de azufre, este valor fue obtenido del paper: Carvajal, Ghem; Medina, Sergio; Viteri Jorge; Salazar Ricardo. "Composición elemental de mezclas Biodiésel-diésel y análisis de sus emisiones de combustión - Investigación y Desarrollo", Volumen 1, Número 2, Diciembre 2017, ISSN: 1390-7042. Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados. El laboratorio no se responsabiliza por la toma ni almacenamiento de la muestra antes de llegar a las instalaciones de la Institución. El muestreo es responsabilidad del cliente y los resultados aplican a las muestras como se recibieron. Queda prohibido la reproducción parcial o total del presente informe sin previa autorización.							
OBSERVACIONES	No existió ninguna desviación durante el ensayo.							
Elaborado por:	GABRIELA VANESSA PÉREZ GUZMÁN <small>Analista de Laboratorio</small>		Revisado por:	ANDRÉS GABRIEL CHICO PROANO <small>Coordinador de Laboratorio</small>				
	Ing. Gabriela Pérez, MSc. ANALISTA DE LABORATORIO			Ing. Andrés Chico, MSc. COORDINADOR LAI				




Dirección: Quito | Ladrón de Guevara E11-253 | Edificio Nro. 17 | 5to. Piso
 Correo: a.instrumental@epn.edu.ec | Teléfonos: 022976300 ext. 4334 | 4332

ANEXO K: ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL LABORATORIO “LACONAL”.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO 0000892

Certificado No: 23-002		R51-7.8.01				
Solicitud N°: 23-002		Pág.: 1 de 1				
Fecha recepción:	19 de enero de 2023	Fecha de ejecución de ensayos: 23 al 24 de enero de 2023				
Información del cliente:						
Empresa:	C.I./RUC: 1805293287					
Representante:	Anais Jara					
Dirección:	Manuel Garcés 037 y Balarezo Montecayo	Tel: 0978769865				
Ciudad:	Ambato	Email: anaisj.u28@hotmail.com				
Descripción de las muestras:						
Producto:	Sebo de res	Peso: 200g				
Marca comercial:	n/a	Tipo de envase: Funda de Plástico				
Lote:	n/a	No de muestras: una				
F. Elb.:	n/a	F. Exp.: n/a				
Conservación:	Ambiente: Refrigeración: X Congelación:	Almac. en Lab: 15 días				
Cierres seguridad:	Ninguno: X Intactos: Rotos:	Muestreo por el cliente: 13 de enero de 2023				
RESULTADOS OBTENIDOS						
Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Sebo de res	00223002	Ninguno	Densidad 25/25°C, Volumetría	INEN 35	g/cm ³	0,9027
			Acidez, INDICE DE ACIDEZ, Potenciometría	AOAC 942.15. Ed. 21, 2019	mg/g	0,0
			Índice de peróxidos, Yodometría	NTE-INEN-ISO 3960	mEqO ₂ /kg	10,7
			Humedad, Gravimetría	AOAC Ed. 21/2019 925.10	%	70,6
Conds. Ambientales: 20.2°C; 54.0%HR						
 Ing. Gladys Risueño Directora de Calidad						
Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si						
Fecha de emisión del certificado: 26 de enero de 2023						

Nota: La muestra fue suministrada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra en las condiciones recibidas. El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los resultados emitidos en base a la muestra entregada por el cliente.

El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento negociable. Solo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

La información que se está enviando es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser divulgada. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminarla inmediatamente. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el precio legal permissivo.



CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

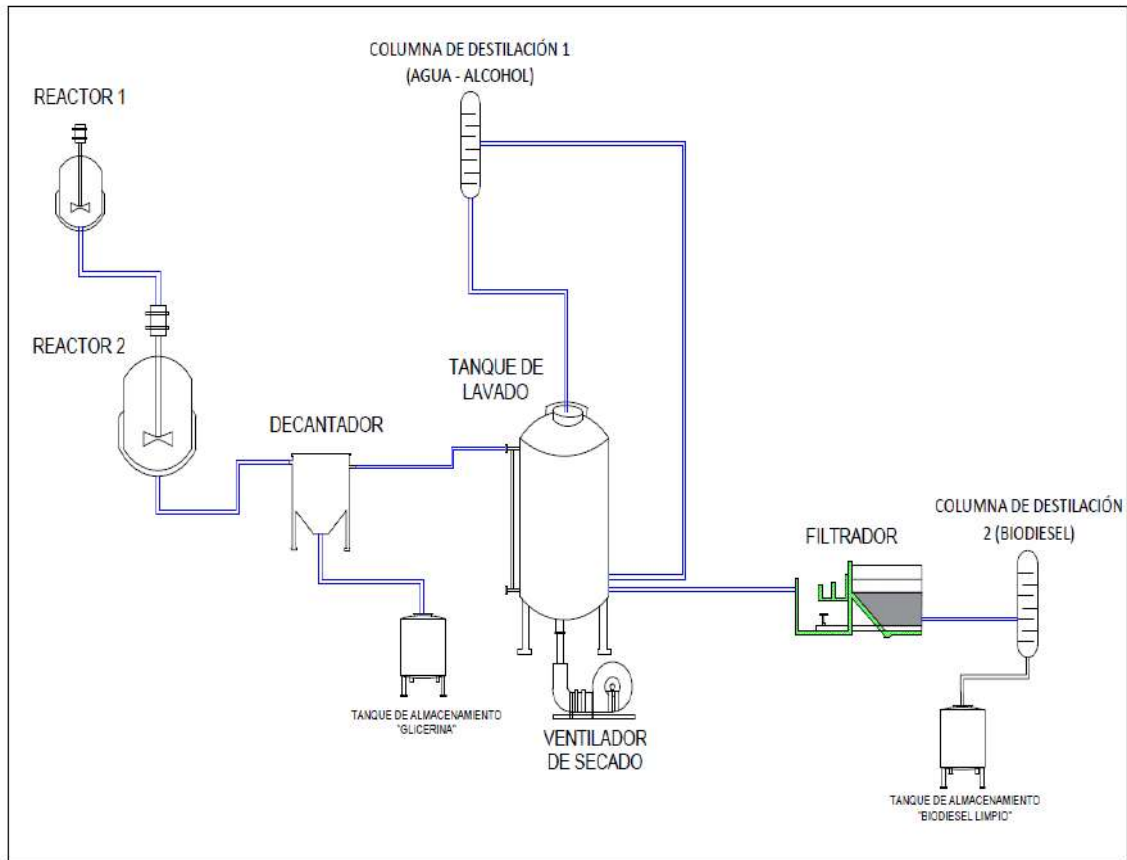
Solicitud N°: 22-143		Certificado No: 22-143	R01-7.8.01
Fecha recepción: 27 de octubre de 2022		Fecha de ejecución de ensayos: 27 octubre al 01 de noviembre de 2022	
Información del cliente:			
Empresa:	Curtiduría Tungurahua	C.I./RUC:	1890074703001
Representante:		Tlf:	032434141
Dirección:	Parque Industrial Calle 8 s/n y F	Email:	marcosalgado61@hotmail.com
Ciudad:	Ambato		
Descripción de las muestras:			
Producto:	Grasa de Res	Peso:	200g
Marca comercial:	n/a	Tipo de envase:	Envase de vidrio
Lote:	n/a	No de muestras:	una
F. Elb.:	n/a	F. Exp.:	n/a
Conservación:	Ambiente: X Refrigeración: Congelación:	Almac. en Lab:	15 días
Cierres seguridad:	Ninguno: X Intactos: Rotos:	Muestreo por el cliente:	25 de octubre de 2022

RESULTADOS OBTENIDOS

Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/ Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Grasa de Res	14322293	Ninguno	Cenizas, Gravimetría	INEN 401	%	0,005
			Proteína, Kjeldhal	AOAC 991.2. Ed. 21, 2019	%(Nx6,25)	2,73
			Humedad, Gravimetría	AOAC Ed. 21, 2019 925.10	%	0,162
			Grasa, Gravimetría	PE08-7.2-FQ, AOAC Ed. 21, 2019 2003.06	%	97,1
			*Carbohidratos Totales, Cálculo	Cálculo	%	0
			*Energía, Cálculo	Cálculo	kcal/100 g	885
					kJ/100 g	3702
			*Densidad 25/25°C, Volumetría	INEN 35	g/cm ³	0,8967
			*Acidez, Potenciometría	INEN 38	% ácido palmítico	1,5
			*Pérdida por Calentamiento, Gravimetría	INEN 39	%	0,162
			*Índice de peróxidos, Yodometría	NTE-INEN-ISO 3960	mEqO ₂ /Kg	3,44
			Enterobacterias, Petrifilm	PE04-5.4-MB AOAC Ed. 21, 2019 2003.01	UFC/g	<10
			Coliformes Totales, Compact Dry	PE01-7.2-MB AOAC R.1. 110402 Ed. 21, 2019	UFC/g	<10
			E. Coli, Compact Dry	PE01-7.2-MB AOAC R.1. 110402 Ed. 21, 2019	UFC/g	<10
			Salmonella, Petrifilm	PE08-7.2-MB AOAC 2014.01 Ed. 21, 2019	En 25 g	No detectado



ANEXO L: DISEÑO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL





epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 20 / 06 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Anaís de los Ángeles Jara Urrutia
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0894-DBRA-UPT-2023