



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Departamento de Ingenierías

**REPORTE FINAL PARA ACREDITAR LA RESIDENCIA PROFESIONAL DE LA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

PRESENTA:
LUIS FERNANDO HERNÁNDEZ SALAZAR

CARRERA:
INGENIERÍA INDUSTRIAL

***[APLICACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES Y GESTIÓN DE COSTOS EN
EL PROCESO A NIVEL DE LABORATORIO DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL A
PARTIR DE MALEZAS: ACAHUALILLO]***

Laboratorio de Conversión de la Energía
Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga



M. en C. DORA MARÍA GUEVARA
ALVARADO
Asesor externo

DR. JOSÉ ALONSO DENA
AGUILAR
Asesor interno

Junio de 2021

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis Padres por todo su apoyo y acompañamiento a lo largo de mi preparación profesional, su entrega y disposición siempre estuvo a mi alcance, especialmente quiero agradecer a mi Padre José Luis Hernández Martínez, quien estuvo conmigo y me apoyo en todo el viaje llamado: universidad. Lamentablemente no puedo externarlo físicamente con el este logro ya que él se encuentra en un lugar mejor pero no quiero desaprovechar esta oportunidad para externar la persona tan admirable, citando al maestro “pozo”, hay que ser primero humanos y después ingenieros. Mi papá me enseñó como ser una persona de bien. Y aunque no está conmigo físicamente, este logro es de los dos.

Agradezco mucho a la M. en C. Dora María Guevara Alvarado y al Dr. José Alonso Dena Aguilar por esta gran oportunidad que me dieron para desarrollar un importante proyecto que será pilar de nuevas investigaciones con el fin de mejorar nuestro entorno social con proyectos ecológicos, innovadores y humanistas. De forma especial les agradezco su acompañamiento, asesoría y transmitancia de conocimiento y experiencia para poder desarrollar este proyecto.

También agradezco al TecNM campus Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga por ser una escuela con gran oportunidad de desarrollo para todos los estudiantes, docentes y personal administrativo, ahora a un paso de ser egresado puedo decir que el ITPA es tierra siempre fértil.

Finalmente agradezco a todos y cada uno de mis compañeros de carrera, porque gracias a ellos y a los docentes del Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga se puede hacer realidad un dicho: “cada día se aprende algo nuevo”. Gracias a su cercanía, entrega, trabajo y educación aprendí de forma profesional y humanamente cada día algo más.

RESUMEN

“APLICACIÓN DE DISEÑOS EXPERIMENTALES Y GESTIÓN DE COSTOS EN EL PROCESO A NIVEL LABORATORIO DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL A PARTIR DE MALEZAS: ACAHUALILLO”

Por: **LUIS FERNANDO HERNÁNDEZ SALAZAR**

El Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga es una institución de educación superior que se localiza en el Municipio de Pabellón de Arteaga al norte del Estado de Aguascalientes y es perteneciente al Tecnológico Nacional de México (TecNM). Actualmente cuenta con una oferta educativa de 5 programas de Licenciatura y 1 programa de Posgrado con una matrícula superior a los 1500 estudiantes.

Dentro de sus instalaciones se encuentra el laboratorio de Conversión de la Energía adscrito al programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica donde se desarrollan proyectos de posgrado, investigación e innovación relativos a la línea de generación y aplicación del conocimiento “conversión de la energía”. Uno de estos proyectos se refiere a la obtención de biodiésel. Se estudia la producción de biodiésel a partir de la transesterificación de aceite vegetal proveniente de malezas para sus posibles aplicaciones en la obtención de energéticos no convencionales.

Para producir biodiésel se pueden emplear aceites vegetales, por lo tanto, es necesario contar con un aceite vegetal para poder llevar a cabo reacciones de transesterificación. El aceite vegetal puede ser obtenido de semillas u otras partes de las plantas a través de procesos mecánicos o químicos. En el caso de una extracción química se emplea un solvente orgánico como los alcoholes, así como procesos de extracción Soxhlet o destilación simple. En el caso de una reacción de transesterificación se emplean comúnmente alcoholes con un catalizador básico para propiciar que los triglicéridos del aceite vegetal reaccionen a ésteres (biodiésel) y glicerina (subproducto).

Las malezas son plantas que crecen de manera silvestre y se les considera como plantas indeseables en los campos de cultivos alimentarios debido a que crecen de forma agresiva e impiden el desarrollo de otras especies. Una maleza está compuesta de

raíces, tallo, hojas, flores y semillas, por lo que, en particular, las semillas podrían ser empleadas en estudios de obtención de biodiésel a partir de ellas. Debido a lo anterior, se pueden emplear especies arvenses (malezas) como la aceitilla amarilla (*Bidens ferulifolia* (Jacq.) DC.) o acahualillo (*Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers.) para estudiar su capacidad de producción de biodiésel bajo ciertas condiciones y variables de operación y así dar un valor agregado a estas especies.

En este trabajo se aplicaron técnicas y metodologías de la Ingeniería Industrial para establecer un diseño experimental ortogonal de Taguchi y una gestión de costos que permita realizar procesos de transesterificación de un aceite vegetal obtenido a partir de malezas y conocer preliminarmente el costo de producción de biodiésel a baja escala a nivel laboratorio.

La propuesta de solución consistió en estudiar la posibilidad de obtención de biodiésel a partir de una reacción de transesterificación de un aceite vegetal de malezas y conocer cuál es el costo de su producción a nivel laboratorio. Se logró establecer un diseño experimental que permitió realizar la extracción de aceite vegetal y reacciones de transesterificación bajo diferentes condiciones de reacción. Se propone que el biodiésel obtenido se someta a pruebas de caracterización como trabajo a futuro.

Este trabajo es parte de un proyecto global de producción de biodiésel a partir de malezas. Por lo que esté estudio se desarrolló de manera grupal por los requerimientos, condiciones y características del proyecto de residencia especificados por la Institución proponente del proyecto. Por tanto, los reportes de residencia de los participantes comparten las mismas secciones básicas y logros del documento de residencia. En este estudio se presentan de manera integral los resultados empleando malezas, dentro de las cuales se incluye a la maleza de acahualillo. Lo anterior bajo autorización de la Academia de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga.

Dirigido por:

M. en C. Dora María Guevara Alvarado

Dr. José Alonso Dena Aguilar

ÍNDICE

	Pág.
I. GENERALIDADES DEL PROYECTO	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo del residente.....	2
1.3 Problema(s) a resolver.....	4
1.4 Justificación.....	5
1.5 Objetivos.....	6
1.5.1 Objetivo general.....	6
1.5.2 Objetivos específicos.....	7
II. MARCO TEÓRICO	8
2.1 Biodiésel.....	8
2.2 Malezas (Especies arvenses).....	10
2.3 Extracción de aceites vegetales por destilación.....	12
2.3.1 Destilación simple.....	12
2.3.2 Extracción soxhlet.....	15
2.4 Transesterificación.....	17
2.5 Arreglo Ortogonal de Taguchi.....	18
2.6 Técnicas de gestión de costos.....	20
2.6.1 Inversión inicial.....	21
2.6.2 Costos de mano de obra directa.....	21
2.6.3 Costos de mano de obra indirecta.....	21
2.6.4 Costos de materia prima.....	22
III. DESARROLLO	24
3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....	24
3.1.1 Pruebas de extracción de aceite vegetal.....	24
3.1.2 Pruebas de transesterificación.....	29
3.1.3 Gestión de costos.....	31

	Pág.
3.2 Cronograma de actividades.....	42
IV. RESULTADOS.....	43
4.1 Extracción de aceite vegetal	43
4.2 Transesterificación de aceite vegetal.....	44
4.3 Gestión de costos.....	45
V. CONCLUSIONES.....	47
VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....	48
VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	49
Anexo 1. Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	52
Anexo 2. Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	53

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Serie de arreglos para experimentos con factores a 2 niveles.....	19
Tabla 2. Arreglo $L8(2^4),(4^1)$	20
Tabla 3. Factores y niveles experimentales empleados en un arreglo $L8(2^4),(4^1)$	24
Tabla 4. Arreglo Taguchi L4 para el modelo de transesterificación.....	30
Tabla 5. Costo total de la inversión inicial.....	31
Tabla 6. Descripción de actividades del diagrama Pert (Soxhlet).....	33
Tabla 7. Descripción de actividades del diagrama Pert (Dest. Simple).....	34
Tabla 8. Mano de obra directa.....	37
Tabla 9. Costo total de materia prima directa.....	37
Tabla 10. Costo de material indirecto.....	38
Tabla 11. Costo de servicios.....	38
Tabla 12. Cálculo de depreciación de maquinaria y equipo.....	39
Tabla 13. Resumen de Mano de obra indirecta.....	40
Tabla 14. Cantidades obtenidas en la extracción de aceite.....	43

	Pág.
Tabla 15. Medición de transmitancia y PH.....	44
Tabla 16. Cantidades obtenidas en el proceso de Transesterificación.....	45
Tabla 17. Resumen Gestión de costos.....	46

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.....	4
Figura 2. Biodiésel.....	9
Figura 3. Propiedades del biodiésel y diésel.....	9
Figura 4. Biodiésel a base de aceite de palma.....	10
Figura 5. Plantas arvenses (Malezas).....	11
Figura 6. Aceitilla.....	12
Figura 7. Equipo de laboratorio para destilación simple.....	13
Figura 8. Proceso de destilación simple.....	15
Figura 9. Equipo de extracción soxhlet.....	16
Figura 10. Transesterificación.....	17
Figura 11. Gestión de costos.....	20
Figura 12. Mano de obra directa.....	22
Figura 13. Proceso de extracción soxhlet.....	25
Figura 14. Producto de extracción soxhlet.....	25
Figura 15. Proceso de destilación simple.....	26

	Pág.
Figura 16. Producto de destilación simple.....	26
Figura 17. Espectrómetro.....	27
Figura 18. Filtro RGB.....	27
Figura 19. Muestras de agua destilada, alcohol y aceite vegetal.....	28
Figura 20. Prueba de PH.....	28
Figura 21. Solución de calibración para medidor de PH.....	29
Figura 22. Diagrama Pert del proceso soxhlet.....	32
Figura 23. Diagrama Pert del proceso destilación simple.....	33
Figura 24. Proceso de transesterificación.....	34
Figura 25. Cronograma de actividades general.....	42

I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

El INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA es una institución de educación superior ubicada en el Municipio de Pabellón de Arteaga del Estado de Aguascalientes y como parte de sus objetivos se encuentra el desarrollo de proyectos de innovación e investigación a través de residencias profesionales que den soluciones a problemas de la industria, de ciencia aplicada o de desarrollo tecnológico. Su laboratorio de Conversión de la Energía inicio operaciones en enero de 2019 dentro del programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica que se oferta en el plantel y donde se promueven proyectos de posgrado, investigación e innovación acordes a la línea de investigación de conversión de la energía. Esta línea de investigación se enfoca a procesos de conversión de la energía y energías renovables mediante el diseño e integración de procesos orientados para la generación, almacenamiento y uso eficiente de la energía.

Uno de estos proyectos se refiere a la obtención de biodiésel. Se estudia la producción de biodiésel a partir de la transesterificación de aceite vegetal proveniente de malezas para sus posibles aplicaciones en la obtención de energéticos no convencionales.

Las malezas son plantas que crecen de manera silvestre y se les considera como plantas indeseables en los campos de cultivos alimentarios debido a que crecen de forma agresiva e impiden el desarrollo de otras especies. Una maleza está compuesta de raíces, tallo, hojas, flores y semillas, por lo que, en particular, las semillas podrían ser empleadas en estudios de obtención de biodiésel a partir de ellas. Debido a lo anterior, se pueden emplear especies arvenses (malezas) como la aceitilla amarilla (*Bidens ferulifolia* (Jacq.) DC.) o acahualillo (*Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers.) para estudiar su capacidad de producción de biodiésel bajo ciertas condiciones y variables de operación y así dar un valor agregado a estas especies.

Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo es estudiar la obtención de aceites vegetales a partir de las semillas de especies arvenses (malezas) para su posterior reacción de transesterificación y obtener biodiésel bajo ciertas condiciones y

variables de operación y así dar un valor agregado a estas especies. En particular se aplicaron técnicas y metodologías de la Ingeniería Industrial para establecer un diseño experimental ortogonal de Taguchi que permita realizar procesos de extracción de aceite vegetal y transesterificación a partir de malezas como la aceitilla amarilla (*Bidens ferulifolia* (Jacq.) DC.) o acahualillo (*Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers.).

Adicional a lo anterior, se aplicaron técnicas de gestión de costos para determinar el costo a nivel laboratorio del proceso.

La presente propuesta de estudiar la posibilidad de obtención de biodiésel a partir de aceite vegetal de malezas permite otorgar un valor agregado a este tipo de plantas que actualmente no se considera en el sector agroindustrial.

En este proyecto se establece un diseño experimental para obtener aceites vegetales de las malezas y su transesterificación a partir de diferentes metodologías experimentales.

1.2 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo del residente

El ramo económico de la institución es la educación, específicamente la educación superior, así como el desarrollo de proyectos de innovación e investigación con la industria (desarrollo tecnológico) o académicos (ciencia aplicada).

Sus políticas de misión, visión, objetivos (retos) y valores de la institución son:

Misión

Brindar un servicio de educación superior de calidad comprometido con la generación, difusión y conservación del conocimiento científico, tecnológico y humanista, a través de programas educativos que permitan un desarrollo sustentable, conservando los principios universales en beneficio de la humanidad.

Visión

Ser una institución de educación superior reconocida a nivel nacional e internacional, líder en la formación integral de profesionistas de calidad y excelencia, que promueve el desarrollo armónico del entorno.

Objetivos de la empresa

Asegurar la calidad de todos los procesos académicos, entre los que se encuentran:

- El diseño de especialidades
- Asesoría de residencias profesionales
- Desarrollo de proyectos de innovación
- Servicios de educación continua
- Investigación educativa
- Acreditaciones de planes de estudio

Valores

A fin de guiar y orientar las acciones cotidianas de todo su personal, la institución define los siguientes valores institucionales:

- Compromiso. - lograr propósitos comunes mediante el trabajo responsable y en equipo, mejorando permanentemente el ser, hacer y tener mediante la participación activa y el liderazgo compartido.
- Responsabilidad. - decidir y actuar conforme al análisis previo de las consecuencias inmediatas o mediatas de las acciones.
- Respeto. - actitud personal y colectiva hacia la conservación, mejoramiento y protección de las diversas formas de vida, además de la aceptación de la diversidad propia de lo humano.
- Cooperación. - facilitar condiciones que allanen el trabajo de los demás, y capacitar a toda la gente para propiciar su desarrollo personal y profesional dentro y fuera de la institución.
- Honestidad. - liderazgo que toma decisiones con base en una información completa, retroalimentando directamente con resultados e impacto mutuo, dando transparencia a cada una de las acciones personales e institucionales.
- Equidad. - crear un ambiente que permita establecer un sistema de reconocimiento al esfuerzo individual y de grupo en la institución.

En la Figura 1, se presenta el organigrama de la institución, así como el área de trabajo del residente. Las funciones del residente son propias del proyecto de residencia y se enfocan al diseño, construcción, control y automatización de un concentrador solar para una maquina extrusora.

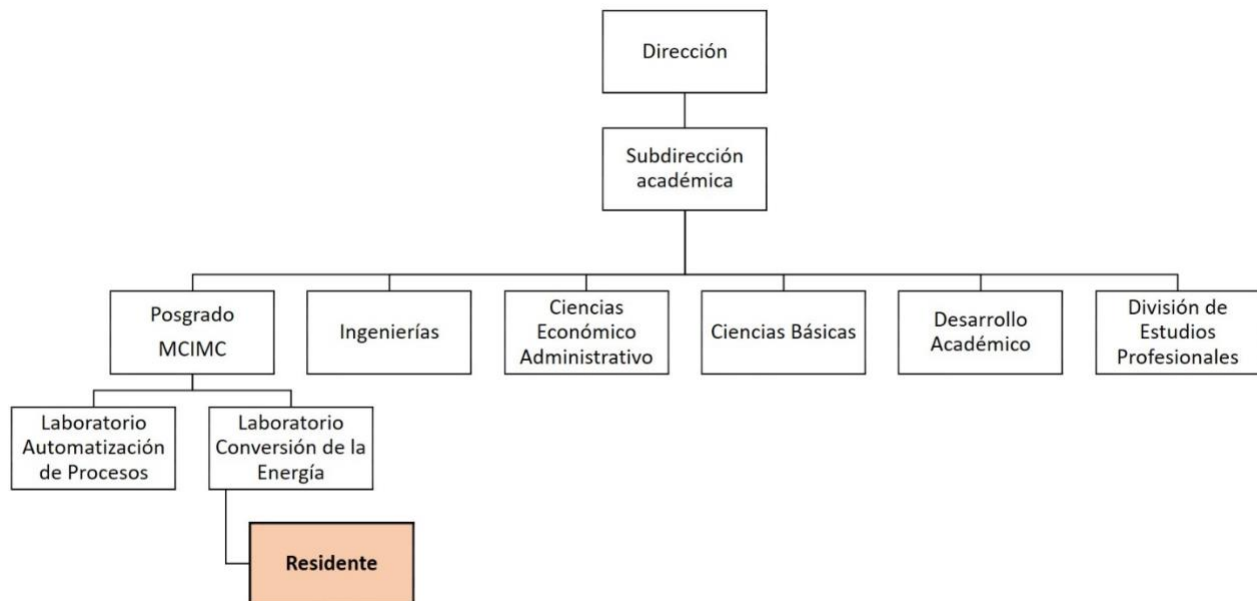


Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.

1.3 Problema(s) a resolver

Para producir biodiésel se emplean aceites vegetales o grasas. En particular los aceites vegetales son lípidos que contienen ácidos grasos que pueden ser sometidos a reacciones de transesterificación para generar el biodiésel.

Un aceite vegetal puede ser extraído de plantas como las especies arvenses, sin embargo, deben ser sometidos a reacciones de transesterificación bajo ciertas condiciones. En específico, la reacción de transesterificación convencional emplea un alcohol y un catalizador básico para llevarse a cabo.

Por otro lado, las malezas o especies arvenses son consideradas dañinas por los agricultores debido a que compiten con el crecimiento de las especies alimentarias.

Derivado de lo anterior, se han detectado las siguientes áreas de oportunidad:

1.- Extracción de aceites vegetales

- Estudiar y establecer un proceso químico de extracción de aceites vegetales a partir de malezas a nivel laboratorio.
- Definir condiciones de operación y límites de control de un proceso de extracción de aceite vegetal mediante un diseño experimental.

2.- Transesterificación de aceites vegetales

- Estudiar y establecer un proceso químico de transesterificación de aceites vegetales a partir de malezas a nivel laboratorio.
- Definir condiciones de operación y límites de control de un proceso de transesterificación de aceite vegetal mediante un diseño experimental.

3.- Gestión de costos

- Realizar un análisis de gestión de costos para conocer el valor económico del desarrollo del proceso.

Obtener aceite vegetal a partir de malezas y luego realizar una transesterificación para generar biodiésel por procesos químicos, puede otorgarles un valor agregado, sobre todo, si el proceso puede ser escalado en cantidades aceptables para su consideración como materia prima para producir un energético alternativo, de ahí que es conveniente conocer un costo inicial del proceso para buscar su optimización.

1.4 Justificación

En los últimos años se ha impulsado la investigación y el desarrollo de nuevas fuentes de energía como una solución para sustituir el consumo de combustibles fósiles. Entre estas nuevas fuentes de energía podemos mencionar los biocombustibles ya que son recursos energéticos derivados a partir de biomasa.

En general, los biocombustibles son producidos por procesos convencionales como la transesterificación de aceites para manufacturar biodiésel, entre otros.

Específicamente el biodiésel es un biocombustible empleado como combustible alternativo de energía limpia ya que se obtiene a partir de aceites vegetales o grasas. En términos químicos, el biodiésel, es un éster que se obtiene mediante la reacción de transesterificación de los triglicéridos de los aceites vegetales o grasas con alcoholes en presencia de un medio álcali o ácido a temperaturas de reacción cercanas al punto de ebullición del alcohol. En términos de funcionalidad, el biodiésel, se produce para motores a diésel convencionales y es empleado para vehículos motores.

Dentro de este panorama, obtener biodiésel a partir de la transesterificación de aceites vegetales de especies arvenses presenta grandes ventajas para ser utilizado como combustible. Las plantas arvenses, también llamadas comúnmente malezas o hierbas de campo, son plantas de temporal que crecen en ciertas épocas del año y que se hospedan generalmente en el perímetro de campos de cultivo o que surgen en terrenos de cultivo momentáneamente abandonadas después de un periodo de cosecha o en terrenos de descanso. Son especies que pueden tener aplicaciones como plantas medicinales, ornamentales y se caracterizan por ser melíferas, lo que propician que sean aptas para el alojamiento de diversas especies de insectos. Sin embargo, en los terrenos de cultivos agrícolas, campos en abandono, orillas de caminos y/o áreas rurales son tratadas como malezas sin tener algún valor agregado identificado.

Debido a su gran disposición de biomasa en la naturaleza y que no tienen hoy en día asignado un valor agregado, la presente propuesta de establecer un proceso de transesterificación de un aceite vegetal a nivel laboratorio permitirá establecer un valor a las especies arvenses con valor para el sector agroindustrial mediante una propuesta de proceso a nivel escala piloto.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Efectuar una metodología determinada de obtención de biodiésel a nivel laboratorio mediante la extracción del aceite vegetal de una maleza y su posterior transesterificación para analizar el costo del proceso.

1.5.2 Objetivos específicos

- Extraer el aceite vegetal de una maleza mediante un diseño experimental definido para posteriores pruebas de obtención de biodiésel.
- Realizar pruebas de transesterificación del aceite vegetal extraído mediante un diseño experimental definido para obtener biodiésel.
- Aplicar técnicas de gestión de costos mediante el análisis del proceso para estimar el comportamiento financiero del proceso a nivel laboratorio.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 BIODIÉSEL

El biodiésel es un combustible líquido producido a partir de materias renovables, como los aceites vegetales o grasas animales, que actualmente sustituye parcial o totalmente al diésel de petróleo en los motores diésel. De acuerdo con algunas empresas en Estados Unidos, Francia, Alemania, Brasil y Argentina, que ya usan biodiésel, al incorporarlo a un motor convencional se reducen las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de azufre, hidrocarburos aromáticos y partículas sólidas. Puede funcionar en cualquier motor diésel, y se presume que duplica la vida útil de los vehículos, no obstante, algunas de sus propiedades (alta viscosidad, baja volatilidad, menor poder calorífico, estabilidad a oxidación, etc.) deben ser mejoradas para poder lograr reemplazar a 100% el uso de combustibles fósiles.¹

El biodiésel se describe químicamente como una mezcla de ésteres de alquilo (metilo y etilo, principalmente), con cadenas largas de ácidos grasos. Estas cadenas, al estar oxigenadas, le otorgan al motor una combustión mucho más limpia. Este combustible puede utilizarse puro (B100, conocido como "gasoil verde"), o en mezclas de diferentes concentraciones con el diésel de petróleo. La mezcla más utilizada en nuestros días es a 20%, es decir, 20 partes de biodiésel y 80 partes de petrodiesel. Cuando es utilizado como aditivo, sus concentraciones normalmente no superan 5%.²

El biodiésel es un líquido de color amarillo-ámbar, con una viscosidad similar a la del diésel de petróleo, no es inflamable, no es explosivo, con un punto de inflamación superior comparado con el diésel de petróleo, es biodegradable, disminuye significativamente las emisiones de gases tóxicos y de otras sustancias volátiles cuando se quema como combustible. Además, presenta mejor índice de cetano (referencia para conocer el grado de inflamabilidad) y mejor eficiencia en la lubricación.³



Figura 2. Biodiésel.

El biodiésel tiene en general un poder calórico inferior algo menor al diésel (7,795 kcal/l vs. 8,74 kcal/l). Su viscosidad cinemática en general está entre 1,9 y 6,0 cSt, aunque este parámetro no difiere sustancialmente del gasoil (1,3-4,1 cSt). Su densidad es de aproximadamente 0,878 kg/L a 15°C, y su flash point llega a sobrepasar los 130°C, a diferencia del gasoil, cuyo punto de inflamación es de apenas 60-80°C, lo que lo hace más seguro como combustible. Posee además un número cetano ligeramente mayor al del gasoil, y duplica el poder de lubricación del mismo.⁴

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las características típicas del biodiésel y del diésel petrolífero.

Datos fisico-químicos	Biodiesel	Diesel
Composición combustible	Éster metílico Ácidos grasos C12-C22	Hidrocarburo C10-C21
Poder calorífico inferior, kcal/kg (aprox.)	9500	10800
Viscosidad cinemática, cSt (a 40°C)	3,5-5,0	3,0-4,5
Peso específico, g/cm ³	0,875-0,900	0,850
Azufre, % P	0	0,2
Punto ebullición, °C	190-340	180-335
Punto inflamación, °C	120-170	60-80
Punto escurrimiento, °C	-15/+16	-35/-15
Número cetano	48-60	46
Relación estequiométrica Aire/comb. p/p	13,8	15

Figura 3. Propiedades del biodiésel y el diésel.

La mayoría del biodiésel producido en el mundo es proveniente de aceites vegetales principalmente del aceite de colza en Europa y Canadá, y aceite de soya en Estados Unidos. En Colombia, la principal materia prima para la producción de biodiésel es el aceite de palma, pues actualmente cuenta con más de 300.000 hectáreas sembradas en palma de aceite y cinco plantas productoras de biodiésel. ⁵



Figura 4. Biodiésel a base de aceite de palma.

2.2 MALEZAS (ESPECIES ARVENSES)

Los campos de cultivo alimenticio tradicionales en México (frijol, maíz, chile, tomate, trigo, café, caña de azúcar, calabaza, entre otros) se caracterizan porque dentro de un mismo espacio conviven las plantas alimenticias con otras especies de plantas. Siendo una de este tipo de especies las denominadas plantas arvenses. Sin embargo, en los terrenos de cultivos agrícolas, campos en abandono, orillas de caminos y/o áreas rurales son tratadas como malezas sin tener algún valor agregado identificado. Las plantas arvenses, también llamadas comúnmente malezas o hierbas de campo, son plantas de temporal que crecen en ciertas épocas del año y que se hospedan generalmente en el perímetro de campos de cultivo o que surgen en terrenos de cultivo momentáneamente abandonadas después de un periodo de cosecha o en terrenos de descanso. Las plantas arvenses poseen diversas características que las hacen de utilidad: (a) en términos ecológicos, las plantas arvenses, juegan un papel importante porque guardan humedad, son hábitat de varias especies de insectos, evitan la erosión del suelo, participan en el ciclo de nutrientes y sobretodo crecen espontáneamente sin la

intervención del hombre lo que significa una alta disponibilidad de biomasa sin costo alguno de producción; (b) en términos culturales, algunas especies son aprovechadas como plantas medicinales, forraje, ornamento, alimento de ganado, entre otras utilidades. Se consideran como arvenses a todas las plantas superiores, que por crecer junto o sobre plantas cultivadas, perturban o impiden el desarrollo normal, encarecen el cultivo y merman sus rendimientos o la calidad. Con el manejo adecuado de arvenses, se consigue además la protección de los suelos contra la erosión, la regulación de las aguas de escorrentía, la conservación de la biodiversidad genética y la reducción de los costos de los desyerbes hasta un 85%. Las arvenses, en el sentido agronómico, representan plantas sin valor económico o que crecen fuera de lugar interfiriendo en la actividad de los cultivos, afectando su capacidad de producción y desarrollo normal por la competencia de agua, luz, nutriente y espacio físico, o por la producción de sustancias nocivas para el cultivo, ver Figura 5.⁶



Figura 5. *Plantas arvenses (malezas).*

Dentro de las especies arvenses podemos citar algunas de ellas: la amapola silvestre *Anoda cristata* (L.) Schltidl empleada como alimento o de ornamento, la verdolaga *Portulaca oleracea* L. empleada como alimento, el pápalo *Porophyllum macrocephalum* DC empleada como alimento o la *Amaranthus hybridus* L. empleada como forraje, entre otras.⁷

En particular en el estado de Aguascalientes y de forma muy notoria durante el verano y la temporada de lluvias se observa un prolifero crecimiento de las especies arvenses, aceitilla blanca (*Bidens odorata Cav.*), aceitilla amarilla (*Bidens ferulifolia (Jacq.) DC.*) y ahucalillo (*Simsia amplexicaulis (Cav.) Pers.*) que son especies que pueden tener aplicaciones como plantas medicinales, ornamentales y se caracterizan por ser melíferas, lo que propician que sean aptas para el alojamiento de diversas especies de insectos.⁸⁻¹¹

Por ejemplo, la aceitilla amarilla es una planta compuesta del género *Bidens* llamada también té de milpa. Se encuentra como maleza en varios Estados de la República Mexicana como lo son Chihuahua, Monterrey, Guadalajara, Guanajuato, Colima, Ciudad de México, Aguascalientes, por mencionar algunos.¹²



Figura 6. Aceitilla.

2.3 EXTRACCIÓN DE ACEITES VEGETALES POR DESTILACIÓN

2.3.1 Destilación simple

La destilación simple se utiliza cuando la mezcla de productos líquidos a destilar contiene únicamente una sustancia volátil, o bien, cuando ésta contiene más de una sustancia volátil, pero el punto de ebullición del líquido más volátil difiere del punto de ebullición de los otros componentes en, al menos, 80 °C. La separación se fundamenta en la diferencia de la presión de vapor de los diferentes componentes de la mezcla.

El resultado final es la destilación de un solo producto, ya sea:

- porque en la mezcla inicial sólo había un componente, o
- porque en la mezcla inicial uno de los componentes era mucho más volátil que el resto.¹³

La destilación simple es un proceso que consiste en el aumento de la temperatura aplicado a una disolución. Dicho aumento se realizará hasta poder alcanzar el máximo punto de ebullición. Cuando esto ocurre, la transición entre el estado líquido al gaseoso se observa cuando hay un burbujeo constante. Para poder realizar este procedimiento, se utiliza un equipo especialmente diseñado para ello que es bastante simple. Para empezar, se emplea un mechero— o también una manta de calentamiento—, para lo cual se requiere de un matarás de vidrio refractario de forma redonda.

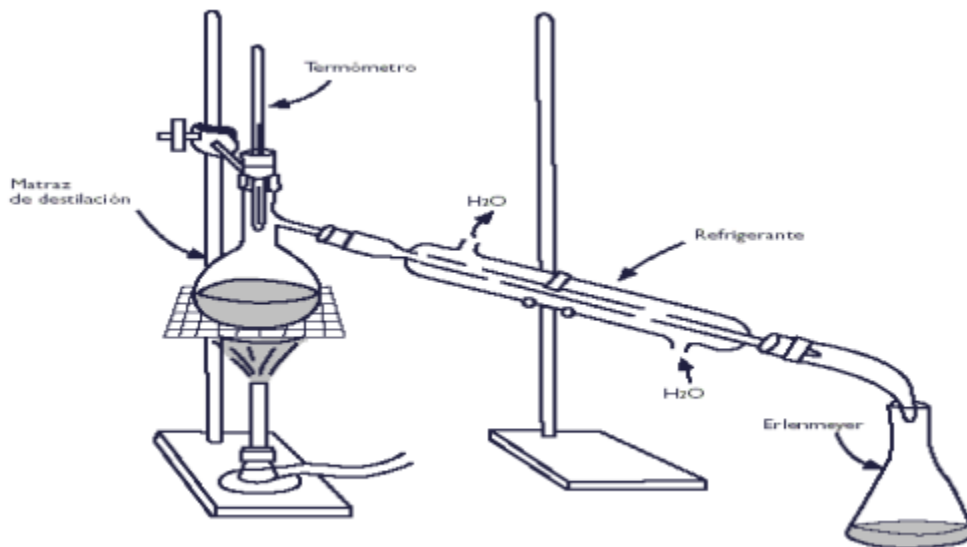


Figura 7. Equipo de laboratorio para destilación simple.

En el matraz (específicamente en la boquilla) se coloca un adaptador que debe de ser elaborado con vidrio refractario, el cual a su vez se subdivide en tres boquillas más que son de vidrio esmerilado. La secuencia es la siguiente: la boquilla del matraz donde se realizará la destilación, luego esta se acopla a la boquilla del condensador, la boquilla de éste debe cerrarse utilizando un tapón de goma. También, se puede colocar un termómetro directo al condensador.¹⁴

El dispositivo que lleva el nombre de condensador está diseñado especialmente con la finalidad de que pueda funcionar ayudando a condensar el vapor que se encuentra en su interior. El vapor se desplaza, mientras la boquilla superior se acopla a un adaptador y la boquilla inferior se conecta a un dispositivo en forma de balón, el cual funciona recogiendo los productos o desechos durante la destilación.¹⁴

Cuando el agua comienza a circular por el exterior del condensador, también ingresa por medio de la parte inferior hasta salir así a la parte superior. Como resultado, es posible garantizar que la temperatura del dispositivo se mantenga estable a un nivel bajo lo cual permite que haya los vapores resultantes en el matraz de la destilación.⁵ Usualmente, las piezas que conforman el dispositivo deben de ser fijadas mediante el uso de pinzas que conectan, a su vez, con un soporte de metal. Una parte del volumen de la disolución será sometida al proceso de destilación colocando el matraz. Se procede entonces a colocar en las conexiones de grasa o grafito con el fin de sellar de una manera eficiente. Solo cumpliendo con este protocolo se pueda iniciar con el calentamiento de la disolución. Paralelamente, también empieza el paso del agua a través del condensador.

La fase de calentamiento empieza a transcurrir desde el dispositivo en forma de balón. Se debe vigilar el incremento de la temperatura por medio del uso de un termómetro. El valor de esta medida deberá alcanzar un punto o donde haya constancia. Se continúa con el proceso, aunque es posible que el líquido volátil se evapore por completo. Ello se debe a que cuando se llega al punto de ebullición de un componente que tiene un punto de ebullición menor, la presión del vapor tendrá un valor igual al de la presión externa.¹⁴

En este punto, toda la energía calórica se gasta en el cambio del estado líquido al estado gaseoso que involucra el vencimiento de la fuerza de cohesión intermolecular del líquido. Por lo tanto, el suministro de calor no se traduce en un aumento de la temperatura.¹⁴

Cuando ocurra el cambio de un estado líquido a un estado gaseoso, sucede que por completo la energía calórica se gasta. Esto hace que se venza a la fuerza de cohesión intermolecular que tiene un líquido. Es entonces cuando se observa que al administrar calor no sucede un aumento de la temperatura. Durante el proceso de destilación, el líquido resultante es almacenado mediante matraces que deben de ser identificados. El

volumen resultante depende del volumen que originalmente se había colocado en el matraz al inicio del proceso de destilación.¹⁴

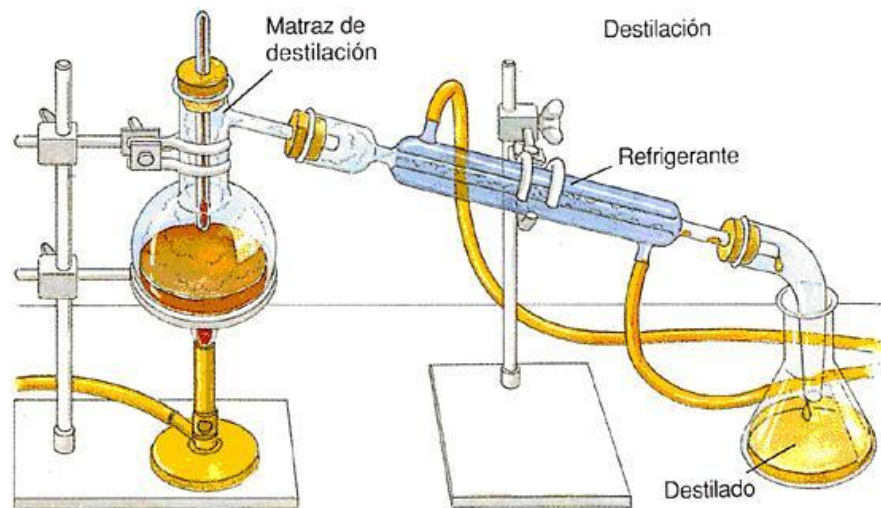


Figura 8. Proceso de destilación simple.

El uso de la destilación es muy común dentro de la industria química ya que de esta forma es posible separar mezclas sean simples o complejas. Esta técnica es ideal para este uso, ya que la separación es básicamente la diferencia entre la presión del vapor que poseen diferentes componentes de una misma mezcla.¹⁵

2.3.2 Extracción Soxhlet

La extracción Soxhlet consiste en el lavado sucesivo de una mezcla sólida con un determinado solvente que va “lavando o extrayendo” de la mezcla, los componentes más solubles en él. Mediante el lavado sucesivo de una mezcla, se puede extraer de ella componentes cuya solubilidad en el solvente extraído es muy baja, debido al efecto acumulado de las múltiples extracciones.¹⁶

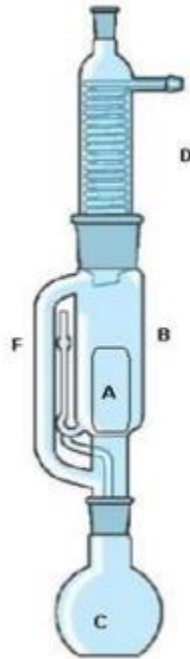


Figura 9. Equipo de extracción Soxhlet.

El equipo Soxhlet tiene como función recircular los vapores condensados con ayuda de un sifón a la fuente de disolvente que se encuentra en evaporación continua, arrastrando consigo los principios activos de la materia prima contenido en los cartuchos desechables. La capacidad aproximada en un equipo de laboratorio es de 500 ml de volumen primario con una recirculación de 100 ml cada cinco minutos aproximadamente en estado estable. La velocidad de reflujo depende directamente de la eficiencia y el tamaño del condensador. La sustancia sólida se introduce en un cartucho poroso (generalmente hecho con papel de filtro, que permite al solvente entrar y salir reteniendo al sólido) que se coloca dentro del recipiente (B). Se adosa un balón (C) a dicho recipiente donde se coloca el volumen de solvente que se utilizará en la extracción. Por el extremo superior del recipiente (B), se coloca un condensador (D). El solvente se calienta, los vapores ascienden por el tubo (E), condensan en el refrigerante (D) y caen dentro del recipiente (B) impregnando al sólido que se encuentra en el cartucho (A). EL recipiente (B) se va llenando lentamente de líquido hasta que llega al tope del tubo (F) y se descarga dentro del balón (C) repite automáticamente hasta que la extracción se completa. El solvente de extracción se evapora, recuperando así a la sustancia deseada.¹⁶

2.4 TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITES VEGETALES

La materia prima básica del biodiésel son los aceites vegetales y las grasas animales, cuyo componente principal son los triglicéridos. Químicamente, se trata de ésteres de ácidos grasos con glicerina. Para obtener biodiésel, los aceites y grasas se someten a una reacción de transesterificación con un alcohol, normalmente metanol, en presencia de un catalizador, normalmente una base. ¹⁷

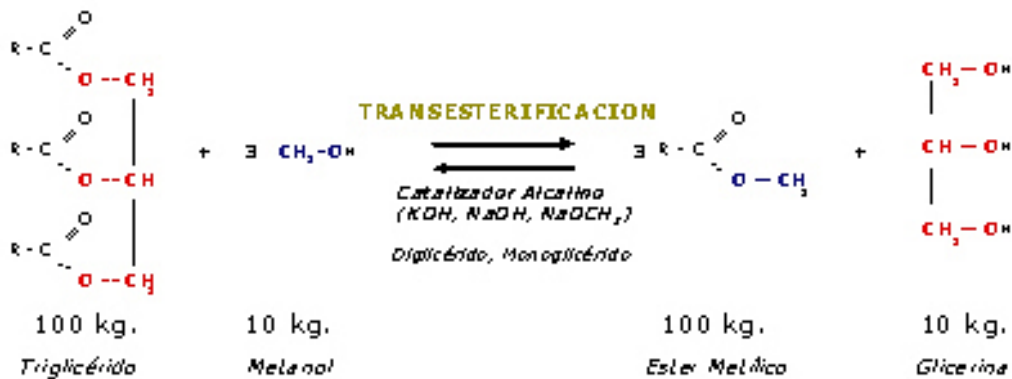


Figura 10. Transesterificación BIOLIS 2021.

El biodiésel puede producirse de una amplia variedad de materias primas como son los aceites vegetales, las grasas animales, los aceites usados y, en el futuro, los aceites producidos por algas. Cada materia prima se procesa de manera diferente y tiene unas especificaciones de calidad diferentes. ¹⁷

Para la obtención de biodiésel a través de un proceso de transesterificación en nuestro proceso se utiliza aceite 100% virgen obtenido a través de procesos de extracción de maleza, utilizando para la transesterificación el solvente Metanol.

Para que la reacción química se produzca sin problemas, de debería calentar el aceite hasta aproximadamente los 48-54° C (120-130° F). Para mezclar se puede utilizar un taladro eléctrico, firmemente sujeto, que haga girar una hélice o un mezclador de pintura. Un giro demasiado rápido produce salpicaduras y burbujas y perjudica al resultado final. Para conseguir un buen resultado ajuste la velocidad, la forma de la hélice o su tamaño. Si quiere un reactor más silencioso se puede sustituir el mezclador por una bomba eléctrica que bombee el líquido desde una salida en la parte de abajo del reactor y lo lleve hasta la superficie. La bomba no debe estar muy abajo para que no

se estropee luego con la glicerina. Luego se vierte el metóxido en el aceite mientras se bate, y se sigue agitando la mezcla durante 50 ó 60 minutos. La reacción suele completarse en media hora, pero es mejor batir durante más tiempo. Durante la transesterificación los ácidos grasos se separan de la glicerina, y el metanol se une a ellos formando metilésteres ó etilésteres (si se utiliza etanol). El hidróxido de sodio estabiliza la glicerina.¹⁸

2.5 ARREGLOS ORTOGONALES DE TAGUCHI

Un diseño de Taguchi es un experimento diseñado que permite elegir un producto o proceso que funciona con mayor consistencia en el entorno operativo. Los diseños de Taguchi reconocen que no todos los factores que causan variabilidad pueden ser controlados. Estos factores que no se pueden controlar se denominan factores de ruido. Los diseños de Taguchi intentan identificar factores controlables (factores de control) que minimicen el efecto de los factores de ruido. Durante el experimento, usted manipula los factores de ruido para hacer que haya variabilidad y luego determina la configuración óptima de los factores de control para que el proceso o producto sea robusto o resistente ante la variación causada por los factores de ruido. Un proceso diseñado con esta meta producirá una salida más consistente. Un producto diseñado con esta meta tendrá un rendimiento más consistente, independientemente del entorno en el que se utilice.¹⁹

Los métodos de Taguchi son técnicas estadísticas para realizar experimentos que pueden determinar las mejores combinaciones de variables de productos y procesos para fabricar o desarrollar un producto. El método de Taguchi para el diseño de experimentos utiliza técnicas que implican bajos costos y que son aplicables a los problemas y requerimientos de la industria moderna. El propósito que se tiene en el diseño del producto es encontrar aquella combinación de factores que nos proporcione un desempeño más estable y costo de desarrollo más bajo. El método de Taguchi valora la ventaja fundamental de los arreglos ortogonales es que pueden ser aplicados al diseño experimental involucrando un gran número de factores. Es muy frecuente que a la hora de diseñar un producto tengamos múltiples variables (FACTORES) a tener en cuenta. Cada uno de estos factores toma distintos valores (NIVELES) y es necesario elegir el más conveniente, sin embargo, cuando el número de factores y de niveles es elevado, el

número de combinaciones posibles es elevado y el número de experimentos a realizar sería muy costoso. En general, para un arreglo a dos niveles, el número de columnas (efectos o factores) que se pueden analizar, es igual al número de renglones más uno. El método de Taguchi ha desarrollado una serie de arreglos para experimentos con factores a dos niveles, los más utilizados y difundidos según el número de factores a analizar son relacionados en la Tabla 1.²⁰

Tabla 1. Serie de arreglos para experimentos con factores a 2 niveles.

No. de factores	Arreglo a utilizar	No. de condiciones a probar
Entre 1 y 3	L4	4
Entre 4 y 7	L8	8
Entre 8 y 11	L12	12
Entre 12 y 15	L16	16
Entre 16 y 31	L32	32
Entre 32 y 63	L64	64

Las columnas de los arreglos son balanceadas y ortogonales. Esto significa que, en cada par de columnas, todas las combinaciones de factores ocurren el mismo número de veces. Los diseños ortogonales permiten estimar el efecto de cada factor sobre la respuesta independientemente del resto de los factores.²¹

La notación L(corridas) (niveles ^ factores) indica lo siguiente:

- L(corridas) = número de corridas
- (niveles ^ factores) = número de niveles para cada factor ^ número de factores

Por ejemplo, un diseño L8 tiene 8 corridas. (2^3) o (2^3) significa 3 factores en 2 niveles. Si su notación es L(corridas) (número ^ exponente número ^ exponente), usted tiene un diseño de niveles combinados. Por ejemplo, un L18 $(2^1 3^7)$ significa que el diseño tiene 18 corridas, 1 factor con 2 niveles y 7 factores con 3 niveles.

En la Tabla 2 se presenta un arreglo $L8(2^4),(4^1)$ que significa que el diseño tiene 8 corridas, 4 factores con 2 niveles y 1 factor con 4 niveles.

Tabla 2. Arreglo $L8(2^4),(4^1)$.

Corrida	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	2	1	1	2	2
4	2	2	2	1	1
5	3	1	2	1	2
6	3	2	1	2	1
7	4	1	2	2	1
8	4	2	1	1	2

2.6 TÉCNICAS DE GESTIÓN DE COSTOS

La contabilidad de costos es un sistema de información con el que se establece el costo incurrido al realizar un producto y la forma como fue generado, para cada una de las actividades en las que se desarrolla el proceso productivo. ²²

Para la innovación, implementación, emprendimiento o lanzamiento de un nuevo producto es necesario la gestión de costos, todas las cifras en esta gestión son muy importantes para determinar la proyección y rentabilidad que tiene el producto. Se presenta un análisis de costo al producir biodiésel, para esto se utilizaron técnicas de estudio de tiempos, competencia de ingeniería industrial.



Figura 11. Gestión de costos.

La gestión de costos para este proceso de extracción de biodiésel es una gestión igual a un producto de reciente creación implementando técnicas de análisis desde la inversión inicial, costos directos e indirectos. En este desglose se determina dentro de cada uno la mano de obra, la materia prima y otros costos indirectos. Para la gestión se

clasifican los costos según su posición dentro de una producción. Cuando algo interfiere de manera directa en el producto final o en la producción de este se le conoce como costo directo. Cuando el costo es en utilidad indirecta para la producción del mismo se le conoce como costo indirecto.²²

Estos costos los clasificamos de la siguiente manera:

2.6.1 Inversión inicial

Es la aplicación de recursos financieros destinados a incrementar los activos fijos o financieros de una entidad. Ejemplo: maquinaria, equipo, obras públicas, bonos, títulos, valores, etc. Comprende la formación bruta de capital fijo (FBKF) y la variación de existencias de bienes generados en el interior de una economía. Adquisición de valores o bienes de diversa índole para obtener beneficios por la tenencia de los mismos que en ningún caso comprende gastos o consumos, que sean por naturaleza opuestos a la inversión.²³ La inversión inicial es el costo de maquinaria, herramientas, equipo e inversiones distintas que se necesita para comenzar a producir algo, en esta ocasión se estudia las herramientas y equipos necesarios para llegar a producir biodiésel a nivel laboratorio.

2.6.2 Costos de mano de obra directa

Son aquellos que se identifican con partidas específicas de la producción, está constituida por el conjunto de salarios devengados por los trabajadores cuya actividad se identifica o relaciona plenamente con la elaboración de partidas específicas de productos.

Como se define anteriormente, los costos de mano de obra directa son costos determinados por el pago al operador que trabaja directamente en la producción del producto.²³

2.6.3 Costos de mano de obra indirecta

Se refiere al personal involucrado de manera no directa en la elaboración del producto, es decir supervisores, administradores, ayudantes entre otros.²⁴



Figura 12. Mano de obra directa.

2.6.4 Costos de materia prima

La materia prima es todo el material que hace parte integrante del producto terminado y se puede identificar de manera clara dentro del mismo. La materia prima se divide en dos grupos a saber:

- Material directo: Es aquella parte del material que se puede identificar cuantitativamente dentro del producto terminado y cuyo importe es considerable.
- Material indirecto: Es aquel material que no se identifica cuantitativamente dentro del producto o aquel que, identificándose, no presenta un importe considerable.²⁵

La materia prima indirecta se considera como el material auxiliar utilizado en el proceso de producción, son un poco más difíciles de identificar al observar el producto terminado, pero de igual manera representan un costo adicional a la materia prima directa, además se debe sumar la depreciación de maquinaria utilizada en el proceso.

- Otros costos indirectos

Los costos indirectos son todos aquellos costos causados durante el proceso de elaboración del producto o servicio en la organización, que no pueden ser asociados al producto, que no son identificables fácilmente y por tanto no pueden ser asignados a un área de costos y hacerles seguimiento resulta costoso o poco factible. Los costos

indirectos de fabricación (CIF), son conocidos también como carga fabril. Estos costos, hacen parte de los costos inventariables y se convierten en gastos cuando forman parte de los productos o servicios comercializados. Los costos indirectos, también son servicios de apoyo a la producción en los que es necesario incurrir, de lo contrario el proceso de elaboración de productos y servicios no se podría completar, sin embargo; a pesar de que por lo general son muy difíciles de identificar en el producto o servicio, no significa que tengan bajo valor, por eso se hace necesario establecer formas de asignación a la producción para establecer los costos reales en la forma más racional posible.²⁵

Además de la mano de obra indirecta y materia prima indirecta, para el análisis de gestión de costos en la extracción de biodiésel también existe una sección denominada. Otros costos indirectos.

Esta sección se determina por el planteamiento del costo en los servicios necesarios para llevar a cabo nuestro proceso de producción, según sea el caso es el consumo de energía eléctrica, servicio de agua y drenaje, renta de espacio de trabajo y/o inmobiliario y también se considera la depreciación de la maquinaria.

La depreciación de la maquinaria la cantidad vida útil de nuestros equipos de trabajo que se está consumiendo en el día a día con nuestra producción. Los equipos y herramientas utilizados en un proceso productivo cuentan con un cierto tiempo de vida útil, lo que significa que después de un periodo no se garantiza que estos funcionen de manera correcta, es por esto que se debe de calcular la depreciación de la maquinaria al momento de realizar una inversión y evitar posibles problemas en las líneas productivas.²⁵

III. DESARROLLO

3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

A continuación, se describe la metodología empleada en el desarrollo del presente proyecto.

3.1.1 Pruebas de extracción de aceite vegetal

Diseño experimental ortogonal de Taguchi

Se seleccionó un arreglo ortogonal de Taguchi $L8(2^4), (4^1)$ con el fin de evaluar las distintas variables (ver tabla 2). En la tabla 3 se muestra el arreglo definido de las condiciones de operación de las 8 corridas contempladas, donde el factor 1 corresponde al tipo de solvente, el factor 2 al tiempo, el factor 3 a la cantidad de biomasa, el factor 4 a la especie y el factor 5 al año de cosecha.

Tabla 3. Factores y niveles experimentales empleados en un arreglo $L8(2^4), (4^1)$

Corrida	1	2	3	4	5
1	Etanol	3 hr	10 g	Bf	2020
2	Etanol	4 hr	15 g	Sa	2019
3	Hexano	3 hr	10 g	Sa	2019
4	Hexano	4 hr	15 g	Bf	2020
5	Metanol	3 hr	10 g	Bf	2019
6	Metanol	4 hr	15 g	Sa	2020
7	Butanol	3 hr	10 g	Sa	2020
8	Butanol	4 hr	15 g	Bf	2019

Bf=Aceitilla amarilla; Sa=Achualillo

Una vez elaborado el arreglo ortogonal de Taguchi $L8(2^4), (4^1)$, se llevó a cabo cada uno de los experimentos planteados, en las cuales se recopilaron datos como temperatura, cantidad de aceite vegetal extraído y tiempos totales de procesos.

Cada experimento consta de 3 procesos, el primero es la extracción soxhlet en el cual se coloca el solvente en un matraz Florencia de 250 ml, después la ebullición del solvente provoca la evaporación del mismo hasta un condensador a reflujo, el condensado cae sobre un recipiente que contiene un cartucho poroso con la muestra en su interior, de esta manera se genera el ascenso del nivel del solvente cubriendo el

cartucho hasta un punto en que se produce el reflujo que regresa el solvente con el material extraído al matraz. Este proceso se repite el número de veces necesaria hasta que la muestra quede agotada.



Figura 13. *Proceso de extracción Soxhlet.*

Este proceso da como resultado la extracción de aceite vegetal con mezcla del solvente utilizado, la mayoría de los casos evaluados la cantidad de aceite extraído ronda entre los 180 ml y 200 ml.



Figura 14. *Producto de extracción Soxhlet.*

El siguiente paso es el proceso de destilación simple (figura #), el cual consta de elevar la temperatura del aceite vegetal producido por la extracción soxhlet hasta el punto

de ebullición del alcohol, lo que permite que este se evapore y pase por un sistema de enfriamiento hasta caer en un recipiente, de esta manera se separan ambas sustancias y se obtiene el aceite vegetal en un estado más puro y concentrado.



Figura 15. Proceso de destilación simple.

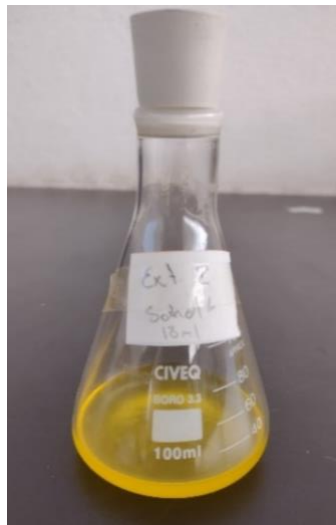


Figura 16. Producto de destilación simple.

Adicional a esto, se realizaron pruebas de transmitancia (o de espectrómetro) y de PH tras estos procesos, con el fin de recopilar información acerca de las propiedades con las que cuenta cada una de las muestras.

Las pruebas de transmitancia se realizan por medio de un espectrómetro (también conocido como colorímetro) en el cual se colocan cada uno de los filtros RGB (ver figura 17) y una celdilla con una porción de la muestra a estudiar para obtener dichos valores (Ver figura 18). Tras cada proceso se debe de calibrar el instrumento utilizando agua destilada como muestra.



Figura 17. Espectrómetro.

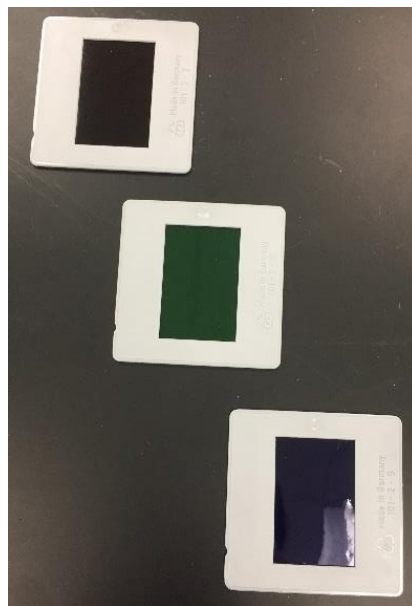


Figura 18. Filtros RGB.



Figura 19. Celdillas con muestras de agua destilada, alcohol y aceite vegetal respectivamente.

La prueba de PH se realizan por medio de un medidor de PH digital, el cual se sumerge en un recipiente con la muestra a evaluar durante varios segundos hasta obtener una lectura que muestra el nivel de PH (Ver figura 19). Tras cada proceso el medidor debe de ser lavado con agua destilada y calibrado con las soluciones de calibración del mismo equipo (ver figura 20).



Figura 20. Prueba de PH.



Figura 21. Solución de calibración para medidor pH.

3.1.2 Pruebas de transesterificación

Para el proceso de transesterificación se conoce la siguiente relación de cantidades a utilizar:

{(1000 ml Aceite vegetal), (200 ml. metanol), (3.5g de catalizador NaOH)}

Esta relación se utiliza para realizar proceso de transesterificación con una muestra de 1 litro de aceite vegetal, por lo que se tuvo que adecuar proporcionalmente al modelo empleado según las cantidades de aceite vegetal obtenidas tras el proceso de destilación simple. La cantidad de aceite vegetal extraído en la mayoría de las muestras rondaba en un rango de 40 a 50 ml. Por lo que se optó por dividirlos en 2 muestras, una de 20 ml. y otra de 30 ml. de aceite vegetal, lo siguiente fue obtener la relación proporcional al modelo original, para esto se dividió $1000/20$ y $1000/30$ lo que nos da una relación de 50 y 33.333 respectivamente, de esta manera se puede calcular la cantidad de metanol necesaria para ambas variables, como se demuestra a continuación:

$$\text{Variable 1: } 200 \text{ ml} / 50 = 4 \text{ ml de metanol}$$

$$\text{Variable 2: } 200 \text{ ml} / 33.333 = 6 \text{ ml de metanol}$$

Para el catalizador se utiliza el mismo principio:

$$\text{Variable 1: } 3.5 \text{ ml NaOH} / 50 = 0.07 \text{ ml. de NaOH}$$

$$\text{Variable 2: } 3.5 \text{ ml NaOH} / 33.333 = 0.105 \text{ ml. de NaOH}$$

Debido a que se utilizó una solución de Hidróxido de Sodio con una densidad al 50% (NaOH50%) se dividió el índice de densidad de dicha solución por la relación obtenida previamente:

$$\text{Densidad del NaOH (50\%)} = 1.52 \text{ g/ml}$$

$$\text{Variable 1: } 0.07 \text{ ml.} / 1.52 = 0.046 \text{ ml.}$$

$$\text{Variable 2: } 0.105 \text{ ml.} = 0.069 \text{ ml.}$$

Por último se realiza la conversión de unidades **ml** → μ

$$0.046 \text{ ml.} * 1000 = 46 \mu$$

$$0.069 \text{ ml.} * 1000 = 69 \mu$$

Entonces el modelo resultante se expresa de la siguiente manera:

$$50 \text{ ml. ac. veg.} \left\{ \begin{array}{l} (20 \text{ ml. de aceite vegetal}), (4 \text{ ml. de metanol}), (46\mu \text{ de catalizador NaOH}) \\ (30 \text{ ml. de aceite vegetal}), (6 \text{ ml. de metanol}), (69\mu \text{ de catalizador NaOH}) \end{array} \right\}$$

Por último, se planteó un arreglo Taguchi L4(2³) para el modelo de transesterificación (ver tabla 2) y las condiciones para llevar a cabo el proceso:

Tabla 4. Arreglo Taguchi L4(2³) para el modelo de transesterificación

	ml. de aceite vegetal	ml. de metanol	μ . de catalizador NaOH
	1	2	3
1	20	4	46
2	20	6	69
3	30	4	69
4	30	6	46

Condiciones:

- Agregar los mililitros de metanol y NaOH requeridos al alcanzar una temperatura de 55° C.
- 200 rpm. de agitación durante 30 minutos tras agregar ambas sustancias

3.1.3 Gestión de costos

Inversión Inicial

La inversión inicial es el costo de maquinaria, herramientas, equipo e inversiones distintas que se necesita para comenzar a producir algo, en esta ocasión se estudió las herramientas y equipos necesarios para llegar a producir biodiésel a nivel laboratorio.

Tabla 5. Costo total de la inversión inicial

INVERSIÓN INICIAL			
MATERIAL	Cantidad	Precio unitario	Total
Parrilla eléctrica	1	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00
Bala de agitación	1	\$ 320.00	\$ 320.00
Soporte metálico	3	\$ 890.00	\$ 2,670.00
Pinzas de soporte	4	\$ 230.00	\$ 920.00
Probeta graduada 250 ml.	1	\$ 200.00	\$ 200.00
Cilindro graduado 100 ml.	1	\$ 120.00	\$ 120.00
Termómetro	1	\$ 300.00	\$ 300.00
Vaso de precipitado	2	\$ 87.00	\$ 174.00
Tapones de caucho (paquete varios tamaños)	1	\$ 415.00	\$ 415.00
Matraz cónico (de Erlenmeyer) 125 ml.	10	\$ 89.00	\$ 890.00
Matraz cónico (de Erlenmeyer) 250 ml.	5	\$ 130.00	\$ 650.00
Embudo	1	\$ 250.00	\$ 250.00
Embudo de decantación	3	\$ 693.00	\$ 2,079.00
Pipeta graduada de vidrio 10 ml.	1	\$ 223.00	\$ 223.00
Pro pipeta	1	\$ 149.00	\$ 149.00
Pipeta Automática (puntas para pipeta aut.)	1	\$ 1,226.00	\$ 1,226.00
Pinzas o fórceps	1	\$ 243.00	\$ 243.00
Equipo soxhlet (refrigerante de rosario, extractor, Matraz Florencia 250 ml.)	1	\$ 2,250.00	\$ 2,250.00
Equipo de destilación (Refrigerante recto, Matraz Florencia 500 ml.)	1	\$ 2,897.00	\$ 2,897.00
Mangueras de látex	1	\$ 208.00	\$ 208.00
Bascula de precisión	1	\$ 2,905.00	\$ 2,905.00
Mortero de porcelana con pistilo	1	\$ 257.00	\$ 257.00
Frasco con gotero o pístela	1	\$ 358.00	\$ 358.00
Escobilla	1	\$ 120.00	\$ 120.00
Escobilla para pipeta	1	\$ 60.00	\$ 60.00
Medidor de PH	1	\$ 354.00	\$ 354.00
Colorímetro (equipo NOVA)	1	\$ 3,500.00	\$ 3,500.00
		TOTAL:	\$26,138.00

Estudio de Mano de Obra directa

Costos de mano de obra directa

Los costos de mano de obra directa son costos determinados por el pago al operador que trabaja directamente en la producción del producto. Para esto se hicieron análisis Pert (Técnica de Revisión y Evaluación de Proyectos por sus siglas en inglés Program Evaluation and Review Techniques) y un diagrama de proceso para especificar tiempos, rutas críticas y todas las actividades específicamente dentro de la producción. También se desarrolló un perfil de empleado a base de las competencias adquiridas en la asignatura: Relaciones industriales, considerando lo más óptimo para nuestra producción, para poder evaluar el costo de mano de obra tomando en cuenta el perfil que se necesita para laborar sin despreciar un sueldo y trabajo competitivo a nivel nacional.

Pert-método Soxhlet

Grafico 5: Pert-método Soxhlet

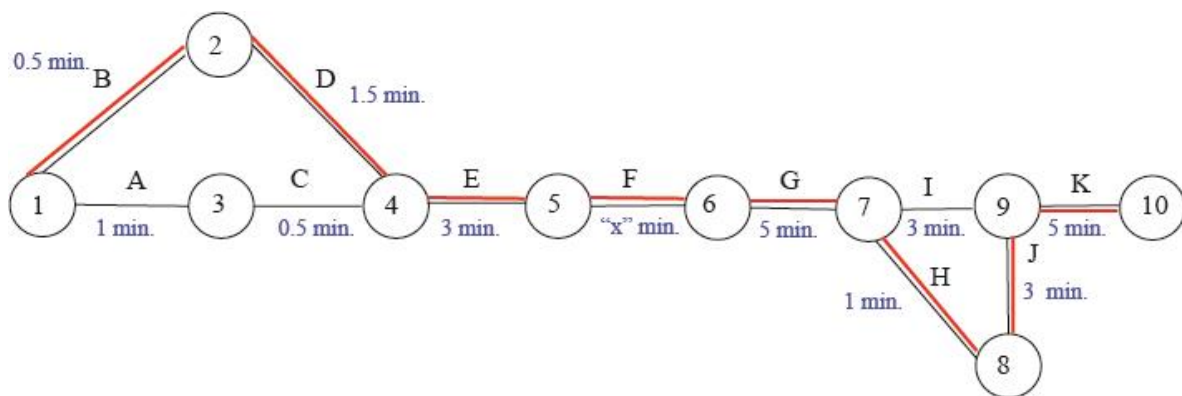


Figura 22. Diagrama Pert del proceso soxhlet.

Ruta crítica: B, D, E, F, G, H, J, K

Extracción #3 con tiempo total de: 34 minutos

Tiempo estimado: 19 min. + x

Tiempo total: 53 min.

Tabla 6. Descripción de actividades del diagrama Pert (soxhlet)

Act.	Descripción	Act.	Descripción
A	Medir cantidad de alcohol específica	G	Enfriamiento del equipo
B	Pesar la semilla a utilizar	H	Medir el volumen de sustancia obtenida
C	Colocar alcohol en el espacio requerido	I	Desinstalar el equipo
D	Moler la semilla ya pesada	J	Resguardo de la sustancia obtenida
E	Instalación de equipo soxhlet	K	Lavado del equipo
F	Proceso		

En la actividad F, se estableció una breve descripción definida como proceso, consiste en el proceso de lavado a través del equipo soxhlet. Se determinó la actividad F con un tiempo variable: "X" debido a que es una variable de tiempo dependiente de la materia prima y proporciones del proceso específicas. Todas las demás actividades no tendrán variabilidad en el tiempo de duración independientemente de las especificaciones.

Destilación simple

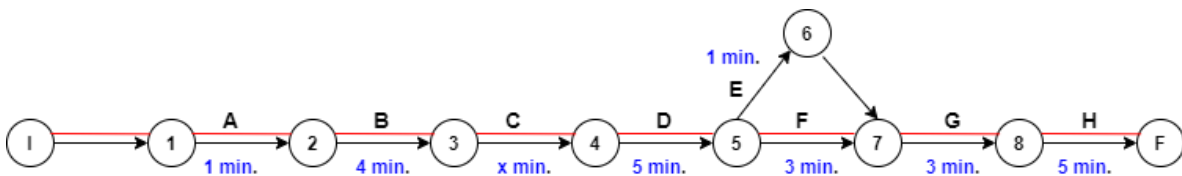


Figura 23. Diagrama Pert del proceso de destilación simple

Ruta crítica: A,B,C,D,F,G,H

Tiempo estimado: 21 min. + x

Tiempo de actividad c (proceso destilación): 19 min.

Tiempo total: 40 min.

Tabla 7. Descripción de actividades del diagrama Pert (Destilación Simple)

Act.	Descripción	Act.	Descripción
A	Definir el tamaño proporcional para obtener 50 ml. De alcohol	E	Resguardo del alcohol
B	Instalación del equipo	F	Resguardo de sustancia resultante
C	(Inicio de proceso) Medir hasta obtener 50 ml. De alcohol (Termino del proceso)	G	Desinstalación del equipo
D	Enfriamiento del equipo	H	Lavado del equipo

La actividad “C” consiste en la destilación directa desde el comienzo de la aplicación de calor con la parrilla en medidas ya estandarizadas, hasta la obtención del aceite vegetal requerido, en esta ocasión hasta destilar suficiente alcohol para que reste sólo 50 ml de aceite de la cantidad total obtenida en el anterior proceso (soxhlet).

Proceso de transesterificación

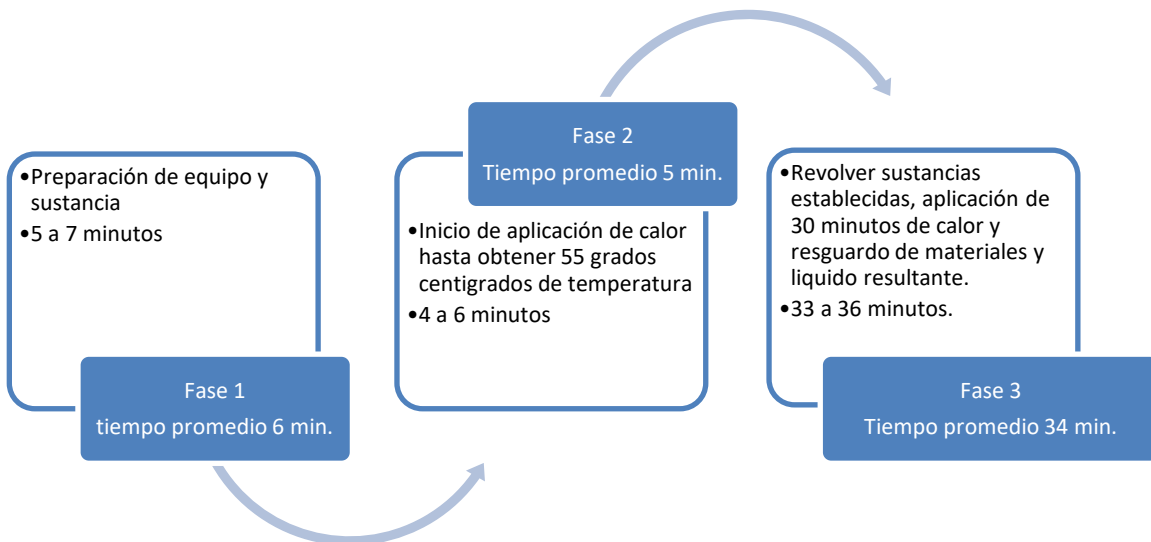


Figura 24. Proceso de transesterificación.

Tiempo total del proceso promedio: 45 minutos

En este diagrama de proceso se establece el procedimiento y fases realizadas en el proceso de transesterificación del aceite vegetal para obtener el posible biodiésel. No

es necesario expresarlo en un diagrama Pert debido a la secuencia de pasos de fase en fase debido a que existe solo una ruta y esa será nuestra ruta crítica.

Resumen en los tiempos de operación directa en la obtención de biodiésel

En el proceso soxhlet y destilación simple se establecieron actividades con un tiempo X de operación, debido a que dependerá este tiempo de la variabilidad de materia prima; Es decir, tipo de alcohol, tipo de semilla, temperatura, papel filtro, etc. En este caso, el tiempo x es sustituido por la corrida piloto número 3, debido a que fue una de las más precisas y la más cercana al resultado final, esto ayudará a obtener un tiempo de operación más estandarizado y cercano a la realidad.

Tiempo establecido en Soxhlet: 53 minutos

Tiempo establecido en Destilación simple: 40 minutos

Tiempo establecido en el proceso de transesterificación: 45 minutos

Tiempo total en la obtención de biodiésel (2 ml): 2.3 horas.

Perfil de Operadores para la producción de biodiésel

Trabajo a realizar: implementar un sistema ya estandarizado para la obtención de biodiésel a través de procesos químicos (soxhlet, destilación simple y transesterificación) con el apoyo de herramientas de laboratorio general.

Cantidad de operadores necesarios: 2

Objetivo: Manipular de forma correcta los instrumentos de medición y manipulación de sustancias en el laboratorio de Química, además de interpretar de forma correcta la estandarización ya establecida en el proceso.

Perfil del operador

- Estudios: Acreditar estudios mínimos de bachillerato con conocimientos previos de química básica o a fin.
- Edad: Persona joven dispuesta a aprender y desarrollar proyectos de innovación (19 a 30 años)
- Sexo: indistinto

- Experiencia: Preferente capacidad de manipular instrumentos de laboratorio
- Disponibilidad de horario
- Vivir cerca del área de trabajo.
- Actitud optimista

Sueldo competitivo promedio para una persona con conocimientos de bachillerato, \$7,200 mensuales (\$45 por hora). Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo 2016 INEGI.

Resumen de Mano de obra directa

Salario: El salario para una persona con el perfil establecido para el proceso de producción tendrá que ser un sueldo de una persona bachiller, no profesional, pero si competitivo en comparación a su área de conocimiento a nivel nacional debido a la importancia que es su operación y conocimientos. Según lo establecido en la encuesta de ocupación y empleo del INEGI una persona con las mismas características que necesitan los operarios, su sueldo promedio es de \$7,200 mensuales, considerándose en su categoría un sueldo competitivo. Se tomó de base esta información para establecer este mismo sueldo para los dos operarios, con una escala determinada en \$45 por hora.

Tiempo: el tiempo de operación en la mano de obra directa de producción fue de: 2.3 horas. Tiempo considerado desde el primer tratamiento de materia prima hasta su último proceso llamado transesterificación.

Costo de mano de obra:

2.3 horas = \$103.5 mxn

Por 2 ml obtenidos del posible biodiésel.

Tabla 8. Mano de obra directa.

Mano de obra directa	Sueldo
Operador 1	\$103.50
Operador 2	\$103.50
Total	\$207.00

COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA / PROCESO = **\$207**

Estudio de materia prima directa

Tabla 9. Costo total de materia prima directa.

Materia prima directa	Costo por unidad	Deducciones	Costo proporcional	Total
Alcohol (hexano)	\$250/ l	\$18.5/ 74 ml	\$62.5/ 250 ml	\$44
Semilla	No aplica	0	0	\$0
NaOH	\$760/ 500 gr	No aplica	\$0.06/ 46µl	\$0.06
Metanol	\$485/ 10 l	No aplica	\$0.48	\$0.48
Total			\$44.54	

COSTO TOTAL DE MATERIA PRIMA DIRECTA/ PROCESO = **\$44.54**

Nota: en las deducciones se refiere a la recuperación de materia prima, en este caso en el alcohol hexano se recuperó al momento de hacer destilación simple la cantidad de 74 ml.

Materia prima indirecta

La materia prima indirecta se considera como el material auxiliar utilizado en el proceso de producción, son un poco más difíciles de identificar al observar el producto terminado, pero de igual manera representan un costo adicional a la materia prima directa, además se debe sumar la depreciación de maquinaria utilizada en el proceso. Para calcular el costo de los materiales indirectos por proceso se utilizó una regla de 3, de forma que se multiplica el número de piezas utilizadas por el precio, entre el número de piezas por paquete, por ejemplo:

$$2 \text{ piezas} * \$937.00 = 1,874$$

1,874 / 100 piezas = \$18.74

Tabla 10. Costo de materiales indirectos.

Materiales indirectos				
Materiales indirectos	Precio	Piezas	Aplicación	Costo por proceso
Papel filtro (paquete)	\$ 937	100 pzs.	2 piezas/ proceso	\$ 18.74
Para film	\$ 1,200	7250 cm.	5 cm./ proceso	\$ 0.83
Tiras de prueba PH (paquete)	\$ 64	80 pzs.	3 piezas/ proceso	\$ 2.40
Celdas de plástico para espectrómetro	\$ 1,200	100 pzs.	2 piezas/ proceso	\$ 24.00
Algodón	\$ 95.00	500 gr.	2 gr/ proceso	\$ 0.38
Agua destilada	\$ 247	20,000 ml.	20 ml./ proceso	\$ 0.25
Jabón	\$ 44	500 gr.	5 gr/ proceso	\$ 0.44
Total				\$ 47.03

Costos de servicios

En el caso de los servicios como gasolina, luz y agua se dividió el precio entre 22, que serían el número de días laborales por mes, nuevamente se dividió entre 8 que representan las horas laborales en un día y el resultado se multiplicó por 2.3 horas para conocer el precio en proporción a la corrida piloto no. 3 como se muestra a continuación:

$\$500/22 \text{ días} = \22.72

$\$22.74/8 = \2.84

$\$2.84 * 2.3 \text{ horas} = \6.53

Tabla 11. Costo de servicios.

Servicio	Precio	Costo por día	Costo por hora	Costo por proceso
Gasolina	\$ 500.00	\$ 22.73	\$ 2.84	\$ 6.53
Luz	\$ 354.57	\$ 16.12	\$ 2.01	\$ 4.63
Agua	\$ 154.43	\$ 7.02	\$ 0.88	\$ 2.02
Total				\$ 13.19

Depreciación de maquinaria y equipo:

Los equipos y herramientas utilizados en un proceso productivo cuentan con un cierto tiempo de vida útil, lo que significa que después de un periodo no se garantiza que estos funcionen de manera correcta, es por esto que se debe de calcular la depreciación de la maquinaria al momento de realizar una inversión y evitar posibles problemas en las líneas productivas.

Para calcular la depreciación de maquinaria se multiplica el tiempo de vida útil esperado (en años) por 8,760 que es el resultado de multiplicar las 24 horas de un día por los 365 días del año, de esta manera podemos conocer el tiempo de vida útil de un producto en horas. Se procede a dividir el precio entre la vida útil en horas del producto para conocer la depreciación por hora y finalmente el resultado se multiplica por el tiempo de la corrida promedio de 2.3 horas.

$$5 \text{ años} * 8,760 \text{ horas} = 43,800 \text{ horas}$$

$$\$2,400 / 43,800 \text{ horas} = \$0.05$$

$$\$0.05 * 2.3 \text{ horas} = \$0.13$$

Tabla 12. *Calculo de depreciación de maquinaria y equipo.*

Depreciación de maquinaria y equipo					
Producto	Precio	Vida útil (años)	Vida útil (horas)	Depreciación/Hora	Costo por proceso
Parrilla eléctrica	\$ 2,400	5	43,800	\$ 0.05	\$ 0.13
Medidor de PH	\$ 354	2	17,520	\$ 0.02	\$ 0.05
Equipo NOVA	\$ 3,500	6	52,560	\$ 0.07	\$ 0.15
Total					\$ 0.33

Finalmente se procede a sumar los totales de las 3 tablas para conocer el costo por proceso total de materia prima indirecta:

$$\$47.03 + \$13.19 + \$0.33 = \mathbf{\$60.55}$$

COSTO TOTAL DE MATERIA PRIMA INDIRECTA/ PROCESO = **\$60.55**

Mano de obra indirecta:

Se refiere al personal involucrado de manera no directa en la elaboración del producto, es decir supervisores, administradores, ayudantes entre otros.

En nuestro caso es necesario la ayuda de personal encargado en la recolección de la semilla utilizada en el proceso de extracción, los cuales deben cubrir el siguiente perfil:

Nombre del puesto: Recolector de materia prima

Trabajo a realizar: Recolección de maleza en su estado natural utilizada como materia prima para la elaboración de biodiésel. Separación de tallo y hojas de la maleza para la obtención de la semilla aceitilla amarilla.

Cantidad de operadores necesarios: 2

Objetivo: Obtención de la materia prima en estado puro para su posterior uso en el proceso de elaboración de biodiésel

Perfil del operador

- Estudios: Secundaria terminada
- Edad: Mayor de 18 años
- Sexo: Indistinto
- Experiencia: No necesaria
- Disponibilidad de horario
- Actitud optimista

Sueldo: \$4,251 (salario mínimo, CONASAMI, 2021).

Tabla 13. Resumen de mano de obra indirecta.

Puesto	Cantidad	Sueldo Mensual	Sueldo por día	Sueldo por hora
Recolector de materia prima	2	\$ 4,251.00	\$ 141.70	\$ 17.71

Recolección de Maleza = 40 min. / 6kg de maleza

Separación de semilla= 2 horas / 800 gr de semilla

Corrida 3 = 250 gr de semilla

2 horas 40 minutos = 800 gr de semilla

250 gr de semilla = 50 min.

Formula final

\$17.71= 60 minutos

50 minutos = \$14.75 * 2 recolectores = \$29.51

TOTAL, MANO DE OBRA INDIRECTA ESTUDIO DE CORRIDA 3 = **\$29.51**

Costo integral del proceso

Para calcular el costo integral por proceso se suman los totales de los 4 apartados generales, es decir, materia prima directa, mano de obra directa, materia prima indirecta (materiales indirectos + servicios + depreciación de maquinaria y equipo) y mano de obra indirecta.

MPD = \$44.54

MOD = \$207

MPI = \$60.55

MOI = \$59.04

Costo integral = MPD + MOD + MPI + MOI

Costo integral = \$44.54 + \$207 + \$60.55 + \$59.04 = \$371.13

Entonces se puede concluir que el costo integral en producir 2 ml de biodiésel fue de **\$371.13** con un total de tiempo de producción de **2.3 horas**.

3.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
	1-15	16-31	1-15	16-28	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-30
Revisión bibliográfica												
Determinación de diseño experimental												
Pruebas experimentales												
Análisis estadístico												
Asesorías												
Evaluación y seguimiento de asesorías												
Evaluación de reporte												
Informe semestral												
Elaboración reporte técnico (productos entregables)												

Figura 25. Cronograma de actividades general.

IV. RESULTADOS

4.1 EXTRACCIÓN DE ACEITE VEGETAL

Para la extracción de aceite vegetal a través de maleza, es dada por dos procesos (soxhlet y destilación simple). En el proceso de soxhlet se obtuvo una cantidad entre los 134 ml y 209 ml por cada una de las corridas (experimentos realizados). Esta sustancia obtenida se procesó a través de una destilación simple con el objetivo de obtener 50 ml de aceite vegetal. En el proceso de destilación simple se obtuvieron cantidades de 45 ml a 57 ml de aceite vegetal de cada corrida realizada respectivamente. Es importante mencionar la transmitancia y PH evaluado para cada corrida en cada uno de los dos procesos (ver tabla 12 y 13) esto para evaluar las condiciones del aceite obtenido.

Tabla 14. Cantidades en el proceso de extracción Soxhlet.

Corridas					
Corrida	Transmitancia			PH	Cantidad extraída (ML)
	Filtro azul	Filtro verde	Filtro Rojo		
1	2.96	39.77	56.69	5.67	209
2	19.42	44.15	51.57	6	191
3	27.2	73.5	91.9	0	134
4	21.31	84.63	98.48	0	147
5	6.62	36.6	46.5	5.7	195
6	10.85	47.16	53.5	6.2	207
7	9.97	67.01	77.2	5.7	198
8	8.84	58.54	73.96	5.7	198

Tabla 15. Cantidades en el proceso de destilación simple.

Corridas					
Corrida	Transmitancia			PH	Cantidad extraída (ML)
	Filtro azul	Filtro verde	Filtro Rojo		
1	0.43	3.66	8.81	5.3	55
2	0.88	4.7	8.37	5.4	51
3	2.32	32.86	48.53	0	45
4	4.21	56.55	76.35	0	50
5	0.46	3.2	5.8	5.53	48
6	1.7	22.9	39.16	6.54	51
7	0.91	7.74	15.7	5.75	57
8	0.37	1.37	3.72	5.6	54

4.2 TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE VEGETAL

El proceso de transesterificación es el proceso final para obtener biodiésel a través de los 8 aceites vegetales obtenidos anteriormente. Para esto se reunieron distintas mediciones en el proceso como lo es: PH, transmitancia y la cantidad en ml de las 3 capas que se debieron obtener según lo que nos marca la teoría de este proceso. En los experimentos se mostró una gran variabilidad en los datos (ver tabla 14) donde en algunas corridas no se pudo determinar la totalidad de los datos y en algunas otras no se pudo determinar la materia resultante después del proceso de transesterificación.

Los experimentos 3 y 4 fueron los únicos en llegar al resultado esperado, es decir; Biodiésel. Con una cantidad de 2 ml y 3.8 ml respectivamente. Su PH es de 10 inicialmente, al realizar los lavados que la teoría marca, su PH llego a lo esperado en el biodiésel que es de 7. Es importante mencionar que la variabilidad mas importante con respecto a los demás experimentos es el uso del alcohol hexano en el proceso soxhlet. Según nuestro diseño ortogonal de taguchi, se debió obtener 16 muestras de biodiésel, pero por las variantes y situaciones físicas (evaporización) solo obtuvimos 2 resultados certeros en nuestro proceso.

Tabla 16. Cantidades en el proceso de transesterificación.

Proceso transesterificación						
corrida	Corrida o fragmento	Transmitancia			PH	ml
		Filtro Azul	Filtro Verde	Filtro Rojo		
1	1.1	0.4	1.8	5.5	9.3	-
1.2	Capa superior	5.5	23.36	46.1	9	-
	Capa inferior	0.3	1.37	3	8	-
2.1	Capa superior	5.19	38.32	53.7	10	4.55
	Capa inter					
	Capa Inferior	0.43	2.53	4.82	9	-
2.2	Capa superior	2.8	26.8	46.4	10	4.4
	Capa inter	0.2	0.7	1.7	9	-
	Capa Inf.	0.3	1.2	2.8	8	-
3.1	Biodiésel	2.77	37	58.2	10	2
	Glicerina	26.2	27	31.7	12	1.8
	Residuos	0.62	12	22.4	10	2.2
4.1	Biodiésel	3.5	48.2	71.3	10	3.8
	Glicerina	77.9	77.84	78.14	13	-
	Residuos	17.6	25.54	34.01	8	-
5.1		0.34	0.61	3.14	9	-
	Glicerina					-
	Residuos					-
6.1		1.6	10.95	35.58	10	-
7.1		17.7			9	-
7.2		15.76			10	-
8.1		8.57			9	-
8.2		5.4			9	-

4.3 GESTIÓN DE COSTOS

A continuación, se presenta de manera gráfica un resumen del estudio de gestión de costos por proceso elaborado previamente.

Tabla 17. Resumen general de gestión de costos.

Materia prima indirecta	
Materiales indirectos	Precio
Papel filtro	\$18.74
Para film	\$0.83
Tiras de prueba PH	\$2.40
Celdas de plástico para espectrómetro	\$24.00
Algodón	\$0.38
Agua destilada	\$0.25
Jabón	\$0.44
Total	47.04

Servicio	Precio
Gasolina	\$6.53
Luz	\$4.63
Agua	\$2.02
Total	13.18

Depreciación	Precio
Parrilla eléctrica	\$0.13
Medidor de PH	\$0.05
Equipo NOVA	\$0.15
Total	\$0.33
Total Materia prima indirecta	\$60.55

Materia prima directa		Precio
Alcohol (hexano)		\$44
Semilla		\$0
NaOH		\$0.06
Metanol		\$0.48
Total		44.54

Mano de obra directa		Sueldo
Operador 1		\$103.50
Operador 2		\$103.50
Total		\$207.00

Mano de obra indirecta		Sueldo
Operador 1		\$29.52
Operador 2		\$29.52
Total		\$59.04

Costo total por proceso	\$371.13
--------------------------------	-----------------

V. CONCLUSIONES

La aplicación de las estrategias académicas seleccionadas en conjunto con las actividades relacionadas con el presente proyecto permitió alcanzar los objetivos planteados.

Se logró la extracción de aceite vegetal de una maleza, la obtención de biodiésel por reacciones de transesterificación del aceite vegetal obtenido y se obtuvo un análisis de costos de obtención de biodiésel. Así mismo se sientan las bases para demás trabajo futuro para un tema de Tesis.

Se logró definir y aplicar un diseño experimental ortogonal que permiten validar que los resultados obtenidos son coherentes entre sí.

El proyecto de residencia me permitió validar los conceptos teóricos y prácticos aprendidos durante mi estadía como estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial en proyectos de investigación de ciencia aplicada que simulan situaciones reales dentro de los sectores económicos.

Para llevar a cabo este proyecto se pusieron en práctica los conocimientos y habilidades obtenidos a lo largo de la carrera como son, diseño de procesos, investigación de operaciones, experimentación, análisis estadístico, costos, entre otras materias importantes. También se aplicó la investigación y redacción, ya que, al ser un proyecto de esta índole, se necesitan las herramientas básicas para tener un proyecto de calidad, eficiente y eficaz a su vez.

En particular aprendí a adaptarme a trabajos por objetivos. Además de siempre buscar la solución más factible mediante la aplicación de un método analítico y científico para eliminar los problemas desde raíz.

Mi tiempo de residencia profesional interactuando con temas de ciencia aplicada, investigación e innovación tecnológica fue una de las mejores experiencias profesionales que he vivido y donde aprendí lo importante que es llegar a establecer soluciones viables y resolver el problema raíz de la manera más factible.

VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

1. Aplique metodologías de la Ingeniería Industrial con base en las necesidades del proyecto de investigación de estudio para incrementar sus diversos indicadores de operación.
2. Aplique métodos cuantitativos y cualitativos en el análisis e interpretación de datos e información para diseñar y construir la metodología de operación requerida.
3. Implementé métodos innovadores de solución de problemas de ciencia, los cuales pueden ser replicados a escala industrial.
4. Gestioné la generación del conocimiento específico para evidenciar la capacidad de acción de la Ingeniería Industrial, ejerciendo un liderazgo estratégico y un compromiso ético.
5. Coadyuve a cumplir los retos de la institución en torno al fomento de proyectos de investigación.
7. Utilice las nuevas tecnologías de información y comunicación de la institución, para el estado del arte del proyecto y contar con información actualizada para la mejora de los procesos de estudio y la operación del equipo del proyecto.
8. Promoví el desarrollo de la ciencia e investigación, con el fortalecimiento de las líneas de investigación de la institución.
9. Aplique métodos de investigación para desarrollar e innovar sistemas y/o procesos industriales.
10. Actúe como agente de cambio para facilitar la mejora continua en los procesos de aprendizaje de la carrera de Ingeniería Industrial de la institución.
11. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas presentados durante la fase de ejecución del proyecto.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Islas, J., Manzini, F., & Mansera, O. (2007). A prospective study.
2. Bozbas, K. (2008). Biodiésel as an alternative motor fuel
3. Grey C. Castellar Ortega, E. R. (2014). Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos".
4. Tejada Tovar, C., Tejada Benítez, L., Villabona Ortiz, Á., & Monroy Rodríguez, L. (2013). Obtención de biodiésel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal . Manizales, Colombia: Revista Luna Azul.
5. Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia, 2012
6. Blanco Y., & Leyva Á., (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospedadores de enemigos naturales. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*. 28 (2). p 21-28
7. Rendón-Aguilar, B., Bernal-Ramírez, L. A. & Sánchez-Reyes, G. (15 de marzo de 2017). Las plantas arvenses: más que hierbas del campo. Recuperado de <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/index.php/todos-los-numeros/articulos-antteriores/226-las-plantas-arvenses?tmpl=component&print=1>
8. García-Regalado, G. (2015). Plantas medicinales de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags., México: Universidad Autónoma de Aguascalientes, p 20-21.
9. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. (s.f.). *Bidens odorata* Cav. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/bidens-odorata/fichas/ficha.htm#9.%20Referencias>
10. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. (s.f.). *Bidens ferulifolia* (Jacq.) DC. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/bidens-ferulifolia/fichas/ficha.htm>
11. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. (s.f.). *Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/simsia-amplexicaulis/fichas/ficha.htm>

12. NaturaLista. (2020, Noviembre 17). *NaturaLista*. Retrieved from NaturaLista: <https://www.naturalista.mx/taxa/850963-Simsia-lagasceiformis>
13. Universidad de Barcelona. (2020). Destilación; operaciones basicas en el laboratorio de química. Obtenido de <http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/index1.html#>
14. Cervantinos, C. E. (2020). Destilación simple. Definición, métodos y ejemplos. Obtenido de <https://www.centroestudioscervantinos.es/destilacion-simple/>
15. Cervantinos, C. E. (2020). Destilación simple. Definición, métodos y ejemplos. Obtenido de <https://www.centroestudioscervantinos.es/destilacion-simple/>
16. Ávila, A. P. (2012). Optimización, escalamiento y diseño de una planta piloto de extracción sólido líquido. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2468/1/tq11111.pdf>
17. BioOlis. (2021). ¿Qué es biodiésel? Transesterificación. Junio 1 del 2021, de Grupo Bio-Olis Sitio web: <https://bio-oils.com/biodiésel/>
18. BIODISOL. (2021). El proceso de Transesterificación. junio 1 del 2021, de BiodiSol Sitio web: <https://www.biodisol.com/como-hacer-biodiésel-produccion-y-fabricacion-de-biodiésel-casero/el-proceso-de-transesterificacion-que-convierte-aceites-y-grasas-en-biodiésel/>
19. Minitab.com. (2019). Diseños de Taguchi. Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/taguchi-designs/taguchi-designs/>
20. Pentón-Saucedo, A. E. & d.-Castillo-Serpa, A. (2012). Aplicación de la Tabla Ortogonal en el diseño de los casos de prueba de Software. *Revista Avanzada Científica*, 15(2), p12.
21. Minitab.com. (2019). Catálogo de diseños de Taguchi. Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/taguchi-designs/catalogue-of-taguchi-designs/>
22. UPG. (2015). Contabilidad de costos. JUNIO 1, de Universidad Pedro Gante Sitio web:<https://www.upg.mx/wp-content/uploads/2015/10/LIBRO-25-Contabilidad-de-Costos.pdf>

23. VAN HORNE, James C., WACHOWICZ, John M., Fundamentos de la Administración Financiera, Editorial Prentice Hall, México.
24. UV. (2018). Costos. Mayo 22, 2021, de Universidad Veracruzana Sitio web: <https://www.uv.mx/personal/alsalas/files/2013/02/COSTOS-Unidad-2.pdf>
25. UNNG. (2014). Costos indirectos de Fabricación. Mayo 28, 2021, de Universidad Militar Nueva Granada Sitio web: http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/administracion_empresas/contabilidad_de_costos/unidad_4/DM.pdf

ANEXO 1

Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes., 11/enero/2021

No. de Oficio: SDA/MCIMC-001/2021

Asunto: Carta de aceptación de Residencias Profesionales

MA. MAGDALENA CUEVAS MARTÍNEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el **C. LUIS FERNANDO HERNÁNDEZ SALAZAR**, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, con número de control 161050414, ha sido aceptado para realizar en esta Institución su proyecto de Residencia Profesional denominado **"Aplicación y desarrollo de diseños estadísticos experimentales para conocer la correlación de variables en la obtención de biodiesel a nivel laboratorio empleando una maleza local de la familia Asteráceas; acahualillo"** durante el periodo de enero-junio 2021, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 10:00 a 17:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de los docentes Dora María Guevara Alvarado (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto será realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
"Tierra Siempre Fértil"

EDGAR ZACARÍAS MORENO
SUBDIRECTOR ACADÉMICO



ccp. Archivo

EZM/jada



Carretera a la Estación de Rincón Km 1, C.P.
20670
Pabellón de Arteaga, Aguascalientes
Tel. (465) 958-2482 y 958-2730, Ext. 332
e-mail: acad_parteaga@tecnm.mx
tecnm.mx | pabellon.tecnm.mx



ANEXO 2

Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional



Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes., 4/junio/2021
No. de Oficio: SDA/MCIMC-027/2021
Asunto: Carta de conclusión de Residencias Profesionales

MA. MAGDALENA CUEVAS MARTÍNEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el **C. LUIS FERNANDO HERNÁNDEZ SALAZAR**, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, con número de control 161050414, concluyo satisfactoriamente en esta Institución su proyecto de Residencia Profesional denominado **"Aplicación de diseños experimentales y gestión de costos en el proceso a nivel laboratorio de obtención de biodiésel a partir de malezas: acahuallilo"** durante el periodo de enero-junio 2021, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 10:00 a 17:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de los docentes Dora María Guevara Alverado (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto fue realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
"Tarea Siempre Finita"

EDGAR ZACARÍAS MORENO
SUBDIRECTOR ACADÉMICO



ccp. Archivo

EZM/jada



Carretera a la Estación de Rincón Km 1, C.P.
20670
Pabellón de Arteaga, Aguascalientes
Tel. (465) 958-2482 y 958-2730, Ext. xx
e-mail: acad_parteaga@tecnm.mx
tecnm.mx | pabellon.tecnm.mx

