

**OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL USADO Y
MODELACIÓN DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN.**

Luis David Buitrago Mejía

Directores

José Divitt Velosa García
Luisa Fernanda Carvajal Díaz

Universidad EAN
Facultad de Ingeniería.
Programa de Ingeniería Ambiental e Ingeniería industrial
Bogotá D.C.
21/06/2023

Tabla de contenido

1.	Resumen	3
2.	Abstract	3
3.	Introducción	4
4.	Objetivos	6
	4.1 Objetivo general.....	6
	4.2 Objetivos específicos.....	6
5.	Definición del problema.....	7
6.	Justificación.....	8
7.	Análisis de requerimientos	10
8.	Marco de referencias	12
9.	Análisis de restricciones.....	15
10.	Metodología para la selección y desarrollo de la solución.....	17
11.	Análisis de resultados.....	34
12.	Análisis de costos	37
13.	Conclusiones	39
14.	Bibliografía.....	42

1. Resumen

La tasa de contaminación que afecta distintos tipos de fauna y flora, asimismo como al humano, por distintas vías (acuáticas, aérea y/o afectación visual) en Colombia ronda por el 56% (BC Noticias, 2019). La inadecuada disposición de distintos tipos de aceites y sustancias similares afecta directamente muchos otros sistemas de vida, debido a esto la generación de biodiesel a partir de aceite de desechado busca generar una disminución de los impactos generados por los residuos inadecuadamente dispuestos por las actividades humanas. De forma complementaria los residuos generados por la creación del biodiesel se reincorporarán a la cadena productiva nuevamente, todo este proceso planteado por medio del diseño de una planta de producción.

Palabras clave: Aceite de cocina, biodiesel, contaminación, residuos.

2. Abstract

The pollution rate that affects different types of fauna and flora, significantly like humans, through different routes (aquatic, air and/or visual affectation) in Colombia is around 56% (BC Noticias, 2019). The inadequate disposal of different types of oils and similar substances directly affects many other life systems, due to this, the generation of biodiesel from waste oil seeks to generate a decrease in the impacts generated by inadequate waste prepared by human activities. . In a complementary way, the waste generated by the creation of biodiesel will be reincorporated into the productive chain again, all this process raised through the design of a production plant.

Key words: Cooking oil, biodiesel, pollution, waste.

3. Introducción

El planeta tierra cuenta con ciertas cantidades de recursos que son finitos, es decir, que en algún momento se acabarán, es por ello que los humanos empiezan la búsqueda por encontrar materias primas que tenga un periodo de renovación más rápido o que tengan un periodo de renovación mucho más corto, para el caso del sector energético por combustibles se encontró una solución, la cual tiene como denominación combustibles renovables o eco combustibles “los cuales no tienen un origen fósil, sino que proceden de materias primas circulares como residuos orgánicos no alimentarios” (Repsol); Además de que “los combustibles renovables se elaboran a partir de materias primas de origen orgánico, como aceites vegetales usados, grasas animales, biomasa, residuos de la industria agroalimentaria, como el biogás, o residuos forestales y agrícolas, entre otros” (Repsol, 2022).

Dentro de la necesidad de generar un cambio energético, se llegan a emplear términos como “Economía circular” definida por Ken Webster como “Aquella que se fundamenta en reducir, reusar y reciclar, a la vez que se promueve que el valor de los productos, los materiales y los recursos, se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible y se reduzca al mínimo la generación de residuos.” (Tedx Talks, 2012)

Actualmente los aceites de cocina que pasan por su proceso de utilización son considerados de forma automática como desechos y estos son dispuestos directamente a los sistemas de vertimiento de los hogares, esta actividad es peligrosa e irresponsable por parte de las comunidades, según la investigación realizada por el equipo de la Revista Semana “un litro de aceite puede llegar a contaminar 40.000 litros de agua” (Aceites de cocina, 2015) aceite que dentro de la cadena productiva para muchas personas ya tiene un fin, pero es la materia prima

para algunas industrias dedicadas a la producción de biocombustibles estas enfocadas en la producción de energías renovables y combustibles mucho más amigables con el ambiente.

La obtención de biodiesel se puede realizar por distintos medios, entre ellos la pirolisis, micro emulsión, dilución y transesterificación, siendo esta ultima la más empleada para la producción, debido a sus bajos costos.

Una de las fuentes disponibles de obtención de biodiesel es cualquier tipo de aceite vegetal como puede ser aceite de Girasol (*Helianthus annuus L*), soja (*Glycine max*), ricino (*Ricinus communis*), tártago (*Euphorbia lathyris*) y palma (*Olea europaea L*), todos estos con propiedades similares pero que su punto de cultivación, obtención y procesamiento del mismo está ubicado en distintas partes a nivel mundial, dependiendo de las condiciones para el correcto cultivo.

Teniendo como base la literatura, la información existente y procesos ya desarrollados sobre la obtención de un biodiesel que tiene como fuente primaria el aceite vegetal usado, en este documento, se realiza la obtención de una muestra de biodiesel mediante de la utilización de aceite vegetal para la producción de este biocombustible con el fin de disminuir el impacto ambiental de este producto liquido graso, además de la obtención de glicerina o glicerol, estos procesos planteados a generarse en una planta de tratamiento apta para las condiciones requeridas para la correcta obtención de los ya mencionados.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

- Obtener una muestra de biodiesel y diseñar una planta para su producción a partir del tratamiento de aceites vegetales desechados.

4.2 Objetivos específicos

- Realizar pruebas experimentales para la obtención de biodiesel.
- Identificar las variables de proceso determinantes en la producción de biodiesel a partir de aceites usados.
- Definir los equipos requeridos para el procesamiento de aceites a razón de producir biodiesel.
- Modelar el plano de una planta de producción de biodiesel.

5. Definición del problema

La inadecuada gestión de residuos de tipo oleaginosos o más conocidos como aceites, presentan un gran inconveniente para los cuerpos de agua, ya que estos, aún aplicados en pequeñas cantidades al recurso hídrico pueden causar una gran alteración al mismo, modificando sus características físicas y químicas, generando afectación en los seres vivos que habitan allí.

En los últimos años estos residuos de aceite de cocina usado en su mayoría van a las redes de alcantarillado desde los lavaderos, inodoros y hasta en bolsas de basura que no son correctamente dispuestas, lo que genera no solo un problema ambiental, sino también social.

Este problema se resume en la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo se puede reducir la contaminación reincorporando a la cadena productiva el aceite vegetal usado, utilizándolo, como materia prima para la obtención de biodiesel?

6. Justificación

La obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal usado es un tema relevante y actual debido a varias razones. En primer lugar, el biodiesel se considera una fuente de energía renovable y sostenible que puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

La utilización de aceite vegetal usado para la producción de biodiesel presenta numerosos beneficios ambientales. El aceite vegetal usado es un subproducto de la industria alimentaria y, en muchos casos, se desecha incorrectamente, lo que puede tener un impacto negativo en el medio ambiente. Al reciclar este aceite y convertirlo en biodiesel, se evita su disposición inadecuada y se reduce la contaminación del agua y del suelo.

Además, el biodiésel producido a partir de aceite vegetal usado es una alternativa más sostenible desde el punto de vista económico. Al utilizar un recurso que de otra manera sería desechado, se reduce los costos de producción y se fomenta la economía circular.

La obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal usado también puede tener un impacto positivo en la sociedad. Puede generar empleo en el sector de la producción de biodiesel y contribuir al desarrollo de una industria sostenible y de bajo impacto ambiental.

Sin embargo, es importante destacar que la obtención de biodiésel a partir de aceite vegetal usado requiere de procesos de producción adecuados y de cumplimiento de normas ambientales y de calidad. Además, es necesario promover una correcta gestión de los residuos de aceite vegetal usado para garantizar su recolección y utilización segura. La obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal usado es un tema relevante debido a su potencial para promover la sostenibilidad ambiental, la reducción de emisiones y el desarrollo económico sostenible. Su

implementación adecuada puede contribuir a la transición hacia una matriz energética más limpia y renovable.

7. Análisis de requerimientos

Al tener una problemática definida, teniendo claras ciertas estrategias y técnicas de fabricación, es necesario realizar un proceso de análisis el cual nos indique cual es el procedimiento, equipos, maquinaria y demás factores que nos ayuden al proceso de obtención del biodiesel.

Se requieren los siguientes elementos:

Aceite de cocina usado o quemado: Materia prima para la fabricación del biodiesel.

Tanques para almacenamiento de aceite: Deposito de almacenamiento de aceite, con una capacidad de 200 litros de aceite, cuenta con una tapa tipo embudo, además con un filtro con capacidad de 20 litros (Disset Odiseo, 2023).

Embudo: De distintos tamaños, entre 120 mm y 300 mm.

Equipos de mezclado: Para el mezclado de los componentes será necesaria la utilización de envases o recipientes pueden ser empleadas botellas de plástico.

Vaso de precipitado: Para realizar una medición con una exactitud más elevada.

Sosa caustica o hidróxido de sodio: Granulada.

Metanol: Compuesto químico en estado líquido.

Balanza: Para el pesaje de las cantidades necesaria de los compuestos químicos.

Cuchara: Utilizada en la homogeneización de los compuestos.

Tapas o trapos: Estos utilizados para el proceso de reposo de la mezcla con el fin de que se sedimente y no esté en contacto con contaminantes.

Filtro: Con el fin de reducir los sólidos del aceite.

Jeringa: Para extraer la cantidad de biodiésel y separarlo de la glicerina.

Software de modelación o simulación: Al existir una gran cantidad de programas los cuales nos facilitan este proceso, se puede realizar mediante el programa 4prot, SolidWorks, AutoCAD o SketchUp.

8. Marco de referencias

El ingeniero alemán Rudolf Diesel el que inventó en 1893 el motor diésel, cuando trabajaba para MAN (Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg), y buscaba un motor de alto rendimiento térmico para camiones y vehículos similares. En 1897 MAN produjo el primer motor diésel (Motorpasion, 2016).

La compañía multinacional española Repsol S.A define a el combustible tipo diésel y la siguiente manera “También conocido como gasóleo o gasoil, se obtiene a partir de la destilación y la purificación del petróleo crudo. Para ello se utiliza una torre de craqueo donde se introduce el petróleo y se calienta” (Repsol, 2022).

El diésel es un combustible que proviene de la destilación del petróleo; respecto a su composición química, el Diesel tiene una densidad de aproximadamente 850 kg/m³, esta principalmente compuesto de hidrocarburos saturados y/o parafinas en un 75% y en un 25% de hidrocarburos aromáticos. Su fórmula química es $C_{12}H_{26}$ es decir, 12 átomos de carbono y 26 de hidrogeno.

Además de esto, debemos tener en cuenta que hay tres tipos de diésel, tipo A, tipo B y tipo C, de estas depende principalmente la cantidad de impurezas, lo refinado de cada uno de estos tipos y la composición química de estos. Cabe resaltar que el diésel es una alta fuente de contaminación para el aire, ya que dentro de sus emisiones hay gases y químicos tales como el nitrógeno, dióxido de carbono, oxígeno, dióxido de azufre, hollín, hidrocarburos, óxidos nítricos, monóxido de carbono y agua.

El biodiesel es un biocombustible o un biocarburante líquido, producido a partir de aceites vegetales o grasas animales, químicamente se describe como compuestos mono alquílicos (es decir que cuentan solo con átomos de carbono e hidrogeno de ácidos grasos de cadenas tanto

largas como cortas). Su reacción de síntesis se basa en el proceso de transesterificación que consiste en combinar o crear una mezcla homogénea el aceite (en este caso vegetal) con un alcohol que en este caso será el metanol, además de aplicar un catalizador por medio de un proceso base-base que puede ser hidróxido de sodio más conocido como sosa caustica, que dejará como residuo propanotriol o más conocido como glicerina. (CIMA V, 2008)

La ASTM (American Society for Testing and Material Standard) describe al biodiesel como ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de lípidos tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se pueden emplear en motores de ignición de compresión o sea los motores del tipo “Diesel”.

El aceite vegetal es un compuesto orgánico que se obtiene de las semillas o frutos oleaginosas (aquellas de las cuales se puede obtener aceites). Su composición química corresponde en su mayoría a una mezcla de triglicéridos (Cerca del 95%) y en un 5% de ácidos grasos libres, de ceras, esteroides, entre otros compuestos en pequeñas cantidades.

Los lípidos son triglicéridos en su mayoría, es decir tres moléculas de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerol (Ascensión Sanz, S.F)

El metanol “es un líquido incoloro, volátil e inflamable con un ligero olor alcohólico en estado puro. Es un líquido altamente venenoso y nocivo para la salud. Es miscible en agua, alcoholes, esteroides, cetonas y muchos otros solventes; además, forma muchas mezclas azeotrópicas binarias. Es poco soluble en grasas y aceites. (IDEAM, 2009).

Anteriormente se han mencionado una gran cantidad de conceptos necesarios para entender o llegar a imaginar los procesos vinculados a la obtención del biodiesel; como lo es el energías renovables, biodiesel, Diesel, energías alternativas, no obstante es necesario profundizar en las diferencias entre el diésel común y el biodiesel que se va a generar, es aquí donde está la

gran importancia de cambiar rápidamente a un combustible más amigable con el ambiente y que de una u otra manera no afecte a las generaciones futuras.

Según (Como funciona, 2020) “La diferencia radica en que el diésel es derivado del petróleo (fuente de energía no renovable) y el biodiésel se extrae de animales, semillas y aceites vegetales (energía renovable)”. Al saber esto se realiza un enfoque directamente desde los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) los cuales son un medio de control para contribuir a (año 2030) un futuro más sostenible para todos los habitantes del planeta, no solo humanos, generar conciencia y establecer puntos de partida, el proyecto cubre los siguientes ODS: 7. Energía sostenible y no contaminante, 12. Producción y consumo responsable, 13. Acción por el clima. Al tener influencia dentro de 3 objetivos de desarrollo sostenible, se toma la decisión de abarcar de manera más directa y principal el objetivo número 13, ya que cubre las necesidades que el proyecto busca suplir de manera más general y completa, ya que la cantidad de gases de efecto invernadero generados por la combustión del ciclo de quema de diésel, además de que algunos de los contaminantes generados por la combustión del diésel como el MP y los HC son tóxicos y cancerígenos (National Renewable Energy Laboratory, 2009). Según la empresa hindú Ario BioEnergy el biodiesel “Reduce los gases de efecto invernadero del ciclo de vida hasta en un 86 por ciento, lo que implica que el uso de biodiesel ya ha reducido 75,5 millones de toneladas métricas de contaminación por carbono. Eso equivale a plantar casi 1.900 millones de árboles” (BioEnergy,2022) “También ayuda a reducir las partículas en un 47 por ciento, lo que reduce el smog. Esto hace que el aire sea más saludable para respirar”.

9. Análisis de restricciones

Ambientales: Al contar una serie de químicos como lo es el hidróxido de sodio y la soda caustica, además de contar con un contaminante como lo es el aceite usado, se debe contar con cierta preparación y medidas de seguridad para mitigar emergencias.

Económicas: Dentro de este aspecto es necesario saber que la industrialización de este proceso es elevada, ya que los equipos adecuados para dicho proceso cuentan con unas medidas de calidad y almacenamiento, es por ello que sus costos aumentan, sin embargo, al realizar un plan y una modelación experimental para que sus costos sean reducidos.

Si nos referimos a la obtención de la materia prima, es un proceso el cual no genera ningún costo, ya que se obtiene a raíz de los desechos del aceite de cocina.

Legales: Según la resolución 2154 de 2012, Todos los establecimientos dedicados a la fabricación, procesamiento, envase, importación y exportación de aceites y grasas para consumo humano, deben inscribirse en la lista nacional de establecimientos del sector de aceites y grasas para consumo humano del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos – Invima, durante los seis meses siguientes, a la fecha en que el Invima establezca el procedimiento para la inscripción en la lista nacional de establecimientos del sector de aceites y grasas para consumo humano. (Resolución 2154, 2012)

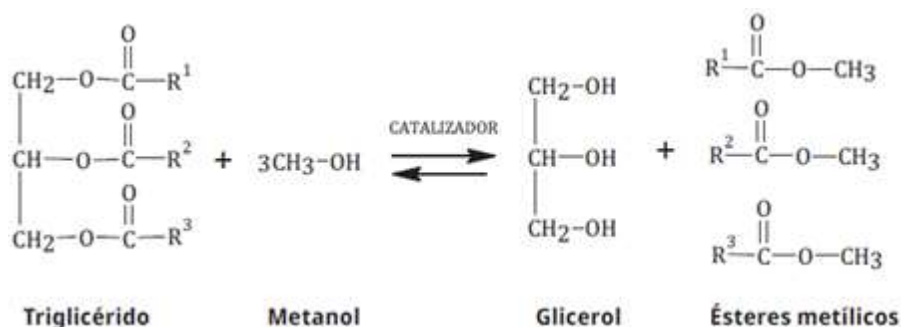
Seguridad y salud: Los establecimientos donde se fabriquen o procesen aceites y grasas en forma sólida y líquida para consumo humano, deben tener implementado el Sistema de Análisis de Peligros y Puntos de Control Crítico –HACCP– a partir de los dos (2) años siguientes a la fecha de entrada en vigencia del reglamento técnico que se establece mediante la presente resolución. (Resolución 2154 de 2012)

Además de esto se debe contar con Plan de Contingencia, con ciertos equipos de seguridad como elementos de protección personal (EPP) para reducir la posibilidad de accidentes e incidentes en el proceso de producción.

10. Metodología para la selección y desarrollo de la solución

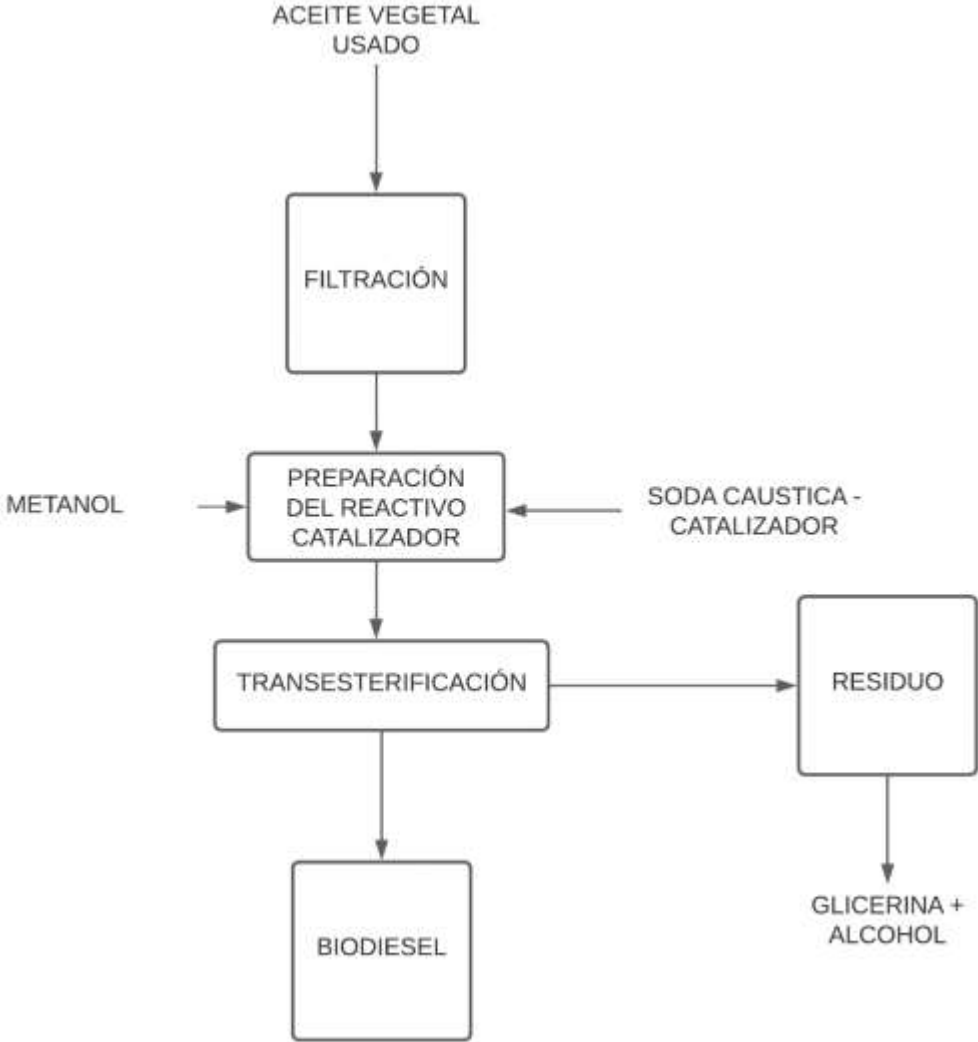
La metodología de investigación para el proyecto abarca una metodología mixta es decir procesos tanto cualitativos como cuantitativos, dentro de esta estructura se encuentra: El requerimiento de investigación y formulación, modelación, simulación, desarrollo para la obtención del biodiesel, dicho procedimiento sostenido por un proceso experimental.

Para la obtención del biodiesel se va a aplicar un proceso de transesterificación, “una reacción una reacción de tres pasos sucesivos entre una grasa y aceite y un alcohol, que genera los ésteres metílicos de los ácidos grasos que componen el biodiésel y la glicerina como subproducto. Dado que la reacción es reversible, se requiere la adición de un exceso de alcohol para desplazar el equilibrio hacia la formación de productos, que asegura la conversión de los triglicéridos” (Producción de biodiésel a partir de las grasas extraídas, 2019)



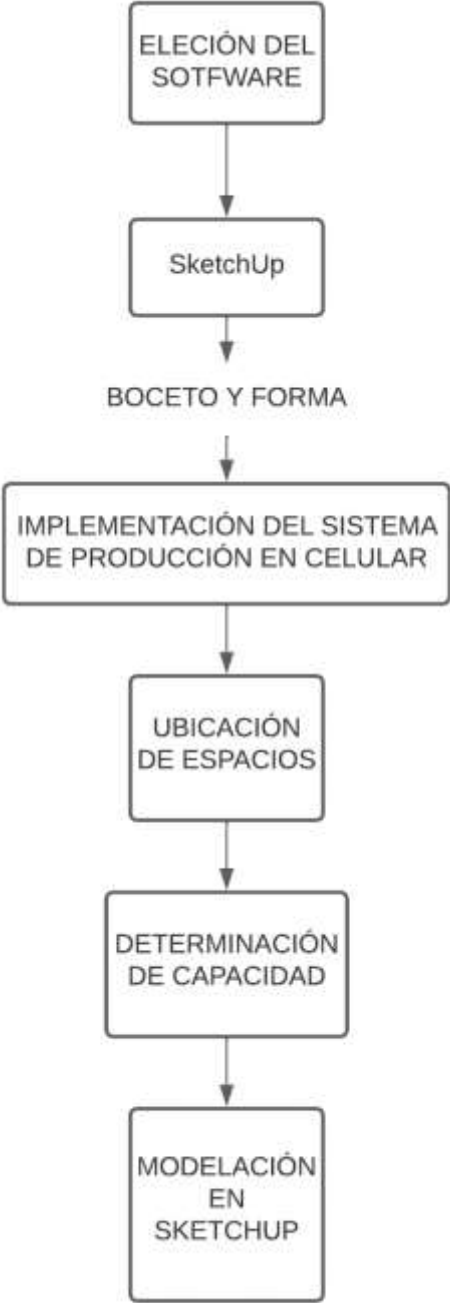
Proceso de transesterificación; Imagen obtenida de: Producción de biodiesel a partir de grasas extraídas, 2018.

Diagrama de obtención de biodiesel



Nota: Figura 1. Autoría propia.

Diagrama de procesos de creación de la planta de producción



Nota: Figura 2. Autoría propia.

Para el proceso de organización y manejo de los espacios se hace uso de una herramienta denominada “células de producción” que son un enfoque organizativo utilizado en el ámbito de la fabricación y la gestión de operaciones para mejorar la eficiencia y la productividad. El concepto de células de producción se basa en la idea de agrupar las actividades y recursos necesarios para fabricar un producto o llevar a cabo un proceso específico en una unidad autónoma y autoorganizada llamada "célula".

Una célula de producción se compone de un grupo de trabajadores multidisciplinarios que colaboran estrechamente y se dedican a la realización de tareas relacionadas entre sí. Estos equipos de trabajo suelen estar compuestos por operarios especializados en diferentes etapas del proceso de fabricación, como el montaje, ensamblaje, control de calidad, entre otros.

El propósito principal de las células de producción es aumentar la eficiencia y reducir los tiempos de fabricación al minimizar los movimientos y las esperas entre las distintas etapas del proceso. Al agrupar a los trabajadores y recursos necesarios en una célula, se busca eliminar la necesidad de trasladar el producto o las piezas de un lugar a otro, lo que ahorra tiempo y reduce el riesgo de errores o daños (Creando flujo continuo, 2008).

Además de la mejora en la eficiencia, las células de producción también promueven la flexibilidad y la capacidad de respuesta ante los cambios en la demanda o los requisitos del mercado. Al contar con equipos multidisciplinarios, las células pueden adaptarse más fácilmente a diferentes tareas y asumir nuevas responsabilidades, lo que permite una mayor agilidad en la producción.

Para implementar las células de producción de manera efectiva, es necesario realizar un análisis detallado de los procesos existentes, identificar las tareas y actividades que pueden

agruparse en una célula y asignar los recursos necesarios. Además, se requiere una comunicación y coordinación fluida entre los miembros de la célula y una estructura de gestión que respalda su funcionamiento. Las células de producción son una forma de organizar y gestionar las actividades de fabricación o producción, agrupando a los trabajadores y recursos en equipos multidisciplinarios para mejorar la eficiencia, reducir los tiempos de fabricación y aumentar la flexibilidad y capacidad de respuesta.

10.1 Obtención de biodiésel

Como se mencionó anteriormente para la obtención del biodiesel es requerida cierta cantidad de elementos para su proceso, además como los elementos de protección personal suficientes para así evitar algún tipo de incidentes u accidentes.

A continuación, se realiza el análisis del procedimiento experimental para la obtención del biodiesel:



Imagen 1. Materiales de producción

En la imagen se visualiza la cantidad de elementos que se utilizarán en el proceso de obtención del biodiesel, como lo son 2 botellas plásticas de 5 litros cada una con su correspondiente tapa, 1 embudo, 280 mililitros de metanol, soda caustica; en este caso se cuenta con un tarro de marca “Diablo rojo” de 350 gramos, 1 recipiente con medidas de volumen, 1

jeringa, 10 cm de manguera de nivel pequeña, 1 litro de aceite de cocina usado, 1 vaso y 1 cuchara.



Imagen 2. Proceso de filtrado del aceite vegetal usado.

El aceite de cocina usado contiene una gran cantidad de contaminantes e impurezas en su mayoría solidos de gran tamaño, por ello es necesario realizar un proceso de filtrado para de esta manera retener la mayor cantidad de solidos posibles. Este proceso se realiza por medio de un embudo y un filtro de tela, dicho procedimiento se realiza dos veces.



Imagen 3. Solidos que contiene la muestra.

En la imagen anterior se logra visualizar la cantidad de solidos que contiene la muestra de aceite de 1 litro y como el filtro de tela es una herramienta eficiente en cuanto a la captación de los mismo, así mismo si el aceite estuvo previamente en reposo los solidos contenidos en el irán al fondo de la botella y quedarán captados allí.



Imagen 4. Preparación de reactivo.

Para la preparación del reactivo se requieren 200 mililitros de metanol, 6 gramos de soda caustica, esta medida es la correspondiente para una muestra de 1 litro de aceite de cocina usado. La proporción del metanol respecto al aceite es generalmente del 20%, es decir, que para 1 litro de aceite es necesario aplicar 200 mililitros de metanol.



Imagen 5. Reactivo homogeneizado.

Se realiza la mezcla y se busca que sea homogeneizada completamente, para ellos se prepara en una botella plástica correctamente sellada y se agita durante 2 a 3 minutos de manera constante, “Cuando se mezcla el metanol con el hidróxido de sodio(catalizador) se produce una reacción exotérmica cuyo resultado es el metóxido de sodio. "Exotérmica" quiere decir que desprende calor. Los utensilios que entren en contacto con el catalizador deben estar totalmente secos” (Método sencillo para hacer biodiésel. Biocombustibles. Journey to Forever)



Imagen 6. Mezclado de reactivo y aceite.

Al tener la solución del reactivo y el aceite sin solidos suspendidos, se añade la mezcla homogeneizada y posteriormente se realiza un proceso de agitación durante un periodo de tiempo de 3 a 4 minutos, con el fin de se genere una reacción entre las dos sustancias proporcionadas.



Imagen 7. Homogeneización de mezcla.

Al realizar el proceso de mezclado y la agitación, se evidencia un cambio notorio en la mezcla, la coloración no da indicios de que el proceso esta correctamente hecho, ya que la reacción genera un cambio físico distintivo.



Imagen 8. Proceso de sedimentación del producto.

Luego de realizar los distintos procesos y haber obtenido una muestra correctamente homogeneizada, es necesario dejar la muestra en reposo en un lugar completamente inmóvil para que la glicerina se colmate y vaya al fondo de la botella, las imágenes indicadas se encuentran en orden cronológico, las fotos tomadas en un lapso de 4 horas entre ellas.

10.2 Planta de tratamiento

Al realizar el escalamiento de la producción de biodiesel de nivel laboratorio a nivel industrial se realiza un cambio de casi el 100% tanto de equipos como de espacios, ya que es una transición enorme en la cantidad de materia prima a procesar, para ello se aborda dicha transición por medio de la herramienta virtual SketchUp, la cual facilita el diseño gráfico y el modelado 3D.

Gracias al correcto afianzamiento con la herramienta, se consigue una modelación a escala de la planta de tratamiento a nivel industrial en donde se encuentren todos los espacios necesarios para la correcta producción de biodiesel, además de esto, la adecuación y la distribución de cada uno de sus espacios.

Para la correcta adecuación y distribución de los espacios se realiza un afianzamiento con el modelo denominado células de producción, el cual nos indica que “Consiste en organizar el sistema productivo en compartimentos individuales, independientes y dinámicos, formados por una agrupación de personas y máquinas que realizan un determinado número de operaciones especializadas” (AulaFacil, 2015); dicho sistema productivo encaja de manera idónea con la producción del biocombustible.

A continuación, se expone el modelo generado de la planta de tratamiento:

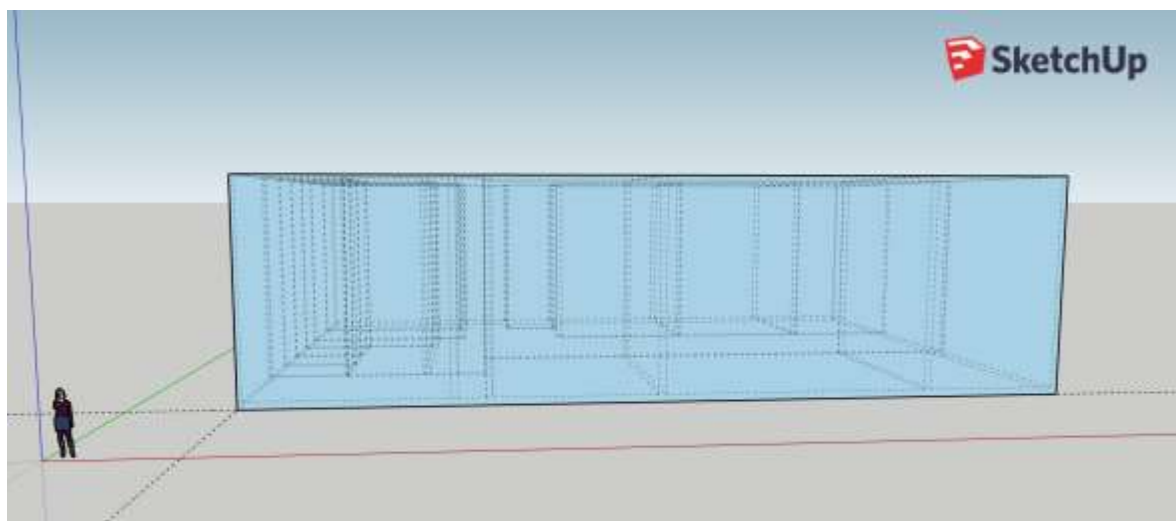


Imagen 9. Vista horizontal, primer ángulo. Imagen: Autoría propia.

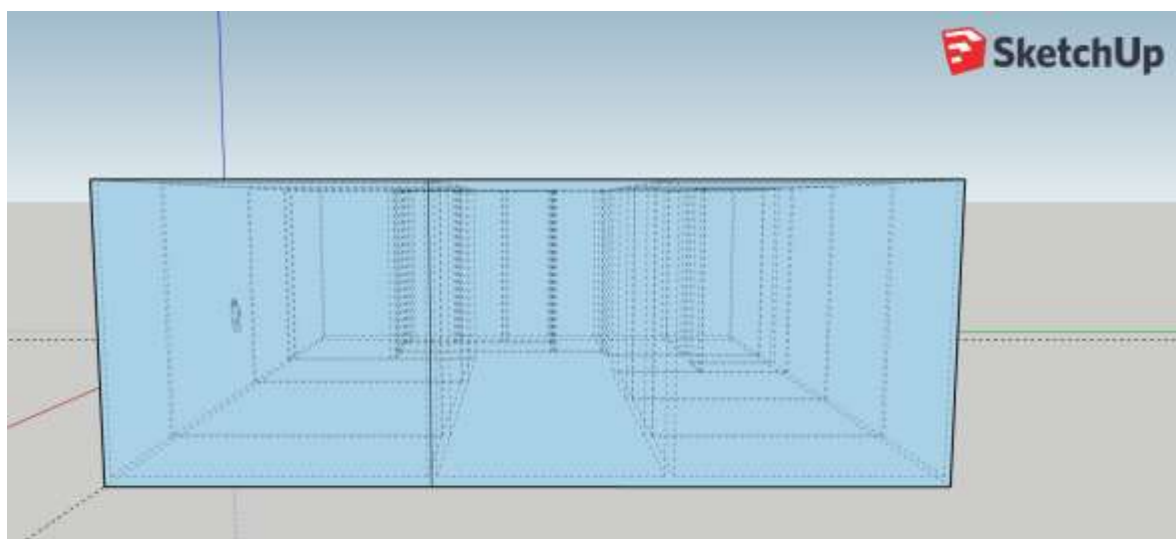


Imagen 10. Vista horizontal, segundo ángulo; Imagen: Autoría propia.

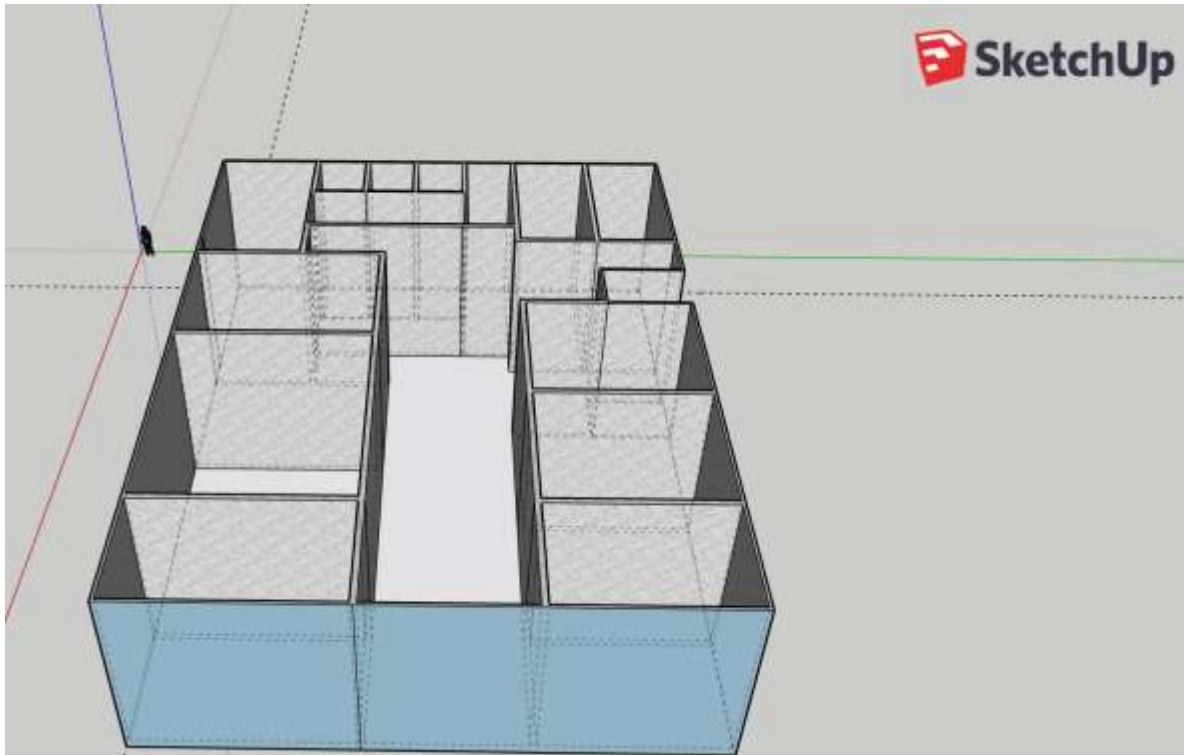


Imagen 11. Vista superior, ángulo diagonal; Imagen: autoría propia.

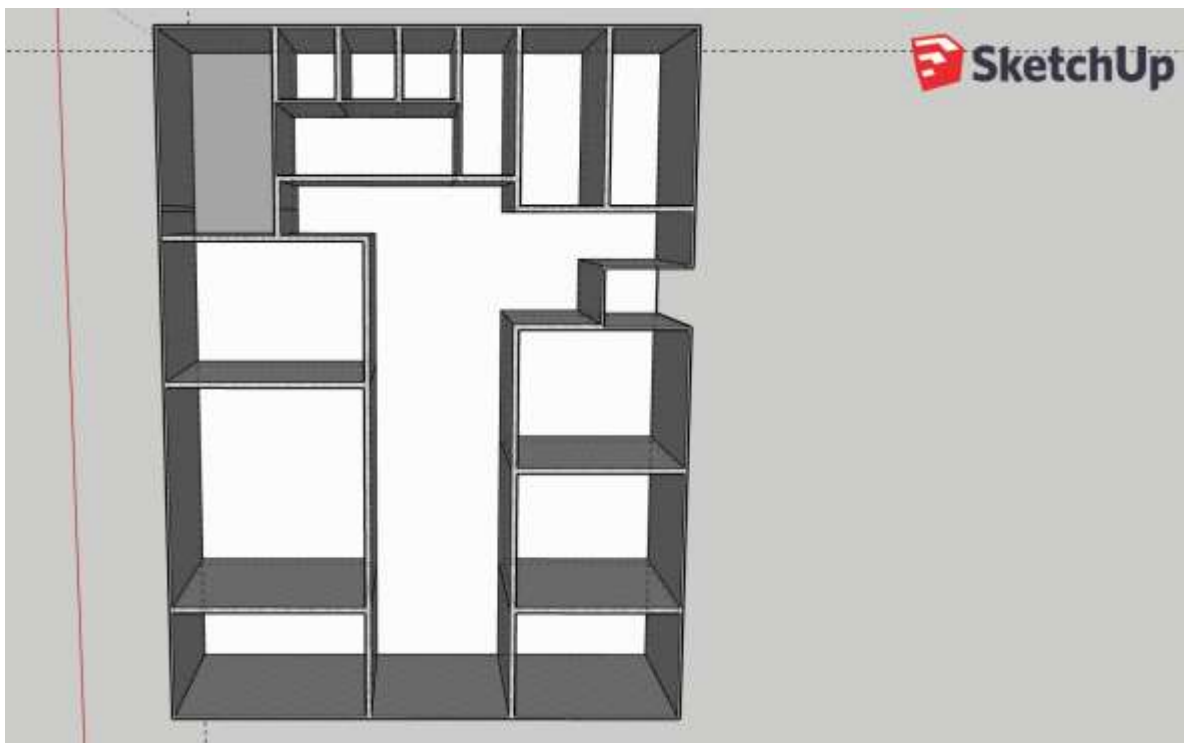


Imagen 12. Vista superior, ángulo superior, Imagen: autoría propia.

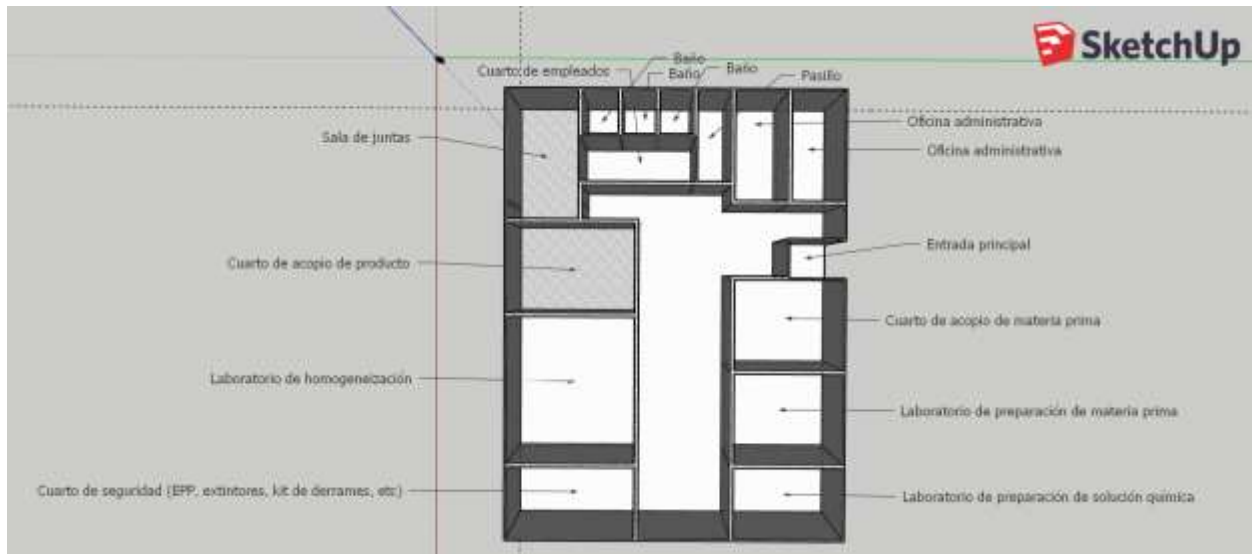


Imagen 13. Autoría propia.

En la imagen anterior se realiza la distribución de cada uno de los espacios adecuados dentro del modelado de la planta de tratamiento.

A continuación, se realiza la explicación de los espacios adecuados dentro de la planta de tratamiento:

Entrada principal: Aunque la entrada se define simplemente como un lugar, para la planta de tratamiento va más allá, ya que es el lugar en el cual se lleva el control del estado físico de los trabajadores y las condiciones en la cual inician la jornada laboral, además de el reporte de actividades y divulgación de información.

Oficina administrativa: Consta de equipos de oficina, como lo son escritorios, computadores, archivadores, teléfonos y demás herramientas que faciliten estos procesos.

Cuarto de empleados: En este espacio da lugar a la correcta adecuación de los elementos personales por parte de los empleados, además de ser un espacio adecuado para la ingesta de alimentos, la divulgación de cartelera relacionadas con temas laborales y un espacio adecuado para el esparcimiento entre los trabajadores.

Sala de juntas: Espacio adecuado para la socialización de temas de interés para externos e internos.

Cuarto de acopio de materia prima: Es el lugar en el cual se recibe el aceite vegetal usado, se le da su correcto almacenamiento, ya que el espacio cuenta con 2 isotanques, cada uno con capacidad de almacenar 1000 litros de aceite.

Laboratorio de preparación de materia prima: Es aquí en donde se realiza la preparación previa al mezclado con reactivos, se lleva a cabo el proceso de limpieza del aceite, es donde se busca retirar la mayor cantidad de sólidos posibles del aceite.

Laboratorio de preparación de solución química: Es donde se llevará a cabo la preparación de la solución química, esta va de acuerdo a la cantidad de aceite vegetal que se utilizará para el proceso.

Cuarto de seguridad antiderrames: Espacio diseñado y equipado específicamente para contener y controlar derrames accidentales de sustancias peligrosas. El objetivo principal es evitar la propagación de sustancias peligrosas en caso de un derrame, minimizando así el riesgo para la salud humana, el medio ambiente y la propiedad. Diseñado con características especiales para contener los derrames y proporcionar un entorno seguro para su limpieza y gestión.

Laboratorio de homogeneización: Espacio clave para la producción del biodiesel, esto debido a que es el lugar donde se realiza la preparación del catalizador principal del producto, dicho lugar cuenta con equipos de alta gama y de gran precisión a la hora de realizar medidas exactas, como lo son, balanzas analíticas, vasos de precipitado y demás equipos necesarios para la correcta homogeneización de los reactivos.

Cuarto de acopio de producto: Lugar donde finaliza el proceso productivo de la planta de producción, ubicado al final de la planta de producción y también de la célula de producción,

además de estar continua a la puerta de salida, esto con el fin de facilitar la salida del producto e iniciar el proceso de distribución del mismo.

11. Análisis de resultados

Muestra de biodiesel obtenida versus diésel comercial

El diésel comercial cuenta con una serie de características las cuales lo convierten en un combustible óptimo y viable para ser usado en motores de gran tamaño, se realiza un análisis a muestra de diésel comercial, proporcionado por la empresa de combustibles “Texaco” y los resultados fueron los siguientes:

Diesel comercial	
Parámetros	
pH	N/A
Temperatura	15°c a 18°c
Viscosidad cinemática	3.2 cSt - mm ² /s
Densidad	0.85 gr/m ³ a 15°c

Tabla 1. Elaboración propia.

A la muestra de biodiesel obtenida, se le realizan los mismos análisis que a la muestra de diésel comercial, con el fin de comparar sus propiedades.

Biodiesel obtenido	
Parámetros	
pH	6.3
Temperatura	19°C a 19.8°C
Viscosidad cinemática	3.24 cSt - mm ² /s
Densidad	0.92 gr/m ³ a 19.8 °c

Tabla 2. Elaboración propia.

Se observa que hay gran variedad en la temperatura, de casi 4°C, esto debido a su composición química, por otro lado, el diésel comercial cuenta con una gran cantidad de aditivos, estos proporcionan al líquido una cantidad de condiciones para que se comporte de distintas maneras de acuerdo al torque o a las temperaturas que maneje cada motor.

Por otro lado, la densidad de la muestra de biodiesel es mucho más elevada lo cual podría generar una variación notoria en la lubricación del motor, caso contrario con la muestra de diésel comercial, ya que su densidad es baja a una temperatura inferior.

En cuanto a la muestra obtenida es necesario realizar la relación entre la materia prima ingresada al proceso y la cantidad de biodiesel que se obtiene. La relación que se genera es que, de 1 litro de aceite vegetal usado, se generan 450 mililitros de biodiesel, es decir que se tiene una

obtención de biodiesel de 37,50% por litro de aceite vegetal usado. Y un porcentaje del 62.5% de glicerina y alcohol o 750 mililitros.

Por otro lado, en cuanto a la modelación de la planta de tratamiento, se infiere que para el tipo de actividad productiva que se va a realizar, el espacio determinado es optimo para el proceso, además de que el modelo implementado de la célula de producción es adecuado para el proceso, esto debido a que es un proceso relativamente corto, que su ciclo va en un solo camino y que no tiene una gran extensa cantidad de variaciones, ni de residuos intermedios.

12. Análisis de costos

En cuanto al análisis de costos, es requerido realizar el escalamiento correspondiente del proceso realizado a nivel de laboratorio a nivel industrial, en este instante es vital interés resaltar que el consumo de biodiesel en Colombia es de alrededor de 10.00 barriles diarios (FedeBiocombustibles, 2022); de acuerdo a esto se infiere que es un nicho de mercado con gran potencial a nivel nacional.

Tomando como referencia los datos anteriormente proporcionados, es necesario realizar un costo aproximado del transporte de la materia prima y el costo del producto final, en este caso se realiza el análisis correspondiente del costo mensual de los servicios y el de mano de obra o costo de personal.

COSTO MATERIA PRIMA MENSUAL				
Materia prima	Cantidad (L)	Costo (L)	Costo total	
Aceite vegetal usado	2000	\$ -	\$ -	
Soda caustica (Kg)	0,12	\$ 18.500,00	\$ 18.500	
Metanol	400	\$ 46.000,00	\$ 18.400.000	
COSTO EQUIPOS MENSUAL				
Equipo	Cantidad	Costo	Vida util	Costo total
Isotank (1000 L)	3	\$ 600.000	10 años	\$ 1.800.000
Tanque de mezcla (100)	2	\$ 13.000.000	8 años	\$ 26.000.000
Balanza de precisión	2	\$ 499.000	10 años	\$ 998.000
Vaso de precipitado (1 L)	5	\$ 50.000	2 años	\$ 250.000
Embudo de malla	5	\$ 79.300	1 año	\$ 396.500
COSTO SERVICIOS MENSUAL				
Servicio	Cantidad	Costo	Costo total	
Agua (L)	101.236	\$ 909,77	\$ 92.101.476	
Electricidad (Kw/h)	18.000	\$ 692,37	\$ 12.462.660	
Arriendo laboratorio	N/A	N/A	\$ 12.000.000	
Transporte	N/A	N/A	\$ 700.000	
COSTO PERSONAL				
Personal			\$ 22.000.000	
COSTO TOTAL			\$ 187.127.136	

Tabla 3. Autoría propia.

Como se puede observar en la tabla, el proyecto tiene un costo mensual de \$187.127.136 pesos colombianos, cabe resaltar que este costo abarca el funcionamiento y la producción durante un mes.

Para asegurar la viabilidad de una inversión de esta magnitud es necesario realizar un análisis económico con un alto índice de profundidad, ya que es requerida la utilidad neta del proyecto, los gastos fijos dentro de un periodo de producción y ganancias por la venta del producto.

Gracias a que los resultados resultan ser prometedores, esto debido a que, de los 1000 mililitros de aceite vegetal, en conjuntos con la solución de metanol y soda caustica, 200 mililitros, se obtienen 750 mililitros entre glicerina y residuo.

13. Conclusiones

La obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal usado presenta múltiples beneficios y ventajas. Es una alternativa sostenible y renovable a los combustibles fósiles, lo que contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático. Además, promueve la gestión adecuada de los residuos y evita la contaminación ambiental asociada con el aceite vegetal usado.

La obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal usado también puede tener impactos positivos en la economía local. La producción de biodiesel crea oportunidades de empleo en la cadena de suministro y fomenta el desarrollo de tecnologías y procesos relacionados. Además, puede reducir la dependencia de los países en los combustibles importados, lo que fortalece la seguridad energética.

Durante el periodo de investigación se logró evidenciar que en Colombia la cantidad de compañías que invierten en algún proceso de transición energética son muy escasos, una de las razones principales de ello es que es requerida una gran inyección de dinero para la implementación de una planta de producción que sea viable, además basado en la literatura referenciada, se denota una gran cantidad de autores, ideas y proyectos encaminados al fortalecimiento y posicionamiento de las energías renovables con el fin de disminuir la huella de carbono que nos deja la utilización de combustibles fósiles.

Se realiza el análisis de las condiciones óptimas para la producción de biodiesel las cuales fueron halladas durante el proceso experimental del proyecto, para lo cual, por 1 litro de aceite vegetal usado, es requerido el 20% del mismo volumen en solución de metanol, es decir, para 1

litro de aceite se utilizan 200 mililitros de metanol y para estos volúmenes es necesario el uso de 0.6 gramos de soda caustica.

Respecto a la viabilidad del proyecto, se lleva a cabo diferentes análisis como los son las restricciones, costos, impactos en distintos ámbitos. A raíz de esto se logró corroborar que el proyecto cuenta con un alto índice de viabilidad haciendo énfasis en el entorno económico, ya que su costo de producción es muy bajo en comparación con el volumen que se obtiene de biodiesel.

La obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal usado presenta múltiples beneficios y ventajas. Es una alternativa sostenible y renovable a los combustibles fósiles, lo que contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático. Además, promueve la gestión adecuada de los residuos y evita la contaminación ambiental asociada con el aceite vegetal usado. También puede tener impactos positivos en la economía local. La producción de biodiesel crea oportunidades de empleo en la cadena de suministro y fomenta el desarrollo de tecnologías y procesos relacionados. Además, puede reducir la dependencia de los países en los combustibles importados, lo que fortalece la seguridad energética.

Sin embargo, es importante destacar que la obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal usado también tiene desafíos. Estos incluyen la disponibilidad y calidad del aceite vegetal usado, la eficiencia del proceso de transesterificación y los costos asociados con la producción a gran escala. Además, se requiere una infraestructura adecuada y regulaciones claras para fomentar y respaldar el uso de biodiesel en el sector de transporte. Es una opción prometedora en términos de sostenibilidad ambiental y diversificación energética. Su desarrollo y adopción a gran escala pueden contribuir a un futuro más limpio y sustentable, pero es necesario abordar los

desafíos y trabajar en colaboración entre los sectores públicos y privados para maximizar sus beneficios.

La implementación de una planta de producción de biodiesel ofrece diversas ventajas y oportunidades significativa ya puede generar beneficios económicos y sociales. Por un lado, puede fomentar el desarrollo de la industria local y la creación de empleos en la cadena de suministro del biodiesel. Por otro lado, puede contribuir a la seguridad energética al reducir la dependencia de los combustibles importados y fomentar la producción nacional. Sin embargo, es importante tener en cuenta algunos desafíos asociados con la planta de producción de biodiesel. Estos incluyen la disponibilidad y calidad de las materias primas, la eficiencia del proceso de producción, los costos de inversión y operación, así como el cumplimiento de las normas ambientales y de seguridad.

14. Bibliografía

García-Díaz, Ing. M. (2013). Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado. Tomado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543779005.pdf>

Repositorio CIMAV: (2010).

<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/349/1/Tesis+Juan+Antonio+Alfonso+Alvarez.pdf>. Tomado de:

<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/349/1/Tesis%20Juan%20Antonio%20Alfonso%20Alvarez.pdf>

García-Díaz, Marilin, Gandón-Hernández, José, & Maqueira-Tamayo, Yudisel. (2013). Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado. *Tecnología Química*, 33(2), 162-169. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852013000200005&lng=es&tlng=es.

BIODIESEL Biocarburante líquido de origen biológico (vegetal o animal) Materias primas más utilizadas: aceites de soja, colza y girasol. (2000). *Palermo.Edu*. https://www.palermo.edu/economicas/pdf_economicas/Presentacion_biocom_Steinberg.pdf

¿Qué tipos de gasolina y diésel existen? | *Repsol*. (2022, 3 noviembre). REPSOL. <https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/diferencias-gasolina-diesel/>

Producción y caracterización de biodiésel a partir de aceite de pollo. (2012). <https://file:///C:/Users/Yesenia%20Mejia%20Cabral/Downloads/Dialnet-ProduccionYCaracterizacionDeBiodieselAPartirDeAcei-4364514.pdf>

Flores Arias, Y. (2013). *Análisis de la composición química del diesel y del biodiesel y aplicación de técnicas multivariantes para determinar su origen.*

<http://132.248.9.195/ptd2013/abril/0692118/0692118.pdf>

COMBUSTIBLE DIÉSEL. (2014, 10 diciembre). Issuu. <https://issuu.com/dyk3/docs/diesel>

Rural, D. A. D. S. Y. (s. f.). *Plantas oleaginosas, energía comestible e industrial.*

gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/plantas-oleaginosas-energia-comestible-e-industrial>

Biodiésel. (2006). <https://www.quimica.es/enciclopedia/Biodi%C3%A9sel.html>

Química orgánica industrial. (2020). <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-02.php>

Metanol. (2003). IDEAM.

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia19.pdf>

Akbar, S. (2023, 3 noviembre). *Diésel: Impactos en las emisiones, la salud y el clima.*

Blogs del Banco Mundial. <https://blogs.worldbank.org/es/voices/diesel-impactos-en-las-emisiones-la-salud-y-el-clima>

Grupos estacionarios diésel y la contaminación ambiental en la florícola piganflor de la comunidad de piganta. (2019). UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17988/1/T-UCE-0010-FIL-306.pdf>

BBC News Mundo. (2012, 13 junio). *El humo del diésel produce cáncer, según la OMS.*

https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/06/120612_humo_diesel_cancer_jgc

Cómo la contaminación por diésel afecta su salud. (2017). Moms clear air force.

https://www.momscleanairforce.org/wp-content/uploads/2017/03/moms_clean_air_force_diesel_factsheet_spanish.pdf

Pérez-Sánchez Armando, Montero-Alpírez Gisela, Ayala-Bautista Ramón, Coronado-Ortega Marcos Alberto, Campbell- Ramírez Héctor Enrique, García-González Conrado, Simulación en Aspen de la combustión de mezclas diesel-biodiesel, Ingeniería, Investigación y Tecnología, 2015, [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(15\)72109-8](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)72109-8).

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1405774315721098>)

BioEnergy, A. (2022, 9 marzo). *Biodiesel y Medio Ambiente*. Aris BioEnergy.

<https://www.arisbioenergy.com/es/biodiesel-y-medio-ambiente/>

Semana. (2021, 15 enero). *Aceite de cocina, otra amenaza para los acuíferos*.

Semana.com Ultimas Noticias de Colombia y el Mundo. <https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/aceite-de-cocina-otra-amenaza-para-los-acuiferos/48160/>

(Motorpasion, 2016, 4 agosto). *El ocaso del diésel: origen y popularización*.

Motorpasión. <https://www.motorpasion.com/compactos/el-ocaso-del-diesel-origen-y-popularizacion>

Editorial La República S.A.S. (2022, 20 septiembre). *Cada mes, Colombia consume alrededor de 428 millones de galones de combustible*. Diario La República.

<https://www.larepublica.co/economia/cada-mes-colombia-consume-alrededor-de-428-millones-de-galones-de-combustible-3451998>

Como Funciona. (2021a, agosto 31). *DIESEL (combustible) | Características, propiedades, ventajas*. ComoFunciona. <https://como-funciona.co/el-diesel/>

Ken Webster – Circular Economy. (2012). [Vídeo]. TEDx. <https://www.edx.org/bio/ken-webster>

OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE DIFERENTES TIPOS DE GRASA RESIDUAL DE ORIGEN ANIMAL. (2013). *Universidad de Caldas.*
<http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n36/n36a02.pdf>

ACEITES USADOS DE COCINA. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL, INCIDENCIAS EN REDES DE SANEAMIENTO y COSTE DEL TRATAMIENTO EN DEPURADORAS. (2015). Tomado de: *Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia.*
<http://www.residusmunicipals.cat/uploads/activitats/docs/20170427092548.pdf>

Depósitos de aceites usados - Almacenaje y logística - Depósitos de aceites usados. (2023). Tomado de: <https://www.interempresas.net/Logistica/FeriaVirtual/Producto-Depositos-de-aceites-usados-59781.html>

Resolución 2154 de 2012. (2010). Recuperado de:
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2154-de-2012.pdf>

Aiello-Mazzarri, C. (2019). *Producción de biodiésel a partir de las grasas extraídas de la borra de café: esterificación con H₂SO₄ y transesterificación con KOH.* Tomado de:
<https://www.redalyc.org/journal/911/91160956005/html/>

Método sencillo para hacer biodiésel. Biocombustibles. Journey to Forever. (2003).
<https://journeytoforever.org/es/biocombustibles/biodiesel-proceso-una-etapa.cgi#:~:text=Cuando%20se%20mezcla%20el%20metanol,quiere%20decir%20que%20desprande%20calor.>

<https://fedebiocombustibles.com/2023/02/02/demanda-de-biocombustibles-en-colombia-cierra-el-2022-en-positivo-y-augura-un-2023-para-el-sector-consolidado/>

AulaFacil. (2015). Células de producción - Lean Manufacturing. *www.aulafacil.com*.
<https://www.aulafacil.com/cursos/estrategia/lean-manufacturing/celulas-de-produccion-120026>

Rother, M. y Harris, R. (2008). Creando flujo continuo: una guía de acción para gerentes, ingenieros y asociados de producción. Instituto Lean Enterprise. Obtenido de:
<https://archive.org/details/creandoflujocont0000roth>

Aiello-Mazzarri, C. (2019). *Producción de biodiésel a partir de las grasas extraídas de la borra de café: esterificación con H₂SO₄ y transesterificación con KOH*.
<https://www.redalyc.org/journal/911/91160956005/html/>