

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Análisis tecno-económico comparativo de diseño de planta para
craqueo de aceite gastado usando catalizadores a partir de
biomasa**

Gabriel Ossa Paredes

Ingeniería Química

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
INGENIERO QUÍMICO

Quito, 16 de mayo de 2024

Universidad San Francisco de Quito USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Análisis tecno-económico comparativo de diseño de planta para
craqueo de aceite gastado usando catalizadores a partir de
biomasa**

Gabriel Ossa Paredes

Sebastián Ponce Cahusqui Ph.D., Herman Murillo Romero Ph.D.

Quito, 16 de mayo de 2024

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Gabriel Ossa Paredes

Código: 00217088

Cédula de identidad: 1753857901

Lugar y fecha: Quito, 16 de mayo de 2024

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

Con el propósito de evaluar la eficiencia económica se diseñaron tres plantas de craqueo de aceite gastado para transformarlo en combustible tipo Diesel, uno con un proceso térmico y dos usando catalizadores orgánicos como son el biochar e hidrochar. Para esto, se realizaron estimaciones de dimensionamiento, caudales y requerimientos energéticos para tres configuraciones teóricas de plantas. Estas operan en lotes, con una capacidad máxima de 1,666.67 m³ para las plantas catalíticas y 1,250.00 m³ para la planta térmica. Donde las plantas funcionan las 24 horas del día.

El análisis técnico-económico evaluó el rendimiento de la planta con los indicadores de factibilidad VAN y TIR. Los resultados del estudio sugieren que el uso de biochar como catalizador resulta ser la única planta económicamente factible; esta obtuvo un valor actual neto de \$165,272.12 y una tasa de interés de retorno de 15.04%. mientras que la planta que usa hidrochar catalizador resultó como la peor de las alternativas con un VAN de \$-366,893.53 y un TIR de -11.14%; mientras que la planta de craqueo térmico tiene un VAN de \$-299,001.14 con un TIR de -2.66%. Dicha variación se atribuye a una mayor producción derivada de una conversión superior en comparación con los métodos térmicos y con hidrochar como catalizador. A pesar de que los costos de construcción de las plantas son similares, las diferencias en los tamaños de los tanques de almacenamiento de combustible y aceite gastado influyen en el costo anualizado en cada una de las plantas. Finalmente se realizó un análisis de sensibilidad para evaluar el efecto en variables comunes que la rentabilidad del proyecto en la única planta viable.

Palabras clave: Craqueo, Aceite gastado de motor, Combustible tipo Diesel, Biochar, Hidrochar, Comparación.

ABSTRACT

Three plants for cracking used oil into Diesel-type fuel were designed to evaluate economic efficiency, one utilizing a thermal process and two employing organic catalysts, namely biochar and hydrochar. Estimations for sizing, flow rates, and energy requirements were conducted for three theoretical plant configurations. These operate in batches, with a maximum capacity of 1,666.67 m³ for the catalytic plants and 1,250.00 m³ for the thermal plant, operating 24 hours a day.

The technical-economic analysis assessed plant performance using the feasibility indicators NPV and IRR. Study results suggest that using biochar as a catalyst is the only economically viable plant; it achieved a net present value of \$165,272.12 and an internal rate of return of 15.04%. Conversely, the plant using hydrochar as a catalyst emerged as the least favorable alternative with an NPV of \$-366,893.53 and an IRR of -11.14%, while the thermal cracking plant has an NPV of \$-299,001.14 with an IRR of -2.66%. This variation is attributed to higher production stemming from superior conversion compared to thermal methods and with hydrochar as a catalyst. Although construction costs for the plants are similar, differences in fuel and spent oil storage tank sizes influence annualized costs for each plant. Finally, a sensitivity analysis was conducted to assess the effect of common variables on project profitability in the sole viable plant.

Keywords: Cracking, Used motor oil, Diesel-type fuel, Biochar, Hydrochar, Comparison.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. BASES DE DISEÑO.....	16
2.1. Descripción de materia prima y producto	16
2.1.1. Descripción de aceite gastado de motor	16
2.1.2. Descripción del combustible tipo Diesel.....	17
2.1.3. Descripción de catalizadores	17
2.2. Localización de planta.....	18
2.3. Limitaciones	19
3. OBJETIVOS.....	20
3.1. Objetivo General	20
3.2. Objetivos específicos.....	20
4. DEFINICIÓN DE PROCESO PARA CRAQUEO CATALÍTICO	21
4.1. Selección de catalizadores.....	21
4.2. Proceso para tratamiento de aceite gastado de motor en craqueo catalítico	21
5. DISEÑO DE LA PLANTA PARA TRATAMIENTO DE ACEITE GASTADO	26
5.1. Selección y dimensionamiento de equipos.....	26
5.1.1. Selección y dimensionamiento de equipos primarios.....	26
5.1.2. Selección y dimensionamiento de equipos secundarios	27
5.2. Análisis de seguridad y control automático	29

	8
5.2.1. Análisis HAZOP de reactor de craqueo	29
5.2.2. Diseño de control de reactor de craqueo	31
6. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	32
6.1. Estimación de costos	32
6.1.1. Estimación de costos de los equipos.....	32
6.1.2. Estimación de inversión de capital fijo, capital de trabajo, ACC y TAC.....	33
6.1.3. Estimación de costos de producción.....	34
6.2. Flujo de caja del proyecto	35
6.2.1. Indicadores de rentabilidad del proyecto VAN, TIR, PRI y pago de impuestos.....	36
6.3. Comparación de los procesos térmicos y catalíticos.....	37
6.4. Análisis de sensibilidad.....	39
7. CONCLUSIONES.....	41
8. REFERENCIAS	42
ANEXO A: LIMITACIONES DE PROCESO Y DESCRIPCIÓN DE MATERIAS PRIMAS	
.....	49
Anexo A.1. Limitaciones de residuos.....	49
Anexo A.2. Descripción y proveedores de catalizadores	49
Anexo A.3. Descripción y proveedores de aceite gastado de motor	50
ANEXO B: BALANCES DE MASA Y ENERGÍA.....	51
Anexo B.1. Balance de masa y energía de línea de tratamiento de aceite gastado	51

Anexo B.2. Balance de masa general de producción de biochar.....	58
Anexo B.3. Balance de masa de línea de producción de hidrochar.....	59
Anexo C: Dimensionamiento de equipos.....	61
Anexo C.1. Dimensionamiento equipos de para obtención de catalizadores.	63
Anexo C.2. Cálculos de dimensionamiento de equipos.	64
ANEXO D: ANÁLISIS DE SEGURIDAD Y CONTROL AUTOMÁTICO.....	70
Anexo D.1. Análisis HAZOP completo de planta de tratamiento de aceite gastado	70
Anexo D.2. Diseño de control automático de planta de tratamiento de aceite gastado.....	73
ANEXO E: ANÁLISIS ECONÓMICO.....	76
Anexo E.1. Estimación de costos de los equipos	76
Anexo E.2. Capital de inversión fijo, capital de trabajo, ACC y TAC.....	78
Anexo E.3. Costos de producción	84
Anexo E.4. Flujo de caja, indicadores de viabilidad económica y análisis de sensibilidad ..	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cálculo de tiempo de proceso por ciclo en las 3 plantas.....	22
Tabla 2: Producción de combustible tipo Diesel en las 3 plantas.....	23
Tabla 3: Análisis de seguridad HAZOP de reactor de craqueo.....	30
Tabla 4: Costos estimados de planta usando el factor de Lang, Hand y detallado.....	33
Tabla 5: Valor de inversión de capital fijo en plantas.....	33
Tabla 6: Valores de capital de trabajo en plantas.....	34
Tabla 7: VAN, TIR y PRI en plantas de craqueo de aceite gastado.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación para planta de craqueo de aceite gastado.....	19
Figura 2: Planta de procesamiento de aceite gastado usando hidrochar como catalizador.....	22
Figura 3: Planta de procesamiento de aceite gastado usando biochar como catalizador.....	23
Figura 4: Planta de procesamiento de aceite gastado en proceso térmico.....	23
Figura 5: Diagrama de flujo para planta de tratamiento de aceite gastado.....	24
Figura 6: Sistema de control para reactor de craqueo.....	31
Figura 7: Flujo de caja en plantas de craqueo de aceite gastado.....	36

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la industria automotriz ha crecido exponencialmente. La creciente demanda de vehículos a nivel global extiende consigo la contaminación de suelos por parte de lubricantes líquidos [1]. La región latinoamericana corresponde al 9% de la demanda global de aceites lubricantes. Otros continentes como Asia oriental comprenden el 43%, Europa con el 19%, Norteamérica 18%, África 6% y Medio oriente con un 5% [2]. El aceite de motor es un compuesto obtenido a partir de aceites bases, cadenas largas de hidrocarburos obtenidos tradicionalmente a partir de la refinación de petróleo crudo mezclados con variedad de elementos dependiendo su uso [3] este se define como una mezcla de aceite base usado para la lubricación de partes en máquinas para reducir su fricción, para limpieza y protección de piezas de máquinas. Las cadenas de hidrocarburos suelen tener la distribución entre ($C_{15} - C_{40}$) determinado mediante cromatografía de gases [4]. Lastimosamente el tiempo de vida útil del aceite es corto, grandes fabricantes como Shell recomiendan cambiar el aceite de motor para automóviles cada 5,000, 10,000 o 15,000 km como máximo [5], esto significa una media de 2 o 3 cambios al año por vehículo. Aunque el consumo varía dependiendo del tipo de motor y vehículo.

Una vez cumplen su ciclo de vida útil, el aceite de motor pasa a ser aceite gastado de motor. Este tiene propiedades ligeramente diferentes a las de los lubricantes limpios. Una vez que cumple su ciclo de uso, se adiciona un gran número de compuestos como hierro, acero, cobre, zinc, cadmio, plomo, bario, ceniza, tierra; este es un factor de degeneración en la calidad física, química y biológica del suelo [6] Como resultado el grado de toxicidad es mayor en comparación con la contaminación por aceites y petróleo [7]. Generalmente el aceite de motor llega al suelo de cuatro maneras diferentes: fugas de aceite durante la operación, en el asfaltado con aceite en cárter de desecho que contiene asfalto, en la aplicación en carreteras rurales para el control de polvo o

directamente en tierra mediante dispersión de aceites desde ciudades por lluvia [4]. Una vez contacto con el suelo, el aceite gastado es absorbido infiltrándose en la estructura porosa natural reduciendo su capacidad de aireación e impidiendo el crecimiento de flora [6]. La concentración de saturación de aceite en el suelo varía entre 5 y 300 mg L⁻¹[4]. Dado que el aceite gastado tiene una viscosidad ligeramente mayor al aceite limpio el proceso de tratamiento resulta más costoso y complicado [6], [8].

Por otro lado, la contaminación por agua es un tema serio. La Agencia de protección medioambiental de Estados Unidos la define como un material insoluble en agua altamente tóxico. Al entrar contacto con agua el aceite gastado se degrada lentamente y se estima un cambio de aceite puede afectar hasta a un millón de galones de agua fresca [9]. La mayor parte de aceites que contaminan el agua proviene de ciudades. Estos llegan a servicios municipales de alcantarillado junto con la lluvia y se dispersan por el agua y suelo [4] Por lo que es esperado que ríos o fuentes de agua cercanas a ciudades sean propensas a tener grandes cantidades de aceite gastado.

Esta problemática resulta preocupante observando la cantidad de desperdicio sin tratar liberado. Se estima que el 55 – 75% de desperdicios de aceite quemado son liberados al ambiente [10]. Para dar uso a esta sustancia se han ideado numerosas alternativas de reciclaje. Autores han usado el aceite gastado de motor para aumentar la capacidad de unión del asfalto [11], [12]. Industrialmente se ha dado uso al aceite gastado de motor mediante procesos de recuperación de aceites, hay dos métodos, la re-refinación y el reacondicionamiento o reciclaje [13]. El reciclaje trata de dar una nueva vida a esta brinda una nueva vida a los lubricantes resultando en productos de mayor calidad y energéticamente más eficientes que en la producción de nuevos aceites [10]. Aunque esta alternativa resulta atractiva para el campo industrial por sus bajos costos y pocos procesos lastimosamente únicamente se recupera aproximadamente 1 L por cada 1.6 L de aceite

gastado. En este únicamente se extraen impurezas y agua presente. El producto es un aceite no muy purificado que, si bien no es óptimo para el uso en maquinaria sensible, funciona bien como lubricante de motosierras u otra maquinaria más simple [3]. Por otro lado, la re-refinación es un procesamiento químico que elimina productos solubles, gases y la mayoría de los contaminantes, estos procesos se dan mediante extracción por solvente, tratamiento químico, destilación y tratamiento de absorbente [13] Dado que el tratamiento es más extenso que su contraparte, los costos son considerablemente superiores. A su vez los productos obtenidos son de mayor calidad, entre estos se encuentran los aceites de motor vírgenes y extra-vírgenes, que tienen una calidad igual o superior a productos nuevos [3].

Otra alternativa de sugiere el craqueo de aceite gastado para descomponerlo en cadenas de carbono más pequeñas con otros usos comerciales[10]. Este proceso se denomina craqueo y se realiza a una temperatura de 420°C[14]Mediante el calor, las cadenas largas se rompen formando combustible tipo Diesel. Pese a ser un proceso popular, no existe en el país; internacionalmente empresas como Agni-Petro (India), Cracking Technologies International (Reino Unido), ReOil (Estados Unidos), entre otros, han rentabilizado este proceso produciendo hasta 50,000 toneladas métricas por año.

En el último año parque automotriz ecuatoriano ha reportado un incremento del 11% respecto a enero del 2023[15]; donde en las provincias de Pichincha y Guayas se concentra el 59.5% de los carros de Ecuador [16]. Considerando los datos brindados por INEN se estima la producción de 9 millones de litros de aceite gastado al año en ambas provincias. Por parte del gobierno, el único método de tratar desperdicios es mediante la empresa Biofactor S.A. que se encarga de recolectar y tratar contaminantes dentro del aceite de motor quemado para darles una nueva vida. Sin embargo, estas medidas no son suficientes, se especula que más del 50% del aceite

total es desechado [10]. Esto se demuestra al observar la cantidad de contaminantes en agua en ríos cerca de las ciudades, cerca de Quito se ha encontrado que la cantidad de contaminantes de aceite en ríos supera por 16 veces el límite de contaminantes de aceite por litro de agua establecido gubernamentalmente.

Para hacer frente a esta problemática la universidad San Francisco de Quito ha estudiado el uso hidrochar y biochar como catalizadores en el proceso de craqueo de aceite quemado de motor para reducir el tiempo del proceso. Estos compuestos se tratan de hidrocarbon obtenido a partir de desechos orgánicos. El biochar es el carbon vegetal obtenido la descomposición térmica de la biomasa en ausencia de oxígeno a temperaturas que rondan los 700 °C, este proceso se denomina pirolisis [14]. Por otro lado, el hidrochar se trata de la obtención de carbón mediante carbonización hidrotermal a una temperatura que ronda los 200 a 300 °C, esta se basa en el uso de agua a presión para romper la biomasa del material y formar un material carbonizado. [1], [17].

El craqueo sin uso de catalizador se demora cerca de 3 horas por lote en completar el proceso, valor muy superior al obtenido con el uso de catalizadores. Se ha demostrado que el uso de catalizadores aumenta la velocidad en la que se da la reacción. Igualmente, el rendimiento y la velocidad dependen del origen de la biomasa [14], [18]. Se ha realizado el estudio comparando los rendimientos de los tipos de catalizadores obteniendo los mejores resultados, en este caso se usará hidrochar a partir de cascarilla de arroz con una velocidad 2.07 mayor en comparación al proceso térmico; además de biochar a partir de biomasa de banano con una velocidad 1.57 veces mayor.

2. BASES DE DISEÑO

2.1. Descripción de materia prima y producto

2.1.1. Descripción de aceite gastado de motor

El proyecto toma en consideración el uso del aceite quemado de motor provenientes de vehículos comerciales con motores de 4 cilindros, 6 cilindros y 8 cilindros únicamente. Esto incluye únicamente vehículos tipo SUV, camionetas y automóviles. Fabricante de aceites Shell establece que los aceites comerciales más vendidos para esta característica de vehículos están los 5W-30 y 5W-40 entre los aceites sintéticos, además de los aceites minerales 15W-50, 20W-50 y 25W-50 [19]. El instituto Nacional de Estadísticas y Censos en 2022 registró 829,086 vehículos con dichas especificaciones, cada cambio contiene de 3.5 a 7.5 L de aceite en promedio 3 veces al año [20]. Lo que representa un total de 13,679,424 L de aceite anual en promedio [21]. Las condiciones que estos presentan son ligeramente diferentes en comparación al aceite de motor fresco por la presencia de contaminantes sólidos, adición de agua y presencia de metales adicionales [6]. Esta puede presentar hasta un 9% de agua, un 8% de partículas sólidas, 10% de combustibles, nitrógeno, azufre, fosforo además de varios metales como Fe, Na, Cu, Al, Cr, Mn, K, Ni, Sn, Si, B y Mo [4].

El proyecto contempla en tratamiento aproximado de un 25% del aceite gastado total producido en la provincia de Pichincha, este valor corresponde a 1,545.37 de toneladas anuales. Las plantas que usan catalizadores tratarán 1,500 toneladas al año, mientras que la planta térmica tiene una capacidad máxima de 1,125 toneladas anuales.

2.1.2. Descripción del combustible tipo Diesel

El Diesel es un combustible ampliamente usado por vehículos a nivel comercial para el transporte, uso industrial, etc. Se trata de una cadena de hidrocarburos que ronda los C₁₀-C₁₈ con propiedades significativamente diferentes al Diesel tradicional [22]. Normalmente, este producto se comercializa en Ecuador a un precio regulado de 1.797 dólares americanos por galón, siendo este subsidiado por el estado. Aunque el valor gubernamental establecido para las comercializadoras autorizadas y calificadas a nivel nacional aumentan este valor hasta \$3.43 por galón [23].

2.1.3. Descripción de catalizadores

Los catalizadores son compuestos que aceleran la velocidad de reacción, en el estudio se contempla el uso de catalizadores hechos a partir de biomasa, los cuales han demostrado efectividad en el craqueo de aceite quemado[14]. Al someter dicha biomasa a un proceso de carbonización hidrotermal donde se produce una reacción que usa el agua como medio de reacción en una proporción de 20-1, el producto sólido obtenido se denomina hidrochar [24]; mientras que en el caso de uso de pirólisis se obtiene un hidrocarbón que es comúnmente denominado como biochar [25]. La pirólisis se trata de un proceso termoquímico de descomposición de combustible a temperaturas elevadas en ausencia de oxígeno. La biomasa se seca y se ingresa a un horno hasta a 700°C donde se producen productos en fase sólida, líquida y gaseosa. El producto sólido es el conocido como biochar, la fase líquida se trata de aceites inherentes de la biomasa y biogases [25]. Por otro lado, la reacción para la obtención del hidrochar se trata un proceso termoquímico a temperaturas que están entre 180 y 280°C a presiones altas [26] El producto obtenido después de aproximadamente 2-3 horas se divide en 3,

un producto sólido minoritario llamado hidrochar, un líquido principalmente compuesto de agua y compuestos orgánicos, y finalmente vapor de agua con bio-as.

En el proyecto se usará biochar e hidrochar a partir de residuos de banano y cascarilla de arroz respectivamente. Estos demostraron una mayor competitividad en comparación con los obtenidos de otras materias primas[14]. El uso de hidrochar como catalizador resulta en un proceso 2.06 veces más rápido en comparación con el craqueo térmico, mientras que el biochar permite que el proceso sea 1.57 veces más rápido. Pese a esta ventaja es imposible determinar el que proceso resulta mejor puesto que la conversión del uso de biochar es de 82% mientras que el hidrochar alcanza el 68% [14].

2.2. Localización de planta

La localización de la planta está en función a diversos factores para asegurar la calidad de productos y disposición de materia prima. Pese que el almacenamiento de aceite gasta no requiere condiciones específicas, es necesario mantener el combustible tipo Diesel a condiciones que no afecten la calidad del producto. Se recomienda el almacenamiento de Diesel a temperaturas bajas, preferiblemente sin exposición directa a la luz solar [27] Mas importante aún es la disponibilidad de materias primas cercanas. Aproximadamente el 59% de vehículos del país se encuentran en las provincias de Pichincha y Guayas [16] siendo las ciudades principales aquellas responsables. La ciudad de Quito- Pichincha mantiene una temperatura que varía entre 9°C y 19°C durante la mayoría del año, haciéndola la mejor opción. La planta estará ubicada en la provincia de Pichincha en el canton Quito, vía a Calacalí en el Hidropomo dos hemisferios. El terreno cuenta con un tamaño de 1,565 m² y un costo de \$78,250. El sector cuenta con acceso a servicios básicos y transporte público. La ubicación exacta en el mapa es en las coordenadas 0.001007, -78.485172.



Figura 1: Ubicación para planta de craqueo de aceite gastado

2.3. Limitaciones

Para el correcto desarrollo del proyecto es necesario conocer las limitaciones en aspectos comerciales y ambientales. El combustible comercializado dentro de territorio ecuatoriano esta debe contar con una concentración de azufre de 500 ppm para que sea considerado como “aceptable” según el contrato establecido en 2014 por el gobierno ecuatoriano para aumentar la calidad de los combustibles[27], [28]. Igualmente, el craqueo a altas temperaturas requiere un consumo energético alto que se traduce como un consumo eléctrico. En cuanto a limitaciones ambientales con encontramos con un proceso contaminante dado por la quema de desperdicios. Los productos residuales de destilación o incineración de productos a la atmósfera se describen en la norma NTE INEN 1993-12, además su control se lleva a cabo mediante el Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones [29] La norma técnica para emisiones de fuentes fijas se observa a detalle en el anexo 1.1.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Realizar el análisis técnico-económico comparativo de plantas de procesamiento de aceite gastado para transformarlo en combustible tipo Diesel usando biochar e hidrochar como catalizadores orgánicos.

3.2. Objetivos específicos

- Diseñar plantas de procesamiento de aceite gastado usando catalizadores orgánicos
- Diseñar planta de procesamiento de aceite gastado mediante un proceso térmico
- Realizar un análisis técnico-económico comparativo de las tres plantas para conocer la rentabilidad de los proyectos.

4. DEFINICIÓN DE PROCESO PARA CRAQUEO CATALÍTICO

4.1. Selección de catalizadores

En el anexo 2.2. se observa la cantidad de catalizador necesario para completar el proceso de craqueo catalítico. Puesta la ínfima cantidad correspondiente mensualmente sugieren ineficiencia en la creación de un proceso de producción de catalizadores. Con el objetivo de justificar la adquisición de un equipo se estima que debe rondar un volumen aproximado de 1 m³. dicho equipo corresponde a la producción aproximada de 7 días de producción en el caso de la planta de biochar y 3 días en el caso de la producción de hidrochar; los cálculos se observan en el anexo 3.1. Por esto se descarta la producción de catalizadores que en su lugar serán obtenidos a partir de terceros; los costos y especificaciones respectivas de proveedores se encuentran en el anexo 1.2.

4.2. Proceso para tratamiento de aceite gastado de motor en craqueo catalítico

El proyecto compara el rendimiento de la misma planta con el uso de 2 tipos de catalizadores a partir de biomasa y térmico. El dimensionamiento de la planta es hecho a base del consumo máximo de aceite gastado posible. Las plantas que usan catalizadores son capaces de tratar hasta 1,500 toneladas anuales de aceite gastado, mientras que una planta térmica sería capaz de tratar hasta 1,125 toneladas anuales. Esto es debido al aumento en el rendimiento gracias al uso del catalizador. El análisis del tiempo para cada proceso se observa en el anexo P.

El tratamiento de aceite gastado consta de 3 etapas, un pretratamiento para la separación de impurezas, la reacción en el reactor de craqueo y finalmente un postratamiento que consta del enfriamiento y almacenamiento para su posterior comercialización.

El pretratamiento de aceite gastado consta de un filtro de malla comercial usado únicamente para la separación de residuos sólidos. Posteriormente se somete a una separación líquido-líquido en un sistema de decantación, el método resulta eficiente debido a que no requiere gasto energético. Este proceso es posible debido a la inmiscibilidad del aceite en agua, cosa que facilita la separación. Posteriormente el sistema es ingresado al reactor donde surge la reacción, este calienta la solución a 420°C produciendo la rotura de cadenas largas de hidrocarburos. Posteriormente combustible tipo Diesel sale en fase gaseosa como producto principal que debe ser enfriado usando un tubo de acero inoxidable y agua como líquido refrigerante; y como producto secundario parte de los catalizadores en casi de ser usado junto con cadenas largas inutilizables que debes ser combustionadas.

Para el cálculo del tiempo de cada proceso y el número de lotes producidos diarios se considera el tiempo de calentamiento, tiempo de reacción, tiempo de descarga y limpieza y tiempo de llenado, los resultados son presentados en la tabla 1

Tabla 1: Cálculo de tiempo de proceso por ciclo en las 3 plantas

Proceso	Planta térmica (h)	Planta que usa hidrochar (h)	Planta que usa biochar (h)
Tiempo proceso	3	1.45	1.91
Tiempo limpieza	1	1	1
Tiempo enfriamiento	1.5	1.5	1.5
Tiempo calentamiento	1	1	1
Tiempo descarga	0.5	0.5	0.5
TOTAL	7	5.45	5.91
Ciclos/día	3	4	4

Los procesos tanto térmicos como catalíticos se observan en las figuras 2, 3 y 4. La figura 1 muestra la planta de procesamiento usando hidrochar como catalizador, la única diferencia con la planta que usa biochar es la conversión, siendo la planta que usa biochar capaz de producir más

combustible tipo Diesel por lote, sin embargo, menor cantidad a la producida en la planta térmica observada en la figura 3. Aunque los equipos principales de las plantas son iguales, la planta de procesamiento térmico no ingresa catalizadores de ningún tipo. Un resumen de la producción por lotes, diaria y anual se observa en la tabla 2. Finalmente, el esquema general con especificaciones de la planta con equipos secundarios y ubicación de válvulas principales se observan en la figura 3.

Tabla 2: Producción de combustible tipo Diesel en las 3 plantas

Proceso	Combustible producido (L)
Térmico	691.67
Biochar	757.99
Hidrochar	644.29

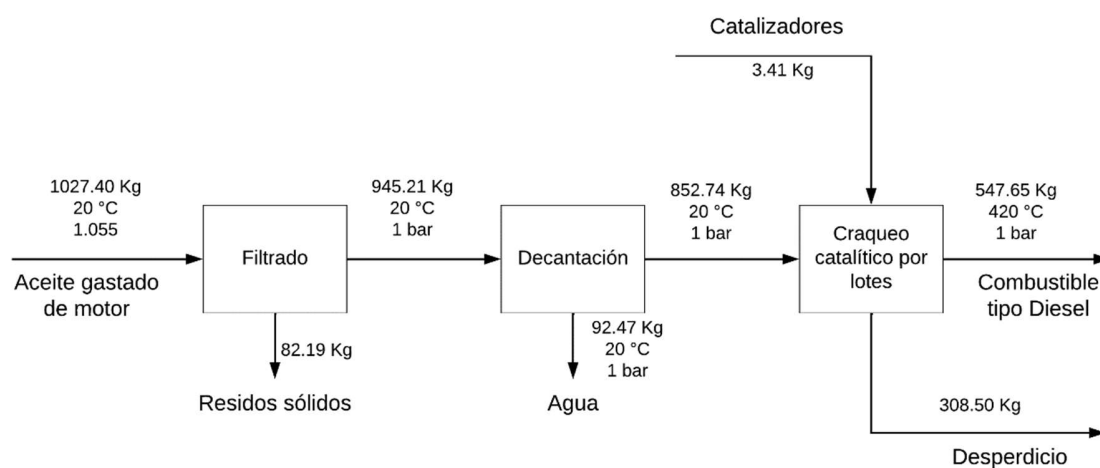


Figura 2: Planta de procesamiento de aceite gastado usando hidrochar como catalizador

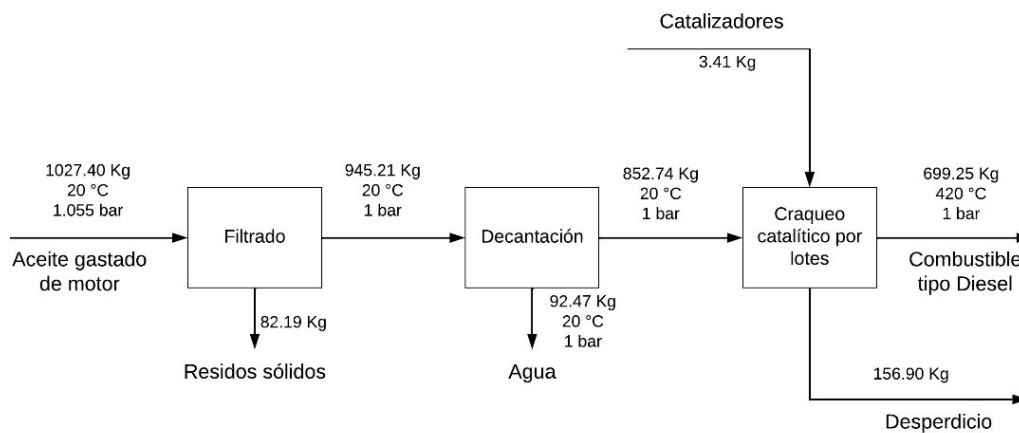


Figura 3: planta de procesamiento de aceite gastado usando biochar como catalizador

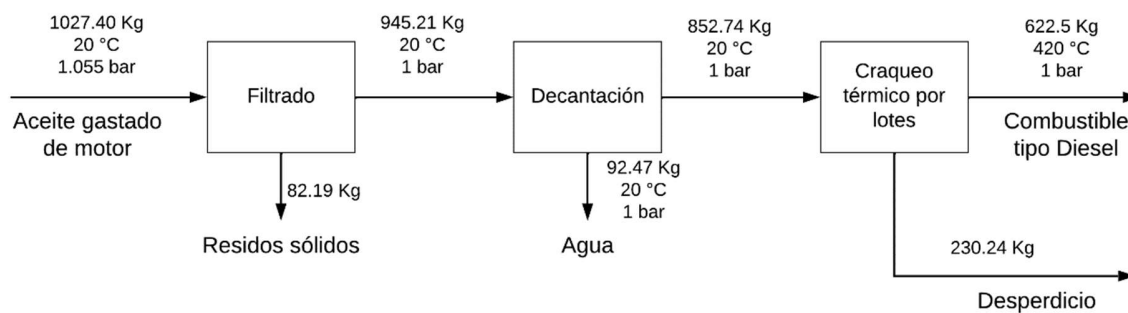
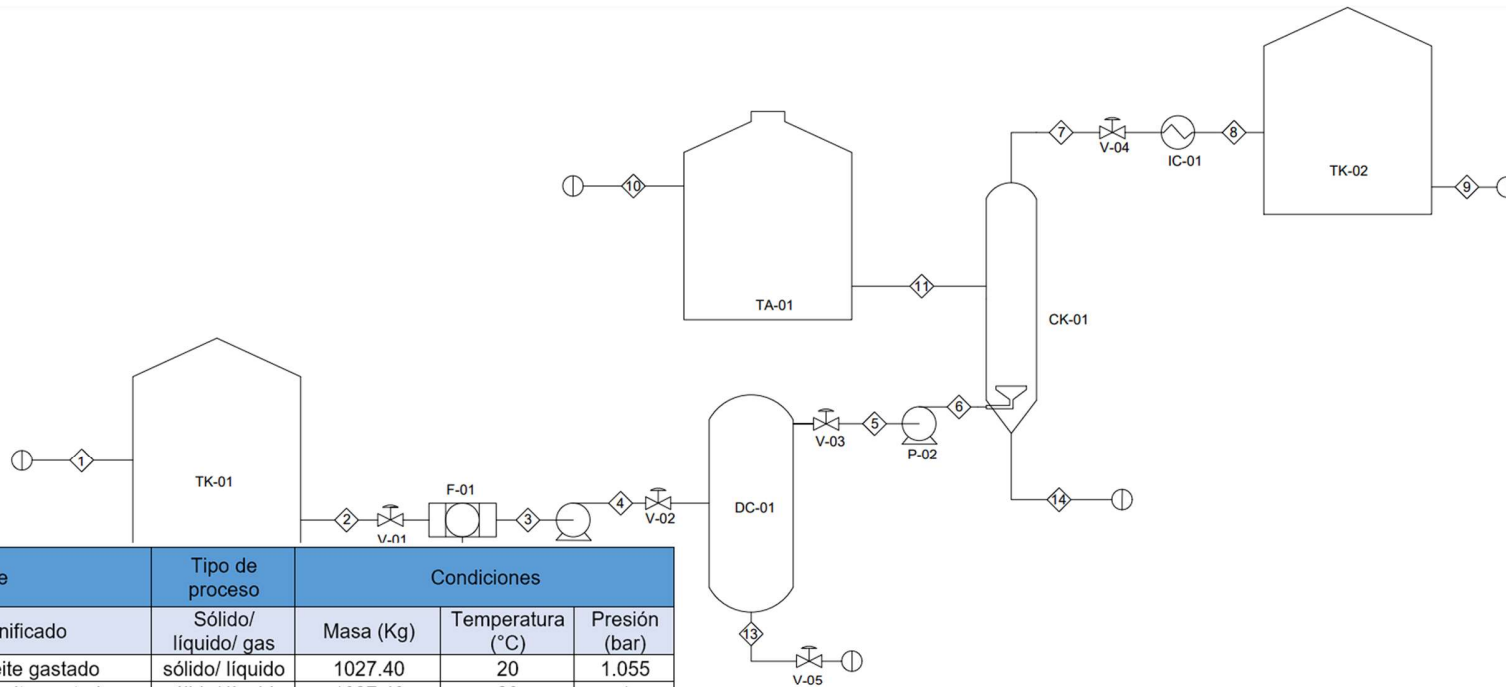


Figura 4: planta de procesamiento de aceite gastado en proceso térmico



Corriente		Tipo de proceso	Condiciones		
Nombre	Significado	Sólido/ líquido/ gas	Masa (Kg)	Temperatura (°C)	Presión (bar)
1	Entrada aceite gastado	sólido/ líquido	1027.40	20	1.055
2	Corriente aceite gastado	sólido/ líquido	1027.40	20	1
3	Aceite gastado filtrado	líquido	945.21	20	1
4	Aceite gastado tras bomba 1	líquido	945.21	20	1
5	Aceite gastado separado	líquido	852.74	20	1
6	Aceite gastado tras bomba 2	líquido	852.74	20	1
7	Diesel caliente gaseoso	gas	622.50	420	1
8	Diesel frio líquido	líquido	622.50	37	1
9	Salida Diesel para distribución	líquido	622.50	37	1
10	Entrada catalizadores	sólido	3.41	20	1
11	<i>Figura 5: diagrama de flujo para planta de tratamiento de aceite gastado</i>				
12					
13	gastado	líquido	945.21	20	1
14	Desperdicio de aceite quemado	sólido/ líquido	230.24	20	1

5. DISEÑO DE LA PLANTA PARA TRATAMIENTO DE ACEITE GASTADO

5.1. Selección y dimensionamiento de equipos

5.1.1. Selección y dimensionamiento de equipos primarios.

Los cálculos y especificaciones se observan detalladamente en el anexo B.1.

5.1.1.1. Filtro F-01.

El aceite gastado de motor puede contener hasta 8% residuos sólidos [4]; es importante eliminar dichos residuos para evitar daños en bombas o ingreso en el sistema de separación, cosa que puede reducir su efectividad. Para esto se realiza un filtrado de malla simple de alambre de acero inoxidable con un filtro de 0.09 mm de abertura en el interior de las tuberías. Los filtros tienen forma cilíndrica y son removibles por un bajo costo. Los filtros tienen una longitud de 40 cm y diámetro de 78 mm construido con alambres de 0.1 mm de grosor con abertura de 0.9 mm. Se calculó la caída de presión con la ecuación de Darcy y la permeabilidad del medio mediante la ecuación de Kozeny-Carman [30], [31]. El uso de este sistema de filtrado representa una caída de presión de 5,596.32 Pa.

5.1.1.2. Decantador DC-01.

Puesto que el aceite es inmisible por agua es posible realizar una separación líquido-líquido usando un sistema de decantación. El aceite gastado puede presentar hasta un 10 % de contenido de agua que es imprescindible eliminar antes del ingreso al reactor. Este proceso es descrito en Sinnott & Towel [32]. El equipo se trata de un tanque cilíndrico de acero inoxidable 304 con un diámetro de 1.39 m y altura de 2.789 m. La alimentación ingresa a 1.39 m de altura, el aceite seco separado al otro lado del tanque a una altura de 2.51 m y el agua sale por la parte inferior con una tubería que libera agua limpia a 2.34 m. Es importante que la velocidad de ingreso y salida de fluido sea menor o igual a 1 m/s para asegurar una correcta separación de los componentes [32]. Dicho decantador es

construido a partir del modelo CK1-1600x3250 de Guangzhou Chunke Environmental, se trata de un tanque de almacenamiento de acero inoxidable 304 con espesor de 3 mm y capacidad de 4.20 m³ [33].

5.1.1.3. Reactor de craqueo CK-01.

La reacción del aceite gastado se realiza en el reactor de craqueo, se trata de un tanque cilíndrico de acero inoxidable 316, variación resistente a presiones y temperaturas altas[32]. El volumen total del tanque es de 1.30 m³ y tiene un volumen útil del 80%, las dimensiones son de 1.87 m de altura y 0.94 m de diámetro. La entrada de aceite gastado está a 0.94 m altura, la salida de desperdicio se encuentra en la parte inferior y la salida del producto en fase gaseosa esta por la parte superior. En la reacción es importante el control de la temperatura y presión, estos deben alcanzar los 420°C y a una presión que ronda la presión atmosférica el ratio de producción [14], [34]. El diseño del tanque requiere que el espesor sea de 3.5 mm. Con un peso total de 156.15 Kg.

5.1.1.4. Condensador IC-01.

Una vez el combustible tipo Diesel sale del reactor de craqueo es necesario condensarlo hasta los 37 °C para que esté listo para su almacenamiento. Para esto se usa un intercambiador de tubo y carcasa, donde el fluido caliente pasa por los tubos y el líquido de para enfriamiento por la carcasa; se usa agua como fluido para enfriamiento. El equipo fue adquirido a Aacore Supply, con el modelo K573H Bitzer, se trata de un condensador de tubo y carcasa. Se especifica que admite un flujo volumétrico de refrigerante hasta de 10.39 m³/h con capacidad de condensación de 72 KW. El largo total es de 1.176 m, y con un diámetro de 0.298 m, el intercambiador es de dos pasos con una carcasa de acero inoxidable y un tubo largo de cobre ISO Cu-DHP de 36 mm de diámetro[35].

5.1.2. Selección y dimensionamiento de equipos secundarios

Los cálculos para los equipos necesarios se observan en el anexo B.2.

5.1.2.1. Almacenamiento de aceite gastado TK-01.

Se almacenará el aceite gastado de motor en tanques de almacenamiento de techo cónico hecho de acero inoxidable 304. Estos deben ser capaces de almacenar suficiente aceite para 7 días con un volumen útil del 80%. Los tanques en los procesos catalíticos tienen una capacidad de 39.95 m³ con una altura de 5.88 m y diámetro de 2.94 m. El espesor de la pared ser de 5 mm. Por otro lado, para el proceso térmico requiere un tanque con una capacidad de 30 m³ con una altura de 5.34 m y diámetro de 2.67 m

5.1.2.2. Bomba B-01.

Esta bomba tiene la función de transportar el aceite gastado desde el tanque de almacenamiento hasta el sistema de decantación. Puesta la alta viscosidad del aceite gastado es necesario el uso de bombas específicas, es posible el uso de bombas centrífugas [36], [37]. Para la estimación de la potencia máxima necesaria se evaluó la pérdida de presión en las diversas operaciones unitarias considerando un caudal mínimo. Para esta labor es necesario que tenga una potencia 81 W.

5.1.2.3. Bomba B-02.

Esta bomba tiene la función de transportar el aceite gastado seco desde el sistema de decantación hasta el reactor. Se usará una bomba centrífuga con una potencia de 2W.

5.1.2.4. Tanque de almacenamiento de combustible tipo Diesel TK-02.

Se almacenará combustible tipo Diesel en un tanque de almacenamiento de techo cónico hecho de acero inoxidable 304 con espesor de 5 mm. Estos deben ser capaces de almacenar suficiente aceite para 7 días con un volumen útil del 80%. El tanque usado para el proceso usando Hidrochar como catalizador tiene una capacidad de 21.64 m³, el tanque de la planta de Biochar como

catalizador exige una capacidad de 21.22 m³, mientras que en el proceso térmico es necesario únicamente un tanque de 14.52 m³ de capacidad.

5.2. Análisis de seguridad y control automático

Dentro de la planta, es importante mantener las condiciones óptimas de funcionamiento de los equipos. Dado esto se propone el análisis de seguridad HAZOP para la planta completa que consta de 3 equipos, el filtrado, el sistema de decantación y el reactor de craqueo. Dado que el reactor es el equipo más importante dentro de la planta puesto que este se dedica a la reacción química principal para la producción de combustible se analizará a fondo los sistemas de control a continuación. El análisis detallado del resto de equipos se encuentra en el anexo D.2.

5.2.1. Análisis HAZOP de reactor de craqueo

El análisis de seguridad HAZOP permite desarrollar sistemas de seguridad para solucionar posibles problemas en plantas mediante el análisis detallado de posibles problemas en cada línea y equipo en un sistema con su solución respectiva. Adicional, clasifica la gravedad tomando en cuenta las posibles consecuencias y la frecuencia en incidentes mediante colores; se considera de máximo riesgo el color rojo, con riesgo alto el color amarillo y riesgo leve con el color verde; f es frecuencia, g es gravedad c es color indicador. Una tabla resumen que cataloga las situaciones de riesgo se observa en el anexo D2. Se estudió el sistema de control y seguridad de toda la planta, el análisis completo se encuentra en el anexo D3. El análisis del reactor de craqueo se procede a analizarlo a continuación

Tabla 3: Análisis de seguridad HAZOP de reactor de craqueo

<p>Reactor de craqueo (CK-01) Objetivo: Transformar el aceite gastado limpio en combustible tipo Diesel a 420°C y presión de 1 bar</p>

Palabra guía	Variación	Causa	Consecuencia y solución	f	g	c
Más que	Presión máxima Temperatura máxima	Aumento de presión en reactor durante la reacción. Fallo en el controlador de temperatura	Disminución en la conversión, riesgo de explosión, daños en equipo; <i>solución:</i> instalación de corrientes para liberar gases y líquidos de emergencia. Instalar ETV-CK01 y EPV-CK01 para salida de emergencia. Instalar controladores PT-CK01, TT-CK01 y ASH-CK01 conectados a las válvulas de emergencia	2	5	
Más	Nivel	VL-02 atascada	Impedimento de producción, sobrellenado de reactor; <i>solución:</i> Controlador de nivel LT-CK01 y LC-CK01 conectado a VL-02	2	3	
Menos	Temperatura Presión Nivel	Fallo en controlador de temperatura Daño en resistencias Válvula parcialmente cerrada.	Variación en conversión o impedimento de proceso; <i>Solución:</i> Instalación de controlador de temperatura TI-CK01 y PI-CK01 Disminución de producción; <i>Solución:</i> Instalación de controlador de nivel LT-CK01 y LC-CK01 conectado a VL-02	3	3	
No	Nivel	Válvula atascada o cerrada	Impedimento de producción	1	1	
Entrada de aceite gastado a reactor. 14.50 m ³ /h. 1 bar. 20°C Objetivo: Transportar aceite gastado seco desde sistema de decantación hacia reactor de craqueo (CK-01)						
No	Flujo	Válvula atascada o cerrada, bomba no funciona.	Impide ingreso de aceite al reactor, imposible proceso <i>Solución:</i> Instalar controladores FT-04 y FC-03 conectados a P-02 y VL-02	1	3	
Más	Flujo	Válvula atascada	Nivel no controlado en reactor CK-01	2	3	
Menos	Flujo	Válvula parcialmente cerrada	Disminución de tiempo de llenado.	1	3	
Reverso	Flujo	Falta de flujo, obstrucción en entrada	Ralentización en llenado, daño de tuberías; <i>Solución:</i> instalación llave de un solo paso	1	2	

5.2.2. Diseño de control de reactor de craqueo

En base al análisis de seguridad HAZOP se construye el sistema de controladores para el proceso. En la línea 6 se incluyen controladores de flujo y los correspondientes a una bomba con potencia variable [32]. Mientras que en el reactor de craqueo (CK-01) se incluyen los controladores de presión y temperatura de emergencia, indicadores PI-CK01 y TI-CK01 y las líneas de salida de gases y líquidos en caso de emergencia.

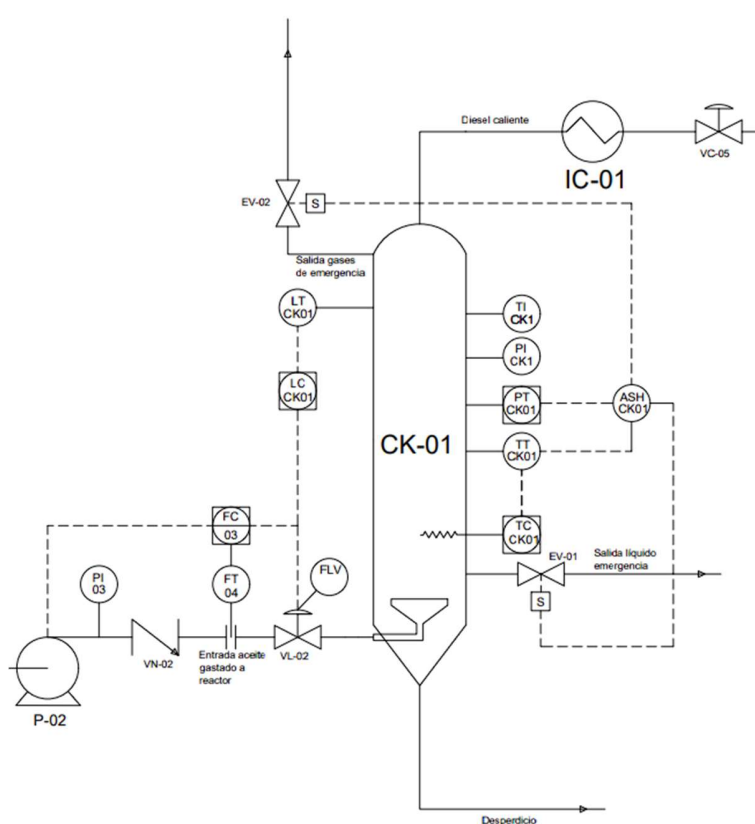


Figura 6: sistema de control para reactor de craqueo

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

Con el objetivo de analizar la factibilidad económica de los proyectos se estiman los costos de los equipos, los gastos de operación, los costos de los equipos y el flujo de caja en un periodo de 10 años de las plantas respectivas en procesos térmicos y catalíticos. La comparación económica se establece mediante el cálculo los indicadores económicos VAN (valor actual neto), TIR (tasa interna de retorno) y PRI (periodo de recuperación de la inversión) de las 3 plantas. Finalmente se realizará un análisis de sensibilidad para observar el efecto en alteraciones de la producción, la tasa de interés en el financiamiento de la planta y el precio en los indicadores de rentabilidad.

6.1. Estimación de costos

6.1.1. Estimación de costos de los equipos

La estimación de los costos de los equipos se realiza independientemente en las 3 plantas, sin embargo, las únicas variaciones en los valores reales son dadas por el aumento o disminución en las dimensiones de los tanques de almacenamiento de combustible producto y aceite en el caso del proceso térmico. El cálculo se realizó mediante la estimación de construcción propuesta por Sinnott & Towel [32] Para equipos excepcionales o fuera del rango de la estimación se calcula el precio adecuando con un factor de localización los valores consultados de proveedores reales.

En la estimación de los costos finales se calcula usando los factores de Hand, de Lang y detallado, estos brindan un aproximado del valor final de la planta [32], [37], [38] El factor de Hand aproxima de manera simplificada el costo individual de los equipos considerando las características del equipo (trabaja con sólidos, fluidos o mixto) únicamente. El factor de Lang realiza un análisis más detallado respecto al factor de Hand, toma en consideración el tipo de equipo [38]. Finalmente, el factor detallado considera adicionalmente los costos de transporte, costos de seguro, ingeniería,

mantenimiento, puesta en operación y construcción más detalladamente [32]. Los costos calculados se observan en la tabla 4.

Tabla 4: costos estimados de planta usando el factor de Lang, Hand y detallado

Proceso	Lang	Hand	Detallado	Promedio
Térmico	\$ 497,237.79	\$	\$ 208,212.38	\$ 355,322.37
Hidrochar	\$ 497,237.79	\$ 326,429.54	\$ 227,745.12	\$ 350,470.82
Biochar	\$ 509,150.26	\$ 420,235.31	\$ 231,012.26	\$ 386,799.28

6.1.2. Estimación de inversión de capital fijo, capital de trabajo, ACC y TAC

El valor de inversión de capital fijo en un proyecto se obtiene con la estimación de los costos ISBL, costos OSBL, los costos de ingeniería y costos de imprevistos en la construcción e instalación de los equipos. Estos valores fueron calculados para obtener la estimación final del costo de inversión. Los costos ISBL corresponden a los costos arreglados de los equipos incluyendo la instalación y demás consideraciones. El OSBL se calcula como el 20% del ISBL, el costo de ingeniería como el 7% del costo ISBL y los costos de imprevistos como el 10% del ISBL + OSBL. La inversión de capital fijo se resume en la tabla 5.

Tabla 5: Valor de inversión de capital fijo en plantas

Tipo de planta	Costos OSBL	Costo Ingeniería	Costo de imprevistos	Costo total
Térmica	\$ 71,064.47	\$ 24,872.57	\$ 42,638.68	\$ 572,148.09
Biochar	\$ 77,359.86	\$ 27,075.95	\$ 46,415.91	\$ 615,900.99
Hidrochar	\$ 70,094.16	\$ 24,532.96	\$ 42,056.50	\$ 565,404.44

El capital de trabajo se refiere a la cantidad de dinero para la puesta en funcionamiento de la planta. Este se calcula con el consumo de materias primas, con los productos, la liquidez, el crédito y costo de repuestos. Los costos se resumen en la tabla 6.

Tabla 6: valores de capital de trabajo en plantas

Proceso	Capital de trabajo
Térmico	\$ 55,488.20
Biochar	\$ 70,157.06
Hidrochar	\$ 69,649.55

El AAC se refiere al valor del préstamo amortizado año tras año en un periodo de año; es el valor para pagar año por año contando el interés a pagar tras amortizaciones [39]. Este valor se calcula con un interés del 10.5% en un periodo de 10 años. Anualmente la planta térmica debe pagar \$95,123.81 la planta que usa biochar debe pagar \$102,398.05 mientras que la planta que usa hidrochar debe pagar \$94,002.63. Finalmente, el TAC se refiere al costo año por año total de las plantas en porcentaje [39] Este valor corresponde al 16.62 % en las tres plantas puesto que el interés es igual para todas.

6.1.3. Estimación de costos de producción

Para la estimación de los costos de producción se calcularon un aproximado de los costos fijos y variables del proyecto. Entre los costos variables se encuentran los costos de la materia prima y los costos de catalizadores; mientras que entre los costos variables se encuentra el costo energético y costo de personal. El único producto necesario como materia prima es el aceite gastado y los catalizadores son importados, las especificaciones, cálculo a detalle y proveedores se encuentran en el

anexo D.2. Por otro lado, los costos fijos se componen de el gasto energético de la planta y el costo del personal. El costo de la electricidad se calcula según el valor establecido en 2023 por el Ministerio de Energía y Minas del Ecuador que es de 10 cUSD/KWh [40] y el gasto energético estimado de la planta por el funcionamiento de la planta. Por otro lado, se estableció la necesidad de 2 trabajadores fijos permanentes durante las 24 horas, un trabajador en nivel administrativo y un encargado de ventas durante 40 horas semanales. Se toma en cuenta la tarifa nocturna de trabajadores; igualmente se considera el décimos tercero, décimo cuarto y demás ordenanzas establecidas por las regulaciones dictadas por la ley ecuatoriana [41], [42]. Finalmente se toma en consideración un valor de gasto por mantenimiento, este corresponde al 1% del capital de inversión fija, un 0.3% para gastos administrativos dentro de la planta y un 0.8% para la gestión de permisos ambientales.

6.2. Flujo de caja del proyecto

El flujo de caja mide los ingresos por venta contra los egresos en producción de las tres plantas en un periodo de tiempo determinado. Ayuda a visualizar la ganancia neta considerando el nivel de producción, los impuestos pagados, recuperados y depreciación de la planta a lo largo del tiempo de vida útil. Finalmente se toma en cuenta el costo anual de la planta y el costo de la puesta de operación como un gasto a tomar en cuenta. Esta ayuda a calcular el tiempo de recuperación de inversión en caso de serlo. Los resultados muestran que la planta de biochar tiene un tiempo de recuperación de 6 años, mientras que la planta térmica y la que usa catalizador de hidrochar no llegan a ser rentables. La figura 7 muestran el flujo en un periodo de 10 años de las tres plantas.

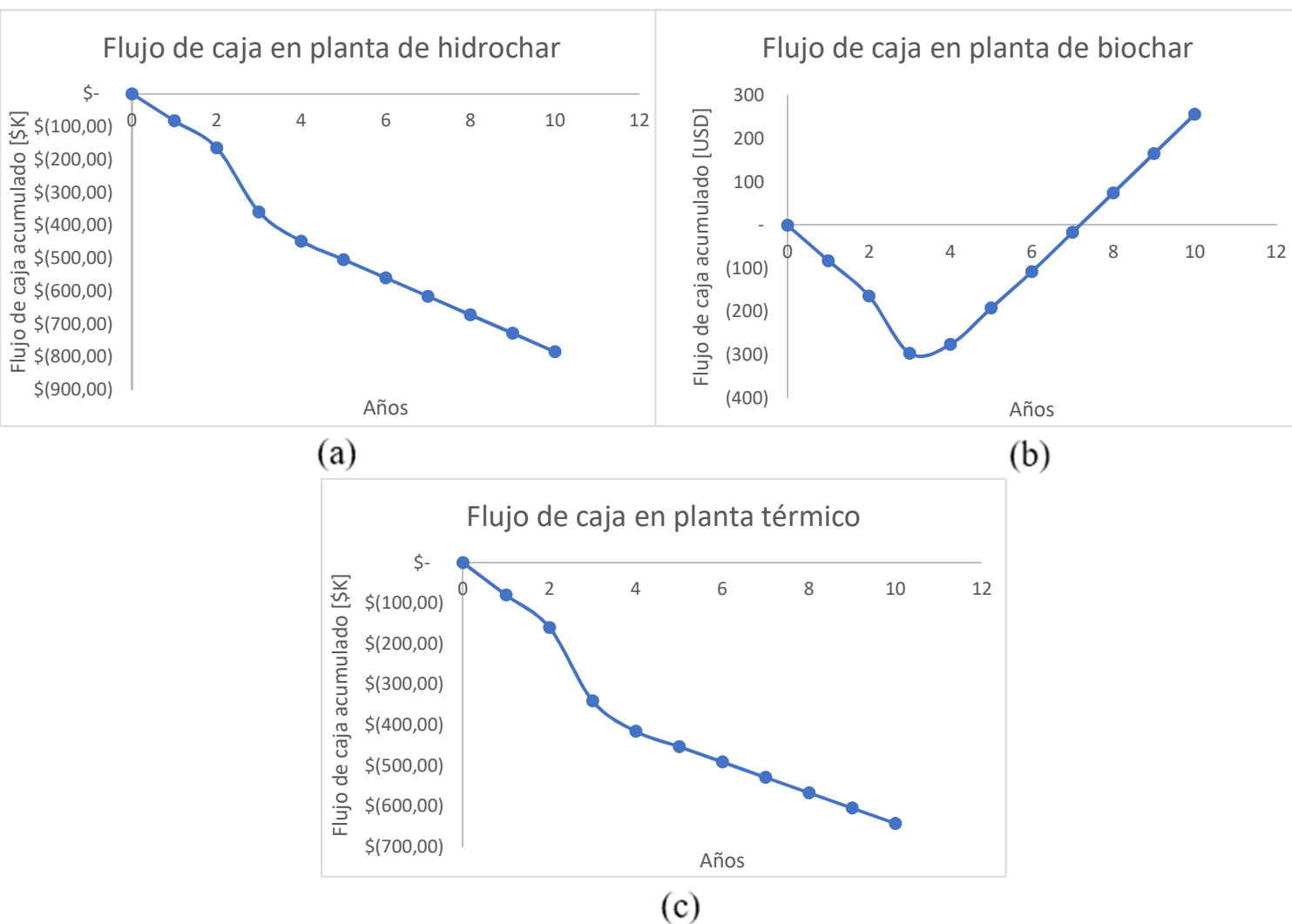


Figura 7: Flujo de caja en plantas de craqueo de aceite gastado

Descripción: (a) flujo de caja en planta de craqueo usando hidrochar como catalizador (b) flujo de caja en planta de craqueo usando biochar como catalizador (c) flujo de caja en planta de craqueo térmico.

6.2.1. Indicadores de rentabilidad del proyecto VAN, TIR, PRI y pago de impuestos.

Con el objetivo de analizar la rentabilidad de la planta, se calculan los indicadores de VAN y TIR en la planta. El valor actual neto (VAN) representa la ganancia que una empresa espera obtener de un proyecto después de restarle el costo de inversión inicial. Si este valor es mayor a 0 significa que el proyecto es viable y rentable. Por otro lado, la tasa de interés de retorno (TIR) es la ganancia

esperada por cada dólar invertido en un proyecto. Finalmente, el periodo de retorno de interés (PRI) representa el periodo de tiempo de recuperación de inversión. Dichos valores se resumen en la tabla 7.

Tabla 7: VAN, TIR y PRI en plantas de craqueo de aceite gastado

	VAN	TIR	PRI (años)
Térmico	\$-366,851.15	-10,52%	indefinido
Biochar	\$ 165,272.12	15.04%	8
Hidrochar	\$-299,001.14	-2.66%	indefinido

Los impuestos tanto del flujo de caja como en el cálculo de los indicadores de factibilidad económica se estimaron del impuesto a la renta estimado dependiendo de los ingresos gravados y el SRI del 15% para bienes y servicios incluidos [43].

6.3. Comparación de los procesos térmicos y catalíticos

En la comparación de los procesos se analizará el costo de la planta, ganancias, producción e indicadores de rentabilidad para determinar la mejor. Inicialmente cabe recalcar que se usó la misma planta, por lo menos para los equipos más importantes. El filtrado, el equipo de decantación y el reactor de craqueo, la única diferencia es en el intercambiador de calor, el almacenamiento de aceite gastado y de combustible obtenido que varía dependiendo de la producción y necesidad de materias primas. Eso significa que las plantas tienen casi el mismo costo de inversión. El costo final de la planta usando biochar como catalizador es mayor en comparación en los otros dos procesos con un costo total de \$ 615,900.99 similar al costo de la planta con uno de hidrochar como catalizador con un valor de \$ 572,148.09, finalmente la planta de craqueo térmico tiene un costo relativamente menor con un costo de \$ 572,148.09.

Igualmente, la producción y por ende las ganancias varían significativamente dependiendo del uso del catalizador usado o si el proceso es térmico. Debido a la variación en el tiempo del proceso y conversión de la materia prima nos encontramos con que la planta que usa biochar como catalizador es capaz de producir 1,134,333.33 litros de combustible tipo Diesel anuales, cosa que representa ventas totales hasta de \$ 1,054,930.00; por atrás esta la planta que usa hidrochar como catalizador que es capaz de producir 940,666.67 litros de combustible anuales y por ende ventas totales de \$ 874,820.00; finalmente la planta con craqueo térmico es capaz de producir 757,375.00 litros de combustible anuales con ventas totales de \$ 704,358.75.

Los indicadores de rentabilidad, así como el flujo de caja demuestra que la planta que usa biochar como catalizador para la producción es la única que resulta rentable; el VAN estima que la planta de biochar es capaz de generar \$165,272.12 y el TIR estima que se por cada dólar se genera \$ 1.15; la planta de hidrochar tienen un VAN menor a 0 con un valor de \$ -299,001.14 y el TIR indica que por cada dólar, se gana \$ 0.97; finalmente la planta de craqueo térmico se muestra un VAN de \$ -366,851.15 y el TIR muestra que con cada dólar invertido, se obtiene \$ 0.89. Esto demuestra que la planta de tratamiento de aceite gastado al usar biochar como catalizador es la única opción viable económicamente.

La diferencia entre la capacidad de producción de cada una de las plantas resulta determinante para la rentabilidad del proyecto. Las diferencias en la capacidad de producción entre los procesos catalíticos definen al biochar como la única planta que resulta económicamente viable. Puesto que los gastos son casi iguales, la diferencia en las ganancias por el aumento en la producción hace que dicha planta resulte económicamente mejor producto del aumento en la conversión. Pese a que el uso de hidrochar asegura un tiempo de proceso menor, este resulta insuficiente en comparación con el tiempo total de producción por lote. Dado que el llenado, enfriamiento y calentamiento son iguales en

los procesos la diferencia de tiempo no es suficiente para admitir un ciclo más por día. Eso significa que en las plantas que usan catalizadores los gastos son iguales, únicamente variando la cantidad de combustible producido anualmente. Se observa que la planta de craqueo térmico resulta más rentable que la planta de hidrochar; este fenómeno se da debido a que el gasto en materias primas es menor, al admitir la misma planta una cantidad menor de ciclos por día, esta es capaz de tratar menos cantidad de aceite reduciendo los gastos en materia prima y consumo energético; el resto de los gastos permanecen iguales.

6.4. Análisis de sensibilidad

Puesto que la planta de craqueo que usa biochar como catalizador es la única que es capaz de generar ganancias en un periodo de 10 años, se realiza un análisis para observar los efectos de variaciones en la producción, el precio de venta, el precio de planta y el interés en la planta de craqueo usando biochar. Por otro lado, para las plantas de craqueo usando hidrochar como en el proceso térmico se calcula el precio de venta necesario para que el valor actual neto (VAN) sea igual a 0. En análisis de sensibilidad para la planta de biochar se observa en la figura 8. La tabla y figura con el análisis de sensibilidad realizado se observa en el anexo E.4.

Finalmente, para la planta con proceso sin catalizador y la que usa hidrochar se calculó que el VAN puede llegar a 0 si el precio de venta por litro pasa de \$0.93 a \$1.74; y si el precio en la planta térmica pasa a \$1.06 igualmente el VAN es igual a 0.

7. CONCLUSIONES

Con el objetivo de analizar la eficiencia económica se compararon los procesos en una misma planta con proceso térmico y con catalizadores orgánicos como lo son el Biochar e Hidrochar. Se calcularon los dimensionamientos, caudales y requerimientos energéticos para el funcionamiento de las tres plantas teóricas. El proceso realizado se da por lotes y se calculó la capacidad máxima por días. La producción y gastos tomaron en cuenta el funcionamiento de las plantas por 24 horas al día durante todo el año.

El análisis técnico-económico de la planta demuestra que el uso de biochar como catalizador resulta en la única alternativa viable. Esta planta tiene un VAN de \$117,149.82 y el TIR de 14% siendo esta la única con un VAN superior a 0. Esto se debe a la maximización de la producción dada por una conversión mayor en comparación a una planta térmica y con hidrochar como catalizador. Los costos construcción de las plantas resultaron similares todas, la única diferencia son los tamaños de los tanques de almacenamiento de combustible tipo Diesel y aceite gastado de motor; siendo esta a su vez una razón por la que la planta de biochar resulta ser la única rentable. Finalmente se realizó un análisis de sensibilidad donde se observaron los límites en la producción, costo de venta e interés impuesto en la financiación del proyecto en la única planta rentable.

8. REFERENCIAS

- [1] A. Mishra, U. Kumari, V. Y. Turlapati, H. Siddiqi, and B. C. Meikap, “Extensive thermogravimetric and thermo-kinetic study of waste motor oil based on iso-conversional methods,” *Energy Convers Manag*, vol. 221, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113194.
- [2] J. Gómez, T. Neumann, F. Guerrero, and M. Toledo, “Experimental investigation on combustion and emission characteristics for heavy fuel and used motor oils blends in a free-flames burner,” *Fuel*, vol. 307, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2021.121739.
- [3] Pennzoil, “What Is Motor Oil?,” https://www.pennzoil.com/en_us/education/know-your-oil/what-is-motor-oil.html.
- [4] Rafaelvazquez-duhalt, “ENVIRONMENTAL IMPACT OF USED MOTOR OIL,” 1989.
- [5] Shell, “¿Cada cuándo debo cambiar el aceite de mi auto?,” <https://support.shell.com.mx/hc/es-mx/articles/360001311157--Cada-cu%C3%A1ndo-debo-cambiar-el-aceite-de-mi-auto>.
- [6] B. C. Ngolube, A. E. Ahizi, C. Nzeoma, and M. C. Udoye, “Characterization and Remediation of Waste Motor Oil-Contaminated Soil,” *International Journal of Science and Engineering Investigations*, vol. 11, p. 121, 2022, [Online]. Available: www.IJSEI.com
- [7] O. P. Abioye, A. A. Aziz, and P. Agamuthu, “Stimulated biodegradation of used lubricating oil in soil using organic wastes,” *Malaysian Journal of Science*, vol. 28, no. 2, pp. 127–133, 2009, doi: 10.22452/mjs.vol28no2.2.
- [8] D. Almeida Streitwieser, A. Arteaga, A. Gallo-Cordova, A. Hidrobo, and S. Ponce, “Chemical Recycling of Used Motor Oil by Catalytic Cracking with Metal-Doped Aluminum Silicate Catalysts,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 13, Jul. 2023, doi: 10.3390/su151310522.

- [9] EPA, “You dump it, you drink it.” United States Environmental Protection Agency.
- [10] A. Mishra, H. Siddiqi, U. Kumari, I. D. Behera, S. Mukherjee, and B. C. Meikap, “Pyrolysis of waste lubricating oil/waste motor oil to generate high-grade fuel oil: A comprehensive review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 150. Elsevier Ltd, Oct. 01, 2021. doi: 10.1016/j.rser.2021.111446.
- [11] X. Jia, B. Huang, J. A. Moore, and S. Zhao, “Influence of Waste Engine Oil on Asphalt Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 27, no. 12, Dec. 2015, doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001292.
- [12] A. Al Mamun, H. I. Al-Abdul Wahhab, and M. A. Dalhat, “Comparative Evaluation of Waste Cooking Oil and Waste Engine Oil Rejuvenated Asphalt Concrete Mixtures,” *Arab J Sci Eng*, vol. 45, no. 10, pp. 7987–7997, Oct. 2020, doi: 10.1007/s13369-020-04523-5.
- [13] B. Gallegos Luis Alfredo Velecela Romero Francisco Antonio, “DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y DERECHOS DE AUTOR.”
- [14] Y. Rodriguez *et al.*, “Kinetic study of the catalytic cracking of waste motor oil using biomass-derived heterogeneous catalysts,” *Waste Management*, vol. 167, pp. 46–54, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.wasman.2023.05.027.
- [15] Evelyn Tapía, “Las proyecciones de ventas de carros en 2024 son desalentadoras, según Aeade,” *Primicias*, Dec. 25, 2023.
- [16] Veintimilla Juan Pablo, “Seis de cada 10 autos que circulan en Ecuador ruedan en Pichincha y Guayas,” *Primicias*, Jul. 16, 2019.

- [17] S. K. Hoekman, A. Broch, L. Felix, and W. Farthing, “Hydrothermal carbonization (HTC) of loblolly pine using a continuous, reactive twin-screw extruder,” *Energy Convers Manag*, vol. 134, pp. 247–259, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2016.12.035.
- [18] Rapid Waste Motor Oil Conversion into Diesel-Range Hydrocarbons Using Hydrochar as Catalyst: Kinetic Study and Product Characterization., “Rapid Waste morot Oil Conversion Using Hydrochar as Catalyst: Kinetic Study and Product Characterization,” *Recycling* , 2024.
- [19] Shell, “Aceites para autos: los tres tipos de aceites más usados.”
- [20] Total Energies, “¿Cuánto aceite debo ponerle a mi auto?,” <https://totalenergies.mx/blog/cuanto-aceite-debo-ponerle-mi-auto#:~:text=Una%20forma%20f%C3%A1cil%20para%20calcular,y%207.5%20litros%20de%20aceite.>
- [21] INEC, “2022 Vehículos Matriculados ,” 2022.
- [22] X. Wang and P. Ni, “Combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with diesel-like fuel from waste lubrication oil,” *Energy Convers Manag*, vol. 133, pp. 275–283, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2016.12.018.
- [23] “ESTRUCTURA-DE-PRECIOS-DICIEMBRE-2023”.
- [24] O. Arellano, J. Guerra, A. Hidalgo, M. Flores, D. Rojas, and A. Strubinger, “Hydrothermal Carbonization (HTC) of Corncob and Characterization of the Obtained Hydrochar,” in *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 2016. [Online]. Available: www.aidic.it/cet
- [25] K. Weber and P. Quicker, “Properties of biochar,” *Fuel*, vol. 217. Elsevier Ltd, pp. 240–261, Apr. 01, 2018. doi: 10.1016/j.fuel.2017.12.054.

- [26] P. Romano, N. Stampone, and G. Di Giacomo, “Evolution and Prospects of Hydrothermal Carbonization,” *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 7, p. 3125, Mar. 2023, doi: 10.3390/en16073125.
- [27] Logistics Cluster, “Gestión del combustible.” Accessed: Apr. 07, 2024. [Online]. Available: https://log.logcluster.org/es/node/232/export_page
- [28] Transelectric, “Contratación de una estación de brinde el ‘Servicio de abastecimiento de combustible para los vehículos de la unidad de negocio Transelectric-Guayaquil,’” Quito, Jul. 2014.
- [29] Cámara de Industrial y Producción, “NORMA TÉCNICA PARA EMISIONES A LA ATMÓSFERA DE FUENTES FIJAS 1. OBJETO.” Accessed: May 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.cip.org.ec/attachments/article/1357/NORMA%20EMISIONES.pdf>
- [30] M. Fernanda and D. Castillo, “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA DISEÑO DE UN FILTRO A ESCALA PILOTO PARA LA RETENCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS DE AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE UNA EMPRESA LICORERA EMPLEANDO CAUCHO DE NEUMÁTICOS USADOS PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA.”
- [31] R. Schulz, N. Ray, S. Zech, A. Rupp, and P. Knabner, “Beyond Kozeny–Carman: Predicting the Permeability in Porous Media,” *Transp Porous Media*, vol. 130, no. 2, pp. 487–512, Nov. 2019, doi: 10.1007/s11242-019-01321-y.
- [32] G. Towler *et al.*, “CHEMICAL ENGINEERING DESIGN Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design,” 2008. [Online]. Available: <http://elsevier.com>

- [33] Guangzhou Chunke Environmental Technology Co, “Stainless Steel 304/316 Mechanical Filter Housing.” Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: <https://chunke.en.made-in-china.com/print/TKZmhosUfLVX/China-Stainless-Steel-304-316-Mechanical-Filter-Housing.html>
- [34] R. J. Hill, Y. Tang, I. R. Kaplan, and P. D. Jenden, “The Influence of Pressure on the Thermal Cracking of Oil,” 1996.
- [35] Bitzer, “DP-200-6 EN SHELL AND TUBE CONDENSERS NEW MODELS Explanation of model designation Example K = Shell and tube condenser Code Seawater resistant design Number of coolant passes.” Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://hvacspareparts.com/docs/shell-and-tube-condenser.pdf>
- [36] N. Lakal, A. H. Shehri, K. W. Brashler, S. P. Wankhede, J. Morse, and X. Du, “Sensing technologies for condition monitoring of oil pump in harsh environment,” *Sens Actuators A Phys*, vol. 346, p. 113864, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.sna.2022.113864.
- [37] W.-G. Li, “Impeller Trimming of an Industrial Centrifugal Viscous Oil Pump,” 2011. [Online]. Available: www.SID.ir
- [38] AIM, “Agricultural Information Modules,” Available: <https://www.nzdl.org/cgi-bin/library?e=d-00000-00---off-0aginfo--00-0--- -0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11--11-en-50---20-help---00-0-1-00-0--4----0-0-11-10- OutfZz-8-10&cl=CL1.3&d=HASH016f501aa8554cb2273ab912.6.3.3.2>=1. .>
- [39] B. De and L. A. Serna Bazán, “INGENIERO QUIMICO PRINCIPIOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROYECTOS QUÍMICOS.”

- [40] Ministerio de Energía y Minas, “Costo de la tarifa eléctrica se mantiene para sectores residencial y comercial; industriales recibirán incentivos por autogeneración de energía,” <https://www.recursosyenergia.gob.ec/costo-de-la-tarifa-electrica-se-mantiene-para-sectores-residencial-y-comercial-industriales-recibiran-incentivos-por-autogeneracion-de-energia/>.
- [41] IEES, “Prestaciones y beneficios,” <https://www.iess.gob.ec/en/web/afiliacion-voluntaria/prestaciones-y-beneficios3>.
- [42] Camara de Comercio de Quito, “CONSULTA LABORAL DE LA JORNADA DE TRABAJO ,” <https://ccq.ec/wp-content/uploads/2017/06/CONSULTA-LABORAL-JUNIO-2016.pdf>.
- [43] Plataforma Gubernamental Financiera, “Impuesto a la Renta Personas Naturales 2023,” <https://www.sri.gob.ec/declaracion-impuesto-a-la-renta-2023>. Accessed: May 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.sri.gob.ec/buscador?q=impuesto%20a%20la%20renta%202024>
- [44] Arti, “xxxL bulk truck load per cubic yard,” <https://www.arti.com/product/xxxl-bulk-truck-load-per-cubic-yard/>. Accessed: Apr. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.arti.com/product/xxxl-bulk-truck-load-per-cubic-yard/>
- [45] J. Ugochukwu, C. Nwamaka, A. C. Faustinus, and O. Christopher, “Determination of the Specific Heat Capacity of Different Sae 20w-50 Engine Oil Samples Using the Electrical Method,” *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, vol. 8, pp. 33–35, doi: 10.9790/4861-08133335.
- [46] BrotoTermic, “Resistencias eléctricas calefactoras.” Accessed: Apr. 30, 2024. [Online]. Available: <https://brototermic.com/docs/catalogo-Brototermic-resistencias.pdf>

- [47] TEFIPRO, “Análisis de riesgos HAZOP.” Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.tefipro.com/doc/Caso-de-estudio-Analisis-de-Riesgos-HAZOP.pdf>
- [48] “cepci_2011_py”, Accessed: May 09, 2024. [Online]. Available: https://folk.ntnu.no/magnehi/cepci_2011_py.pdf
- [49] Charles Maxwell, “Cost Indices,” Towering Skills. Accessed: May 09, 2024. [Online]. Available: <https://toweringskills.com/financial-analysis/cost-indices/>

ANEXO A: LIMITACIONES DE PROCESO Y DESCRIPCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

Anexo A.1. Limitaciones de residuos

Los residuos en el distrito metropolitano de Quito están regulados por las normas NTE INEN 1993-12 para productos residuales. El valor máximo permisible de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión se resume en la tabla 8 [29].

Tabla 8: Limite permisible de emisiones al aire de fuentes fijas

Contaminante	Unidad	Límite de emisión
CO	(mg/Nm ³)	87
HCl	(mg/Nm ³)	55
NO _x	(mg/Nm ³)	611
SO ₂	(mg/Nm ³)	109
Material particulado	(mg/Nm ³)	55
Arsénico, Selenio, Cobalto, Níquel, Telurio	(mg/Nm ³)	2
Cadmio y Talio	(mg/Nm ³)	0.1
Plomo, Antimonio, Cromo Total, Platino, Cobre, Vanadio, Zinc, Estaño, Manganeso, Paladio	(mg/Nm ³)	3
Mercurio	(mg/Nm ³)	0.1
Dioxinas y Furanos EQT	(ng/Nm ³)	11

Donde todos los valores están en condiciones normales (1 atm, base seca 0°C y 11% de O₂), además el límite en metales pesados se da por la suma total de una característica exacta.

Anexo A.2. Descripción y proveedores de catalizadores

Los catalizadores usados son obtenidos de proveedores internacionales, el biochar es obtenido de Arti que vende una yarda cubica de biochar proveniente de cualquier fuente a \$300 [44] Mientras que para obtener hidrochar se obtiene a partir de un estudio aproximado de costo de compra por tonelada de biomasa específica a \$180 [26]

Anexo A.3. Descripción y proveedores de aceite gastado de motor

Como materia prima base se consultó el precio estimado de aceite gastado comercial en Ecuador. Se consulto un precio aproximado en Facebook-Marketplace y se estimó que el costo de una caneca de 20 L es de \$9.

ANEXO B: BALANCES DE MASA Y ENERGÍA

Anexo B.1. Balance de masa y energía de línea de tratamiento de aceite gastado

Se calcula la masa en la alimentación y salida en cada equipo

Para el balance de energía se observa el caudal, presión y temperatura en la entrada y salida de cada equipo.

Anexo B.1.1. Balance de masa y energía para planta de tratamiento de aceite térmico

Filtrado (F-01)

Tabla 9: Balance de masa (F-01) en planta de tratamiento térmico

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa (Kg)	Fracción
Aceite	852.73	0.82	Aceite	852.73	0.902
Agua	92.47	0.10	Agua	92.47	0.098
Sólidos	82.19	0.08	Sólidos	-	-

Tabla 10: Balance de energía (F-01) en planta de tratamiento térmico

Especificación	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	20	20
Presión (Bar)	1.056	1
Caudal (m ³ /h)	49.60	14.50
Velocidad (m/s)	3.48	1

Decantación (DK-01)

Tabla 11: Balance de masa (DK-01) en planta de tratamiento térmico

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa (Kg)	Fracción
Aceite	852.73	0.902	Aceite	852.73	1

Agua	92.47	0.098	Agua	-	-
------	-------	-------	------	---	---

Tabla 12: Balance de energía (DK-01) en planta de tratamiento térmico

Especificación	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	20	20
Presión (Bar)	1	1
Caudal (m ³ /h)	14.50	14.50
Velocidad (m/s)	1	1

Reactor de craqueo (CK-01)

Tabla 13: Balance de masa (CK-01) en planta de tratamiento térmico

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa (Kg)	Fracción
Aceite	852.73	1	Combustible	622.5	0.73
-	-	-	Desperdicio	230.23	0.27

Se requiere calentar el aceite gastado hasta 420 °C usando resistencias. El calor específico del aceite gastado es de 2306.12 J/Kg°C. El calor se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = m * C_p * \Delta T$$

La media del caudal se calcula

Tabla 14: Balance de energía (CK-01) en planta de tratamiento térmico

Especificación	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	20	420
Presión (Bar)	1	1
Caudal (m ³ /h)	14.50	0.23
Velocidad (m/s)	1	1
Calor (kJ)	864,395.06	

Intercambiador de calor (IC-01)*Tabla 15: Balance de masa (IC-01) en planta de tratamiento térmico*

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa	Fracción
Combustible	622.5	1	Combustible	622.5	1
Agua refrigerante	12000	1	Agua refrigerante	12000	1

Tabla 16: Balance de energía (IC-01) en planta de tratamiento térmico

Especificación: fluido caliente	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	420	23.82
Presión (Bar)	1	1
Calor (kJ)	-147,598.80	
Caudal (m ³ /h)	0.23	
Perdida presión	12 kPa	
Especificación: fluido frío	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	15	37
Presión (Bar)	1	1
Calor (kJ)	-147,598.80	
Caudal (m ³ /h)	4.00	

Anexo B.1.2. Balance de masa y energía para planta de tratamiento de aceite usando biochar como catalizador

Filtrado (F-01)*Tabla 17: Balance de masa (F-01) en planta de tratamiento usando biochar*

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa (Kg)	Fracción
Aceite	852.73	0.82	Aceite	852.73	0.902
Agua	92.47	0.10	Agua	92.47	0.098
Sólidos	82.19	0.08	Sólidos	-	-

Tabla 18: Balance de energía (F-01) en planta de tratamiento usando biochar

Especificación	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	20	20
Presión (Bar)	5.35	1
Caudal (m ³ /h)	49.60	14.50
Velocidad (m/s)	3.48	1

Decantación (DK-01)

Tabla 19: Balance de masa (DK-01) en planta de tratamiento usando biochar

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa (Kg)	Fracción
Aceite	852.73	0.902	Aceite	852.73	1
Agua	92.47	0.098	Agua	-	-

Tabla 20: Balance de energía (DK-01) en planta de tratamiento usando biochar

Especificación	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	20	20
Presión (Bar)	1	1
Caudal (m ³ /h)	14.50	14.50
Velocidad (m/s)	1	1

Reactor de craqueo (CK-01)

Tabla 21: Balance de masa (CK-01) en planta de tratamiento usando biochar

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa (Kg)	Fracción
Aceite	852.73	1	Combustible	682.19	0.82
-	-	-	Desperdicio	170.54	0.18

Se requiere calentar el aceite gastado hasta 420 °C usando resistencias. El calor específico del aceite gastado es de 2306.12 J/Kg°C. El calor se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = m * Cp * \Delta T$$

El cálculo del caudal de salida se calculó dividiendo el volumen producido por el tiempo del proceso, en este caso 1.91 horas y una densidad media de 0.9 Kg/L.

La media del caudal se calcula

Tabla 22: Balance de energía (CK-01) en planta de tratamiento usando biochar

Especificación	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	20	420
Presión (Bar)	1	1
Caudal (m ³ /h)	14.50	0.396
Velocidad (m/s)	1	1
Calor (kJ)	864,395.06	

Intercambiador de calor (IC-01)

Tabla 23: Balance de masa (IC-01) en planta de tratamiento usando biochar

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Tipo	Material	Masa	Tipo
Combustible	682.19	Fluido caliente	Combustible	622.5	Fluido caliente
Agua refrigerante	8,598.73	Fluido frío	Agua refrigerante	8,598.73	Fluido frío

Tabla 24: Balance de energía (IC-01) en planta de tratamiento usando biochar

Especificación: fluido caliente	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	420	37
Presión (Bar)	1	1

Calor (kJ/h)	-253,950.811	
Caudal (m ³ /h)	0.23	
Perdida presión	12 kPa	
Especificación: fluido frío	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	15	28.48
Presión (Bar)	1	1
Calor (kJ/h)	-253,950.811	
Caudal (m ³ /h)	4.50	

Anexo B.1.2. Balance de masa y energía para planta de tratamiento de aceite usando hidrochar como catalizador

Filtrado (F-01)

Tabla 25: Balance de masa (F-01) en planta de tratamiento usando hidrochar

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa (Kg)	Fracción
Aceite	852.73	0.82	Aceite	852.73	0.902
Agua	92.47	0.10	Agua	92.47	0.098
Sólidos	82.19	0.08	Sólidos	-	-

Tabla 26: Balance de energía (F-01) en planta de tratamiento usando hidrochar

Especificación	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	20	20
Presión (Bar)	5.35	1
Caudal (m ³ /h)	49.60	14.50
Velocidad (m/s)	3.48	1

Decantación (DK-01)

Tabla 27: Balance de masa (DK-01) en planta de tratamiento usando hidrochar

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa (Kg)	Fracción

Aceite	852.73	0.902	Aceite	852.73	1
Agua	92.47	0.098	Agua	-	-

Tabla 28: Balance de energía (DK-01) en planta de tratamiento usando hidrochar

Especificación	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	20	20
Presión (Bar)	1	1
Caudal (m ³ /h)	14.50	14.50
Velocidad (m/s)	1	1

Reactor de craqueo (CK-01)

Tabla 29: Balance de masa (CK-01) en planta de tratamiento usando hidrochar

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa (Kg)	Fracción
Aceite	852.73	1	Combustible	682.19	0.68
-	-	-	Desperdicio	170.54	0.32

Se requiere calentar el aceite gastado hasta 420 °C usando resistencias. El calor específico del aceite gastado es de 2306.12 J/Kg°C. El calor se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = m * Cp * \Delta T$$

La media del caudal se calcula

Tabla 30: Balance de energía (CK-01) en planta de tratamiento usando hidrochar

Especificación	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	20	420
Presión (Bar)	1	1
Caudal (m ³ /h)	14.50	0.23
Velocidad (m/s)	1	1
Calor (kJ)	864,395.06	

Intercambiador de calor (IC-01)

Tabla 31: Balance de masa (IC-01) en planta de tratamiento usando hidrochar

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Tipo	Material	Masa	Tipo
Combustible	682.19	Fluido caliente	Combustible	622.5	Fluido caliente
Agua refrigerante	6,521.74	Fluido frío	Agua refrigerante	6,521.74	Fluido frío

Tabla 32: Balance de energía (IC-01) en planta de tratamiento usando hidrochar

Especificación: fluido caliente	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	420	37
Presión (Bar)	1	1
Calor (kJ/h)	-284,602.84	
Caudal (m ³ /h)	0.23	
Perdida presión	12 kPa	
Especificación: fluido frío	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	15	28.48
Presión (Bar)	1	1
Calor (kJ/h)	-284,602.84	
Caudal (m ³ /h)	4.50	

Anexo B.2. Balance de masa general de producción de biochar

La producción de biochar consta de 2 operaciones unitarias, un secado previo para eliminar excedente de agua y un reactor de pirólisis [14]. Los balances por equipo se encuentran a continuación.

Tabla 33: Balance de masa para secado planta de producción de biochar

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa (Kg)	Fracción

Biomasa	6.62	0.91	Biomasa	6.02	0.68
Agua	0.30	0.09	-	-	-

Tabla 34: Balance de masa para horno de pirólisis planta de producción de biochar

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa (Kg)	Fracción
Biomasa	6.02	1	Biochar	3.41	0.57
-	-	-	Bio-syngas	2.61	0.43

Anexo B.3. Balance de masa de línea de producción de hidrochar

La producción de hidrochar consta de 3 operaciones unitarias, un reactor de HTC, un filtrado y un secado [8], [24].

Tabla 35: Balance de masa para reactor de HTC planta de producción de hidrochar

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa (Kg)	Fracción
Biomasa	4.67	0.048	Hidrochar	3.41	0.035
Agua	93.45	0.952	Líquidos	89.80	0.915
			Gases	4.91	0.050

Tabla 36: Balance de masa para filtrado planta de producción de hidrochar

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa (Kg)	Fracción
Hidrochar	3.41	0.037	Hidrochar húmedo	14.71	0.16
Líquidos	89.80	0.963	Líquidos	78.50	0.84

Tabla 37: Balance de masa para secado planta de producción de hidrochar

Alimentación			Salida		
Material	Masa (Kg)	Fracción	Material	Masa (Kg)	Fracción

Hidrochar	3.41	0.23	Hidrochar	3.41	0.23
Líquido	11.30	0.77	Gases	11.30	0.77

ANEXO C: DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Se indican las especificaciones y dimensiones para cada uno de los equipos

Tabla 38: Dimensionamiento de tanque de almacenamiento de aceite gastado

<i>Tanque de almacenamiento Aceite</i>					
tiempo	7 días		tiempo	7	días
tipo	catalizadores		tipo	térmico	
Capacidad	39.9543379	m3	Capacidad	29.9657534	m
Largo	5.88181485	m	Largo	5.34398344	m
Diámetro	2.94090742	m	Diámetro	2.67199172	m
espesor	0.41841559	mm	espesor	1	mm
Volumen tanque	0.05436597	m3	Volumen tanque	0.04488004	m3
Peso tanque	436.558752	kg	Peso tanque	360.386723	kg

Tabla 39: Dimensionamiento de tanque de decantación

<i>Sistema de decantación</i>		
Altura	2.7886763	m
Diámetro	1.39433815	m
Salida aceite gastado	2.50980867	m
Alimentación	1.39433815	m
Salida agua	2.34248809	m
Capacidad	4.25818189	m3
Volumen tanque	0.00830023	m3
Peso tanque	66.6508434	kg

Tabla 40: Dimensionamiento de filtro

<i>filtrado</i>		
Área filtrado	0.17341591	m2
Largo	0.4	m2
Diámetro	0.069	m
Grosor malla	1	mm
Aberturas	0.9	mm
Perdida Presión	5596.3257	pa

Tabla 41: especificaciones de tuberías

<i>Sistema de tuberías</i>		
Antes decantado	0.071	m
Después decantado	0.068	m
Tubería de agua	0.022	m

Tabla 42: Dimensionamiento de reactor de craqueo

<i>Craqueo</i>		
Largo	1.87846309	m
Radio	0.46961577	m
Volumen	1.30082137	m
espesor	0.0035	m
Volumen tanque	0.02259294	m ³
Peso tanque	181.421322	kg

Tabla 43: Dimensionamiento de tanque de almacenamiento de combustible

<i>Almacenamiento de combustible</i>								
Tiempo	7	días	Tiempo	7	días	Tiempo	7	días
Tipo	hidrochar		Tipo	biochar		Tipo	térmico	
Capacidad	21.6482192	m ³	Capacidad	21.2237443	m ³	Capacidad	14.525	m ³
Largo	4.79509735	m	Largo	4.76354974	m	Largo	4.19786773	m
Diámetro	2.39754868	m	Diámetro	2.38177487	m	Diámetro	2.09893387	m
Espesor	1	mm	Espesor	1	mm	Espesor	1	mm
Volumen tanque	0.03613609	m ³	Volumen tanque	0.03566229	m ³	Volumen tanque	0.02769721	m ³
Peso tanque	290.17279	kg	Peso tanque	286.368165	kg	Peso tanque	222.408579	kg

Tabla 44: Dimensionamiento de condensador

<i>Condensador de tubos y carcaza</i>		
Número de tubos	1	
Número de pasos	2	
Diámetro de tubos	36	mm
Diámetro de carcaza	0.298	m
Capacidad de condensador	72	KW
Flujo volumétrico máximo	10.39	m ³ /h
Longitud	1.176	m

Anexo C.1. Dimensionamiento equipos de para obtención de catalizadores.

Inicialmente se calcula únicamente el dimensionamiento del equipo principal para la obtención de catalizadores.

Dimensionamiento de reactor de pirólisis

Por cada ciclo es necesario 3.41 Kg de catalizador. Se intenta calcular el volumen para dos días con un sobredimensionamiento del 20%.

Para dicha labor es necesario ingresar 97.08 Kg de biomasa de banano de los cuales 88.34kg entran al reactor

Considerando la densidad del banano $\rho_{banano} = 0.75 \frac{g}{cm^3}$ es necesario un reactor de 117.79 L, con el sobredimensionamiento del 20% el volumen total es de 0.16 m³. Para alcanzar un volumen de reactor de alrededor de 1 m³, es necesario producir biochar una vez cada 7 días. Por esta razón no sale rentable la construcción de una planta de producción de biochar, resulta mejor adquirir a proveedores.

Dimensionamiento de reactor de HTC

Para cada ciclo igualmente son necesarios 3.41 Kg de catalizador. Para un día o que la conversión es del 73% obtenemos que son necesarios 4.67 Kg de cascarilla de arroz y 93.42 Kg de agua. Esto

requeriría un equipo con una capacidad de 0.42 m³ por día, cosa que significa que se ocuparía el equipo una vez cada tres días m³ con el objetivo de adquisición de un reactor de 1.20 m³.

Anexo C.2. Cálculos de dimensionamiento de equipos.

Anexo C.2.1. Dimensionamiento de equipos principales.

Filtro

Se calcula la pérdida de presión consecuente a un medio filtrante usando la ecuación de Darcy

$$\Delta P = \frac{\mu * Q * L}{A * K}$$

Donde

μ es la viscosidad, valor que corresponde a 74.9 mN/mm²

Q es el caudal, valor que corresponde a 0.0038 L/s

A es el área total del filtro, valor que corresponde a 0.173 m²

L es el espesor del alambre, valor que corresponde a 0.001 m

K corresponde a la constante de permeabilidad, este se calcula con la fórmula de Kozenly-Carman que funciona para partículas cuadradas, cilíndricas, esféricas y cruces.

$$K = \frac{d^2}{80} \frac{\theta^3}{(1 - \theta)^2}$$

Donde

θ es la porosidad

d es el diámetro de partículas

Por su parte la porosidad se calcula con la siguiente expresión

$$n = \frac{V_v}{V}$$

Donde

V_v corresponde al volumen del sólido de la superficie porosa

V Corresponde al volumen total

Para el cálculo de V_v se calculó la cantidad de alambres longitudinales y transversales a través del cuerpo del filtro usando la siguiente expresión

$$N \text{ alambres} = \frac{\text{Largo}}{(\text{abertura de filtro} + \text{espesor de alambre})}$$

El número de alambres longitudinales es 210.52 mientras que los transversales 228.18.

Posteriormente se calculó el número de uniones multiplicando el número de alambres longitudinales y transversales, este valor corresponde a 48037.65. Finalmente se obtiene el volumen de sólidos con la siguiente expresión empírica.

$$V_v = V \text{ alambres longitudinales} + V \text{ alambres transversales} - \text{área de uniones}$$

Este valor corresponde a 0.0001345 m³. Mientras que el volumen total corresponde a

$$V = \text{long transversal malla} * \text{long longitudinal de malla} * \text{espesor}$$

Este valor corresponde a 0.00017342 m³.

Donde la porosidad corresponde a 0.776 y el coeficiente de permeabilidad K es 2.93 E-10 y la caída de presión es de 0.05596 bar

Decantador

Para el diseño del decantador se usa el método descrito por Sinnott [32] Inicialmente se usa la ley de Stokes para determinar la velocidad de asentamiento de gotas

$$u_d = \frac{d_d^2 g (\rho_d - \rho_c)}{18 \mu_c}$$

Donde

d_d es el diámetro de las gotas en metros, se asume que este valor corresponde a 0.00015 m (suposición inicial, debe ser lo más grande posible)

u_d es la velocidad de asentamiento de la fase dispersa en m/s

G es la gravedad, este valor corresponde a 9.81 m/s²

ρ_d es la densidad de la fase continua, este valor corresponde a 0.85 Kg/L

ρ_c es la densidad de la fase dispersa, este valor corresponde a 1 Kg/L

μ_c es la viscosidad de la fase dispersa, este valor corresponde a 1 mN/m²

Resultando en una velocidad de asentamiento de -0.00184 m/s, lo que significa que las gotas aceite ascienden. Como el flujo volumétrico es pequeño se usa en recipiente cilíndrico vertical.

El decantador debe tener un tamaño en base a la velocidad de la fase continua, es importante que este valor sea menor que la velocidad de la fase dispersa. El cálculo de esta corresponde a la siguiente expresión

$$u_c = \frac{L_c}{A_i} < u_d$$

Donde

L_c es el flujo volumétrico de la fase continua

A_i es el área de la interfase

u_c es la velocidad de la fase continua

Donde L_c corresponde a la media entre el flujo en m^3/s del flujo volumétrico del aceite y el agua. Este valor corresponde a $0.0028 m^3/s$. Con este valor es posible calcular el área máxima permitido, eso quiere decir que la velocidad máxima admitida corresponde a cuando $u_c = u_d$. Por ende A_i es igual a $1.53 m^2$. Lo que significa que tiene un radio de $0.7 m$. El diámetro corresponde a el doble del diámetro, por lo tanto, es $2.79 m$. La entrada se encuentra la mitad de la altura, es decir $1.395 m$, el aceite gastado sale a un 90% de la altura, es decir a $2.51 m$. Finalmente la altura a la salida de agua se da por la parte inferior y llega hasta una altura de $2.34 m$.

Anexo C.2.2. Dimensionamiento de equipos secundarios

Bombas

Se usarán 2 bombas en el proceso, para el cálculo de la potencia necesaria, se calcularon las pérdidas de presión en los diversos sistemas, además se considera una eficiencia de bomba del 70% . Se calcula la pérdida por el filtrado, por fricción de tuberías y por codos. Se considera el uso de 2 codos para la bomba 1 y una tubería de diámetro $0.071 m$ y $0.068 m$

Inicialmente se calcula el número de Reynolds en las tuberías del sistema

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu}$$

Donde

ρ es la densidad en Kg/m^3

V es la velocidad en m/s

D es el diámetro de los tubos en m

μ es la viscosidad en Pa*s

El número de Reynolds para la tubería antes del filtrado corresponde a 919.24 y después del filtrado a 251.59 ambos correspondientes a un flujo laminar. Estos valores son importantes para la determinación del coeficiente de fricción sacado del diagrama de Moody descrito en Sinnott & Towler [32].

Para las pérdidas por rozamiento se usa la fórmula de Darcy-Weisbach, este valor corresponde a

$$hf = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

y el cálculo de la pérdida de presión se realiza mediante la siguiente expresión

$$\Delta P = hf * g * \rho$$

Finalmente, la pérdida de presión por codos se calcula con la siguiente expresión

$$\Delta P = K * \frac{\rho * V^2}{2}$$

Donde K es el coeficiente de pérdida correspondiente a codos de 90°, en este caso tienen un valor de 0.2.

Finalmente, la pérdida aproximada por altura con la ecuación de Bernoulli

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

Las pérdidas totales se resumen en la siguiente tabla

Tabla 45: Pérdidas totales necesarias para cada bomba

	Pérdidas de presión totales	
	Bomba 1	Bomba 2
Perdida rozamiento	1,374.89 Pa	399.56 Pa
Perdida filtrado	5,596.32 Pa	-
Perdida por codos	170 Pa	-
Perdida por aumento de altura	7,457.43Pa	-
Pérdidas Totales	14,790.20 Pa	399.56 Pa

Por ende, la bomba 1 requiere una potencia de 81W mientras que la bomba 2 requiere una potencia de 2W.

Resistencias para calentamiento de aceite gastado

Para estas es necesario calcular el calor producto del calentamiento de 852.54 Kg de aceite gastado.

Este tiene una capacidad calorífica aproximada de 2306.12 J/Kg°C [45]

El calor necesario se calculó usando la siguiente expresión

$$Q = m * Cp * \Delta T$$

Resultando en una cantidad de 786,423.818 KJ de calor a lo largo de una hora, por lo que este valor corresponde a una potencia de 218.45 KW.

Para esta labor se usaron un total de 9 resistencias de 35 KW provenientes de BrotoTermic [46].

ANEXO D: ANÁLISIS DE SEGURIDAD Y CONTROL AUTOMÁTICO

Anexo D.1. Análisis HAZOP completo de planta de tratamiento de aceite gastado

Para el análisis de seguridad HAZOP es importante el reconocimiento de situaciones de riesgo evaluadas según su peligrosidad y frecuencia. Se usa el color rojo para identificar asuntos graves de riesgo, amarillo para riesgos medios y verde para leves. Se usa la siguiente matriz de riesgos para diferenciarlos [47] Para la tabla se usó *g* para la gravedad y *f* para la frecuencia

Tabla 46: matriz de riesgos para análisis de seguridad HAZOP

1	Leve					
2	Serio					
3	Grave					
4	Muy grave					
5	Catastrófico					
		Todas las semanas	Todos los meses	Todos los años	Ha pasado	No ha sucedido
		5	4	3	2	1

Posteriormente se encuentra en análisis de seguridad HAZOP completo de la planta con los parámetros de seguridad observados en la tabla 46.

Tabla 47: Análisis de seguridad HAZOP para planta de craqueo de aceite gastado

Tanque de almacenamiento de aceite gastado						
Objetivo: Almacenar aceite gastado de motor a 20°C y presión atmosférica						
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencias	f	g	c
No	Nivel de tanque	Falta llenado tanque	Impedimento en producción; <i>solución:</i> estación de controlador LT-01 para indicar nivel de tanque	5	3	

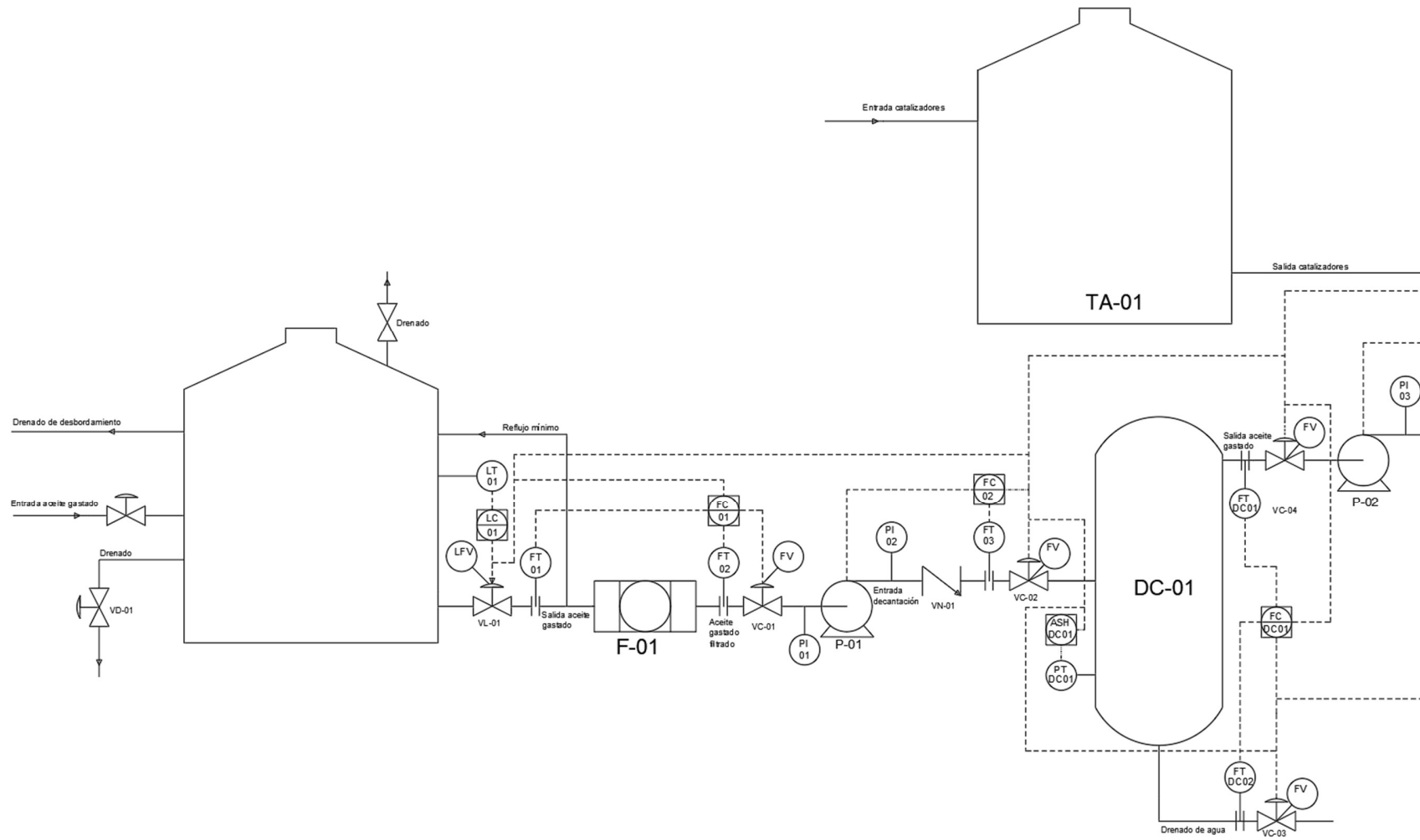
Menos	Nivel de tanque	Falta de llenado de tanque	Riesgo de disminución de producción	5	2	
Más	Nivel de tanque	Exceso de aceite en llenado de tanque	Desperdicio de materia prima, aumento de presión de tanque; <i>solución</i> : línea de drenado de desbordamiento	4	1	
Más	Presión	Acumulación de gases dentro del tanque	Posible aumento de caudal en corriente de salida de aceite gastado, en caso extremo daño en estructura de tanque; <i>solución</i> : línea de drenado de gases en la parte superior	2	4	
Corriente de salida de aceite gastado						
Objetivo: transportar aceite gastado almacenado a filtrado						
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencias	f	g	c
Menos	flujo	Obstrucción parcial de filtro	Disminución en tiempo de llenado, despresurización de tanque de decantación; <i>solución</i> : instalación de controlador FT-01 para controlar flujo en proceso.	5	1	
No	Flujo	Obstrucción completa de filtro	Impedimento de producción; <i>solución</i> : instalación medidor FT-01 y controlador FC-01 conectado a VL-01 para cierre automático.	3	1	
Más	Flujo	Daño o rotura en malla de filtrado	Ingreso de residuos sólidos a sistema, posible daño en bombas, sedimentos solidos en sistemas de decantación. <i>Solución</i> : instalación medidor FT-01 y controlador FC-01 conectado a VL-01 y VC-01 para cierre automático	2	4	
Filtro (F-01)						
Objetivo: eliminación de residuos sólidos grandes de aceite gastado						
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencias	f	g	c
Menos	flujo	Obstrucción parcial de filtro	Disminución en tiempo de llenado; <i>solución</i> : limpieza manual de filtro	5	1	
No	Flujo	Obstrucción completa de filtro	Impedimento de producción; <i>solución</i> : limpieza manual de filtro	3	1	
Más	Flujo	Daño o rotura en malla de filtrado	Ingreso de residuos sólidos a sistema, posible daño en bombas, sedimentos solidos en sistemas de decantación. <i>Solución</i> : reemplazo de filtro	2	4	
línea de aceite gastado filtrado						
Objetivo: transportar aceite gastado libre de solidos a sistema de decantación						
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencias	f	g	c

Menos	flujo	Obstrucción parcial de filtro	Disminución en tiempo de llenado, despresurización de tanque de decantación; <i>solución</i> : instalación de controlador FT-01 para controlar flujo en proceso.	5	1	
No	Flujo	Obstrucción completa de filtro	Impedimento de producción; <i>solución</i> : instalación medidor FT-02 y controlador FC-01 conectado a VL-01 y VC-01 para cierre automático.	3	1	
Más	Flujo	Daño o rotura en malla de filtrado	Ingreso de residuos sólidos a sistema, posible daño en bombas, sedimentos solidos en sistemas de decantación. <i>Solución</i> : instalación medidor FT-02 y controlador FC-01 conectado a VL-01 y VC-01 para cierre automático	2	4	
línea de entrada de aceite gastado a decantación						
Objetivo: transportar aceite gastado libre de solidos a sistema de decantación						
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencias	f	g	c
Menos	flujo	Disminución en presión de tuberías	Disminución en tiempo de llenado; <i>solución</i> : Instalación de medidor de presión PI-01, FT-03 y controlador FC-02 conectado a P-01 con potencia variable para adecuar caudal.	5	1	
No	Flujo	Presión insuficiente en tuberías	Final de proceso; <i>solución</i> : controlador FC-02 conectado a P-01 apaga la succión	2	2	
Más	Flujo	Exceso de presión en tuberías	Separación incompleta de aceite agua, posible daño en reactor; <i>solución</i> : controlador de nivel de potencia de bomba FT-03 y FC-02 conectado a VC-02.	4	2	
Reverso	Flujo	Obstrucción en línea de succión	Perdida de potencia y presión en sistema, menor eficiencia de bomba; <i>solución</i> : instalación de VN-01 de un solo paso.	2	1	
Decantador (DC-01)						
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencias	f	g	c
Más que	Presión limite	Acumulación y aumento de presión de sistema	Separación incorrecta de agua, daño en tanque, aumento del flujo del entrada y salida. <i>Solución</i> : Instalación de medidor de presión PT-DC01 y controlador ASH-DC01 que cierra a VC-02 y VC-04 para finalizar	1	5	

			proceso y abre VC-03 para liberar presión			
Línea de salida de aceite gastado de decantación Objetivo: transportar aceite gastado sin agua a reactor (CK-01)						
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencias	f	g	c
Más	Flujo	Aumento en presión en tanque decantación	Separación incorrecta de agua y aceite, ingreso de agua a reactor de craqueo, aumento de presión; <i>solución:</i> instalación de controlador FT-DC01 y FC-DC01 para regulación de caudal de entrada y salida de decantador con válvulas VC-04, VC-03 y VC-02	2	3	
línea de drenado de agua Objetivo: Llenar reactor con aceite gastado						
Palabra guía	Desviación	Causa	Consecuencias	f	g	c
Más	flujo	Aumento flujo de agua de desperdicio	Separación incorrecta en decantación, desperdicio de aceite gastado; <i>solución:</i> instalación de FT-DC02 conectado al controlador FC-DC01 para controlar caudales de entrada y salida de aceite gastado	2	3	
Menos	Flujo	Disminución de flujo de agua de desperdicio	Separación incorrecta de agua y aceite en tanque de decantación	2	3	

Anexo D.2. Diseño de control automático de planta de tratamiento de aceite gastado

Se observa el análisis completo de control automático para la planta de tratamiento de aceite gastado según la tabla 47.



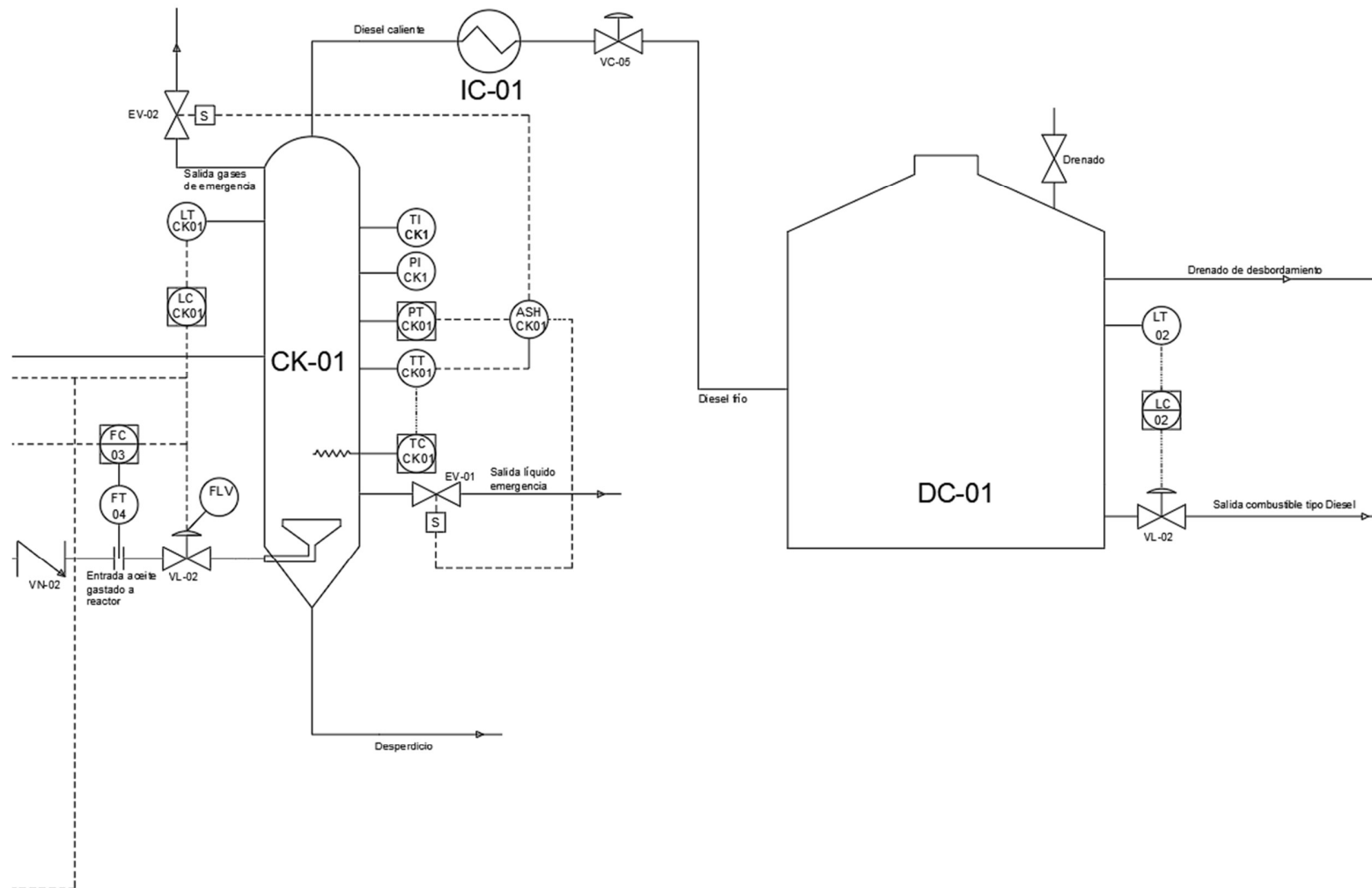


Figura 8: Sistemas de control automático en planta de craqueo de aceite gastado

ANEXO E: ANÁLISIS ECONÓMICO

Anexo E.1. Estimación de costos de los equipos

Para la estimación de costos de equipos diseñados, se calcula el precio mediante los parámetros de diseño propuestos por Sinnott. Este propone un precio de equipos respecto a la construcción en Estados Unidos [32]. La expresión usada para la determinación de costos es la siguiente:

$$C_e = a + b \times S^n$$

Donde

C_e es el costo de los equipos

a, b son exponentes propuestos por los investigadores

n es el valor del exponente para los equipos

S es el parámetro que relaciona el costo con las unidades

En el diseño de proyecto, se calcula el precio con dicha expresión de las bombas, el tanque de almacenamiento de combustible, del tanque de almacenamiento de aceite gastado y del reactor. Para el resto de los equipos, estos son adquiridos directamente de los proveedores especificados en la características de equipos.

Tabla 48: Estimación de costos de equipos en planta de craqueo térmico

	Capacidad		a	b	n	Precio
Almacenamiento aceite gastado	29.97	m3	5700	700	0.7	\$ 13,263.72
Decantador	Precio directo de proveedores					\$ 4,800.00
Reactor	1.30	m3	14000	15400	0.7	\$ 32,512.84
Almacenamiento de combustible	14.53	m3	5700	700	0.7	\$ 10,255.95
Condensador	Precio directo de proveedores					\$ 2,000.00
Bomba 1	0.081	KW	920	600	0,7	\$ 1,023.30
Bomba 2	0.002	KW	920	600	0,7	\$ 927,74
Resistencias	Precio directo de proveedores					\$ 414.00
Costo total						\$ 65,197.56

Tabla 49: Estimación de costos de equipos en planta de craqueo usando biochar

	Capacidad		a	b	n	Precio
Almacenamiento aceite gastado	39.95	m3	5700	700	0.7	\$ 14,951.09
Decantador	Precio directo de proveedores					\$ 4,800.00
Reactor	1.30	m3	14000	15400	0.7	\$ 32,512.84
Almacenamiento de combustible	21.22	m3	5700	700	0.7	\$ 11,641.19
Condensador	Precio directo de proveedores					\$ 2,000.00
Bomba 1	0.081	KW	920	600	0,7	\$ 1,023.30
Bomba 2	0.002	KW	920	600	0,7	\$ 927,74
Resistencias	Precio directo de proveedores					\$ 414.00
Costo total						\$ 72,373.71

Tabla 50: Estimación de costos de equipos en planta de craqueo usando hidrochar

	Capacidad		a	b	n	Precio
Almacenamiento de aceite gastado	39.95	m3	5700	700	0,7	\$ 14,951.09
Decantador	Precio directo de proveedores					\$ 3,400.00
Reactor	1.30	m3	14000	15400	0,7	\$ 32,512.84
Almacenamiento de combustible	21.65	m3	5700	700	0,7	\$ 11,724.12
Condensador	Precio directo de proveedores					\$ 6,103.55
Bomba 1	0.081	KW	920	600	0,7	\$ 1,023.30
Bomba 2	0.002	KW	920	600	0,7	\$ 927,74
Resistencias	Precio directo de proveedores					\$ 414.00
Costo total						\$ 71,056.64

Anexo E.2. Capital de inversión fijo, capital de trabajo, ACC y TAC.

Estimación de capital de inversión fijo

Para la estimación de capital de inversión se usó el método factorial de estimación de costos, este calcula el precio completo de instalación y construcción de la planta respecto al costo de los equipos principales [32]. Se usaron los factores de Lang, Hand y detallado para obtener un promedio del costo total de inversión fijo.

El factor de Lang y Hand propone que el costo ISBL se calcula con la siguiente expresión

$$C = F \left(\sum C_e \right)$$

Donde

C es el costo total ISBL de la planta incluyendo los costos de ingeniería

F es el factor de instalación

C_e es la suma de los costos de los equipos principales.

Para la estimación propuesta por Lang, el factor de instalación depende de si un equipo trabaja con sólidos, fluidos o mixtos. Este valor corresponde a 3.1 para equipos que trabajan con sólidos, 3.74 para equipos que trabajan con fluidos y 4.63 para equipos que trabajan con sólidos y fluidos.

El factor de Hand propone la estimación de costos respecto a los tipos de equipos, los valores del factor de instalación se resumen en la tabla 51.

Tabla 51: Factor de instalación propuesto por Hand

Tipo de equipo	Factor de instalación
Compresores	2.5
Columnas de destilación	4
Calefactores	2
Intercambiadores de calor	3.5
Instrumentos	4
Equipos variados	2.5
Tanque a presión	4
Bombas	4

Finalmente, el factor detallado analiza más a detalle considerando con factores individuales el costo de instalación de equipos, de tuberías, de sistemas eléctricos, de instrumentos de control automático, de construcción de estructura de proceso, de construcción de oficinas, laboratorio y almacenes, de utilidades y servicios y preparación de terreno para construcción. Los valores se resumen en la tabla 51 excepto por f_m que se encuentra en la tabla 52. El costo de capital fijo se calcula con la siguiente expresión

$$C = \sum_{i=1}^{i=M} C_{e,i,cs} [(1 + f_p) f_m + (f_{er} + f_{el} + f_i + f_c + f_s + f_l)]$$

Tabla 52: Factores de instalación detallado

	Tipo de proceso		
	Fluidos	Fluidos y sólidos	Sólidos
1. Costo total de equipos principales	C_e	C_e	C_e
f_{er} Instalación de equipos	0.3	0.5	0.6
f_p Tuberías	0.8	0.6	0.2
f_i Instrumentación y control	0.3	0.3	0.2
f_{el} Eléctrico	0.2	0.2	0.15
f_c Civil	0.3	0.03	0.2
f_s Estructuras y construcciones	0.2	0.2	.01
f_l Acabados y pintura	0.1	0.1	0.05
Costos ISBL $C = \sum C_e \times$	3.3	3.2	2.5
OSBL	0.3	0.1	0.4
Ingeniería y diseño	0.3	0.25	0.2
Contingencia	0.1	0.1	0.1

Tabla 53: Factor de costo de material f_m

Material	f_m
Acero de carbono	1.0
Aluminio y bronce	1.07
Acero fundido	1.1
Acero inoxidable 304	1.3
Acero inoxidable 316	1.3
Acero inoxidable 321	1.5
Hastelloy C	1.55
Monel	1.65
Incolen y niquel	1.7

Puesto que equipos construidos con el método de estimación de costos de Sinnott detallados en las tablas 54, 55 y 56. corresponden a al costo de construcción del año 2008, es necesario calcular la corrección del costo respecto al CEPCI usando la siguiente expresión

$$C_{actual} = C_{en\ año\ n} * \frac{CEPSI\ 2008}{CEPSI\ 2024}$$

Donde el CEPCI del 2008 corresponde a 575.4 y del 2024 a 870.69 [48], [49]

Finalmente se considera el factor de localización, valor que se multiplica con el costo respecto al lugar de importación. Para Estados Unidos este valor corresponde a 1.17, para China es 1.9 y Europa 1.5. Los resultados obtenidos de las 3 tablas se observan en las siguientes tablas

Tabla 54: Costo total de planta de craqueo térmico

	Precio	Factor de ubicación	Factor de año	Factor de Lang	Factor de Hand	Factor detallado	Promedio
Almacenamiento aceite gastado	\$ 13,263.72	1.17	1.51	\$ 85,241.81	\$ 58,706.48	\$ 48,846.62	\$ 72,440.41
Decantador	\$ 4,800.00	1.9	1	\$ 43,228.80	\$ 22,800.00	\$ 6,460.00	\$ 25,961.60
Reactor	\$ 32,512.84	1.17	1.51	\$ 208,949.87	\$ 230,247.79	\$ 119,731.69	\$186,309.78
Almacenamiento de combustible	\$ 10,255.95	1.17	1.51	\$ 86,066.66	\$ 63,551.33	\$ 23,604.78	\$ 58,669.79
Condensador	\$ 2,000.00	1.5	1	\$ 14,220.00	\$ 7,500.00	\$ 3,900.00	\$ 29,113.93
Bomba 1	\$ 1,023.30	1.17	1.51	\$ 8,587.38	\$ 7,246.74	\$ 2,355.19	\$ 6,063.10
Bomba 2	\$ 927.74	1.9	1	\$ 8,355.25	\$ 7,050.84	\$ 2,291.52	\$ 5,899.20
Resistencias	\$ 414.00	1.9	1	\$ 2,855.36	\$ 3,146.40	\$ 1,022.58	\$ 2,341.45
Costo total							\$355,322.37

Tabla 55: Costo total de planta de craqueo usando biochar

	Precio	Factor de ubicación	Factor de año	Factor de Lang	Factor de Hand	Factor detallado	Promedio
Almacenamiento aceite gastado	\$ 13,263.72	1.17	1.51	\$ 96,085.97	\$ 66,174.91	\$ 55,060.36	\$ 72,440.41
Decantador	\$ 4,800.00	1.9	1	\$ 43,228.80	\$ 22,800.00	\$ 11,856.00	\$ 25,961.60
Reactor	\$ 32,512.84	1.17	1.51	\$ 208,949.87	\$ 230,247.79	\$ 119,731.69	\$186,309.78

Almacenamiento de combustible	\$ 10,255.95	1.17	1.51	\$ 97,691.39	\$ 51,524.99	\$ 26,793.00	\$ 58,669.79
Condensador	\$ 2,000.00	1.5	1	\$ 43,396.24	\$ 32,043.64	\$ 11,901.92	\$ 29,113.93
Bomba 1	\$ 1,023.30	1.17	1.51	\$ 8,587.38	\$ 7,246.74	\$ 2,355.19	\$ 6,063.10
Bomba 2	\$ 927,74	1.9	1	\$ 8,355.25	\$ 7,050.84	\$ 2,291.52	\$ 5,899.20
Resistencias	\$ 414.00	1.9	1	\$ 2,855.36	\$ 3,146.40	\$ 1,022.58	\$ 2,341.45
Costo total							\$ 386,799.28

Tabla 56: Costo total de planta de craqueo usando hidrochar

	Precio	Factor de ubicación	Factor de año	Factor de Lang	Factor de Hand	Factor detallado	Promedio
Almacenamiento aceite gastado	\$ 14,951.09	1.17	1.51	\$ 96,085.97	\$ 66,174.91	\$ 55,060.36	\$ 72,440.41
Decantador	\$ 3,400.00	1.9	1	\$ 30,620.40	\$ 16,150.00	\$ 8,398.00	\$ 18,389.47
Reactor	\$ 32,512.84	1.17	1.51	\$ 208,949.87	\$ 143,904.87	\$ 119,731.69	\$ 157,528.81
Almacenamiento de combustible	\$ 11,724.12	1.17	1.51	\$ 98,387.32	\$ 51,892.05	\$ 26,983.86	\$ 59,087.74
Condensador	\$ 6,103.55	1.5	1	\$ 43,396.24	\$ 32,043.64	\$ 11,901.92	\$ 29,113.93
Bomba 1	\$ 1,023.30	1.17	1.51	\$ 8,587.38	\$ 7,246.74	\$ 2,355.19	\$ 6,063.10
Bomba 2	\$ 927,74	1.9	1	\$ 8,355.25	\$ 7,050.84	\$ 2,291.52	\$ 5,899.20
Resistencias	\$ 414.00	1.9	1	\$ 2,855.36	\$ 1,966.50	\$ 1,022.58	\$ 1,948.15
Costo total							\$ 350,470.82

Finalmente, los costos OSBL, de contingencia y de ingeniería se calcularon respecto a los costos ISBL donde los costos OSBL corresponden al 20% de los costos ISBL, los costos de ingeniería al 7% de los costos ISBL y los de contingencia a un 12% de los costos ISBL. El costo final de la planta, así como los costos anteriormente explicados se observan en la tabla 3.

Estimación de capital de trabajo

Los costos de capital de trabajo se refieren al costo esencial para la puesta en operación de producción de la planta. Las condiciones y costos de capital de trabajo se observan en la tabla 57.

Tabla 57: Condiciones y costos de capital de trabajo

Condiciones de capital de trabajo	
Materias primas	Consumo de 1 semana de producción
Productos	Costo de 1 mes de producción
Liquidez	Costo de 15 días de producción
Crédito	Materia prima de 1 mes
Repuestos	1% ISBL + OSBL
Costos de capital de trabajo	
Materias primas	\$ 1,340.97
Productos	\$ 5,826.84
Liquidez	\$ 2,913.42
Crédito	\$ 54,427.85
Repuestos	\$ 4,309.85
TOTAL	\$ 68,818.93

Cálculo de TAC y ACC

El ACC se refiere al costo anual de pago de planta considerando el pago de interés in inversión inicial, este se calcula a partir del ACCR. Por otro lado, el TAC se calcula a partir del valor del ACC sobre el costo de la planta. La expresión para dicho calculo se observa a continuación

$$ACCR = \frac{[i(1+i)^n]}{[(1+i)^n - 1]}$$

Se considera un interés i del 10.5%, valor extraído del interés propuesto por el Banco de Pichincha-Ecuador en un periodo de años n que corresponde a los 10 años de vida útil de la planta. Mientras que el TAC se calcula con la siguiente expresión

$$TAC = \frac{\text{Costo planta}}{ACC} * 100\%$$

Los valores calculados para las tres plantas se resumen en la siguiente tabla

Tabla 58: Valor de TAC, ACCR, Costo total y anual de plantas

Costos de planta		Costo anual	Costo total	TAC
Térmico	\$ 572,148.09	\$ 95,123.81	\$ 951,238.09	0.16625732
Biochar	\$ 615,900.99	\$ 102,398.05	\$ 1,023,980.49	0.16625732
Hidrochar	\$ 565,404.44	\$ 94,002.63	\$ 940,026.27	0.16625732
ACCR	0.166257321			

Anexo E.3. Costos de producción

Para los costos de producción de las plantas se calcularon los costos variables y fijos. Dentro de los costos variables se considera el costo de las materias primas, mientras que en los costos fijos se encuentra el gasto energético y del personal de la planta.

Para los costos variables se considera el costo de los catalizadores en caso de ser necesario y del aceite gastado para corresponder a la producción requerida en cada uno de los casos. Puesto que estos son materia de comercio se calcula el valor total y el valor correspondientes al IVA del 15%; es decir, se calcula el IVA, el total y el subtotal, esto es importante ya que ayuda a calcular con precisión los impuestos de IVA pagados; estos valores se observan en la tabla A5.12. Por otro lado, para los costos fijos se calcula el costo de personal respondiendo a las especificaciones observadas en la tabla 58 y el costo energético total que se observa en la tabla 59.

Tabla 59: Costos de materias primas por año

Catalizadores				
	Cantidad (Kg)	SUBTOTAL	IVA	TOTAL

Térmico	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Biochar	\$ 7,054.47	\$ 1,581.75	\$ 237.26	\$ 1,819.02
Hidrochar	\$ 4,638.90	\$ 835.00	\$ 125.25	\$ 960.25
<i>Aceite gastado</i>				
	Cantidad (L)	SUBTOTAL	IVA	TOTAL
Térmico	1,250,000.000	\$ 489,130.43	\$ 73,369.57	\$ 562,500.00
Biochar	1,666,666.667	\$ 652,173.91	\$ 97,826.09	\$ 750,000.00
Hidrochar	1,666,666.667	\$ 652,173.91	\$ 97,826.09	\$ 750,000.00

Para el cálculo del costo total de trabajadores se consideró el costo del salario nocturno, pago del seguro IESS que corresponde al 17.60%, pago de décimo tercero y décimo cuarto según las normas estatales especificadas en el país. La planta contiene 2 trabajadores fijos permanentes encargados de la producción con un salario de \$460 mensuales; adicional, una secretaria y un vendedor, ambos con un salario de \$ 600 mensuales.

Tabla 60: Costos de trabajadores anuales

	Trabajadores básicos	Trabajadores nocturnos	Trabajadores especiales
Número de trabajadores	4	2	2
Salario Base (\$/mes)	1840.00	1150.00	1200.00
Décimo tercero (\$/mes)	38.33	47.92	50.00
Décimo cuarto (\$/mes)	38.33	47.92	50.00
Pago IESS (\$/mes)	275.37	172.11	179.59
Costo total mensual	\$ 5089.57		
Costo total anual	\$ 61,074.90		

Para el cálculo del costo energético total se debe tomar en consideración el consumo energético de resistencias y bombas. La energía en el distrito metropolitano de Quito tiene un costo de

Tabla 61: Calculo y costo energético total por año

Calentamiento reactor		
	KW	USD
Térmico	114,975.00	\$ 11,497.50
Biochar	153,300.00	\$ 15,330.00
Hidrochar	153,300.00	\$ 15,330.00
Bomba 01		
	KW	USD
Térmico	7.39	\$ 0.76
Biochar	9.86	\$ 0.99
Hidrochar	9.86	\$ 0.99
Bomba 2		
	KW	USD
Térmico	0.183	\$ 0.02
Biochar	0.243	\$ 0.02
Hidrochar	0.243	\$ 0.02

Anexo E.4. Flujo de caja, indicadores de viabilidad económica y análisis de sensibilidad

Para el desarrollo del flujo de caja se toma en cuenta los factores explicados en la tabla 62 para la producción paulatina.

Tabla 62: Detalle para flujo de caja para producción paulatina

Año	Detalles produccion paulatina	Detalle
1	30% capital fijo	Costos de artículos e ingeniería
2	50% capital fijo	Adquisición de equipos y construcción de planta
3	20% Capital Fijo +capital de trabajo + costo de producción fijo + 35% Costos de producción variable	Final de construcción, producción inicial y producción del 35%
4	Costo producción fijo + 70% de costo de producción variable	Incremento en producción de producción al 70%
5	Costo de producción fijo + variable	Producción máxima

Con dichas consideraciones se calcula el flujo de caja para cada una de las tres plantas. Los impuestos pagados son el IVA correspondiente al 15 % del total de ventas y recuperado del 15% de gastos (únicamente materia prima adquirida) y el SRI el cual esta tabulado para empresas con valores de 2% de ingresos gravados para emprendimientos o personas naturales que presenten ganancias inferiores a \$300,000 y 0% cuando estos ingresos son menores a \$10,000.

Tabla 63: Flujo de caja de planta de craqueo usando hidrochar

Capacidad	año	Producción (L)	Ganancias (\$K)	Gastos (\$K)	Beneficios brutos (\$K)	Depreciación (\$K)	Ingresos grabables (\$K)	Impuestos pagados (\$K)	Impuestos recuperados (\$K)	Flujo de Caja
0%	0	\$0.00	0.00	0.00	0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
0%	1	\$0.00	\$0.00	\$96.01	\$-96.01	\$60.00	\$-156.01	\$0.00	\$12.54	\$-83.47
0%	2	\$0.00	\$0.00	\$96.01	\$-96.01	\$60.00	\$-156.01	\$0.00	\$12.54	\$-83.47
35%	3	\$329.23	\$306.19	\$517.18	\$-211.00	\$60.00	\$-271.00	\$39.94	\$47.94	\$-202.99
70%	4	\$658.47	\$612.37	\$719.26	\$-106.88	\$60.00	\$-166.88	\$79.87	\$82.26	\$-104.50
100%	5	\$940.67	\$874.82	\$935.55	\$-60.73	\$60.00	\$-120.73	\$114.11	\$111.68	\$-63.15
100%	6	\$940.67	\$874.82	\$935.55	\$-60.73	\$60.00	\$-120.73	\$114.11	\$111.68	\$-63.15
100%	7	\$940.67	\$874.82	\$935.55	\$-60.73	\$60.00	\$-120.73	\$114.11	\$111.68	\$-63.15
100%	8	\$940.67	\$874.82	\$935.55	\$-60.73	\$60.00	\$-120.73	\$114.11	\$111.68	\$-63.15
100%	9	\$940.67	\$874.82	\$935.55	\$-60.73	\$60.00	\$-120.73	\$114.11	\$111.68	\$-63.15
100%	10	\$940.67	\$874.82	\$935.55	\$-60.73	\$60.00	\$-120.73	\$114.11	\$111.68	\$-63.15

Tabla 64: Flujo de caja de planta de craqueo usando biochar

Capacidad	año	Producción (L)	Ganancias (\$K)	Gastos (\$K)	Beneficios brutos(\$K)	Depreciación (\$K)	Ingresos grabables (\$K)	Impuestos pagados (\$K)	Impuestos recuperados (\$K)	Flujo de Caja(\$K)
0%	0	0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
0%	1	0.00	\$0.00	\$104.40	\$-104.40	\$60.01	\$-164.42	\$0.00	\$13.64	\$-90.77
0%	2	0.00	\$0.00	\$104.40	\$-104.40	\$60.01	\$-164.42	\$0.00	\$13.64	\$-90.77
35%	3	397.02	\$369.23	\$514.26	\$-145.04	\$60.01	\$-205.05	\$50.64	\$47.95	\$-147.73
70%	4	794.03	\$738.45	\$720.32	\$18.13	\$60.01	\$-41.88	\$93.97	\$82.27	\$6.43
100%	5	1134.33	\$1054.93	\$945.86	\$109.07	\$60.01	\$49.05	\$135.21	\$111.69	\$85.55
100%	6	1134.33	\$1054.93	\$944.80	\$110.13	\$60.01	\$50.11	\$135.23	\$111.69	\$86.59
100%	7	1134.33	\$1054.93	\$932.68	\$122.25	\$60.01	\$62.24	\$135.46	\$111.69	\$98.48
100%	8	1134.33	\$1054.93	\$932.68	\$122.25	\$60.01	\$62.24	\$135.46	\$111.69	\$98.48
100%	9	1134.33	\$1054.93	\$932.68	\$122.25	\$60.01	\$62.24	\$135.46	\$111.69	\$98.48
100%	10	1134.33	\$1054.93	\$932.68	\$122.25	\$60.01	\$62.24	\$135.46	\$111.69	\$98.48

Tabla 65: Flujo de caja de planta de craqueo térmico

Finalmente, para el cálculo del VAN y TIR se usaron las siguientes fórmulas

Capacidad	año	Producción (L)	Ganancias (\$K)	Gastos (\$K)	Beneficios brutos (\$K)	Depreciación (\$K)	Ingresos grabables (\$K)	Impuestos pagados (\$K)	Impuestos recuperados (\$K)	Flujo de Caja (\$K)
0%	0	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
0%	1	\$0.00	\$0.00	\$97.13	\$-97.13	\$56.32	\$-153.45	\$0.00	\$12.69	\$-84.44
0%	2	\$0.00	\$0.00	\$97.13	\$-97.13	\$56.32	\$-153.45	\$0.00	\$12.69	\$-84.44
35%	3	\$265.08	\$246.53	\$434.48	\$-187.95	\$56.32	\$-244.27	\$39.94	\$38.36	\$-189.53
70%	4	\$530.16	\$493.05	\$575.76	\$-82.71	\$56.32	\$-139.02	\$64.31	\$64.04	\$-82.98
100%	5	\$757.38	\$704.36	\$744.51	\$-40.15	\$56.32	\$-96.47	\$91.87	\$86.05	\$-45.97
100%	6	\$757.38	\$704.36	\$744.51	\$-40.15	\$56.32	\$-96.47	\$91.87	\$86.05	\$-45.97
100%	7	\$757.38	\$704.36	\$744.51	\$-40.15	\$56.32	\$-96.47	\$91.87	\$86.05	\$-45.97
100%	8	\$757.38	\$704.36	\$744.51	\$-40.15	\$56.32	\$-96.47	\$91.87	\$86.05	\$-45.97
100%	9	\$757.38	\$704.36	\$744.51	\$-40.15	\$56.32	\$-96.47	\$91.87	\$86.05	\$-45.97
100%	10	\$757.38	\$704.36	\$744.51	\$-40.15	\$56.32	\$-96.47	\$91.87	\$86.05	\$-45.97

$$VAN = \sum_{i=0}^n \frac{F * Ci}{(1 + r)^i}$$

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1 + i)^n}$$

Los resultados se observan en la tabla 6.

Finalmente, los resultados del análisis de sensibilidad se observan a continuación

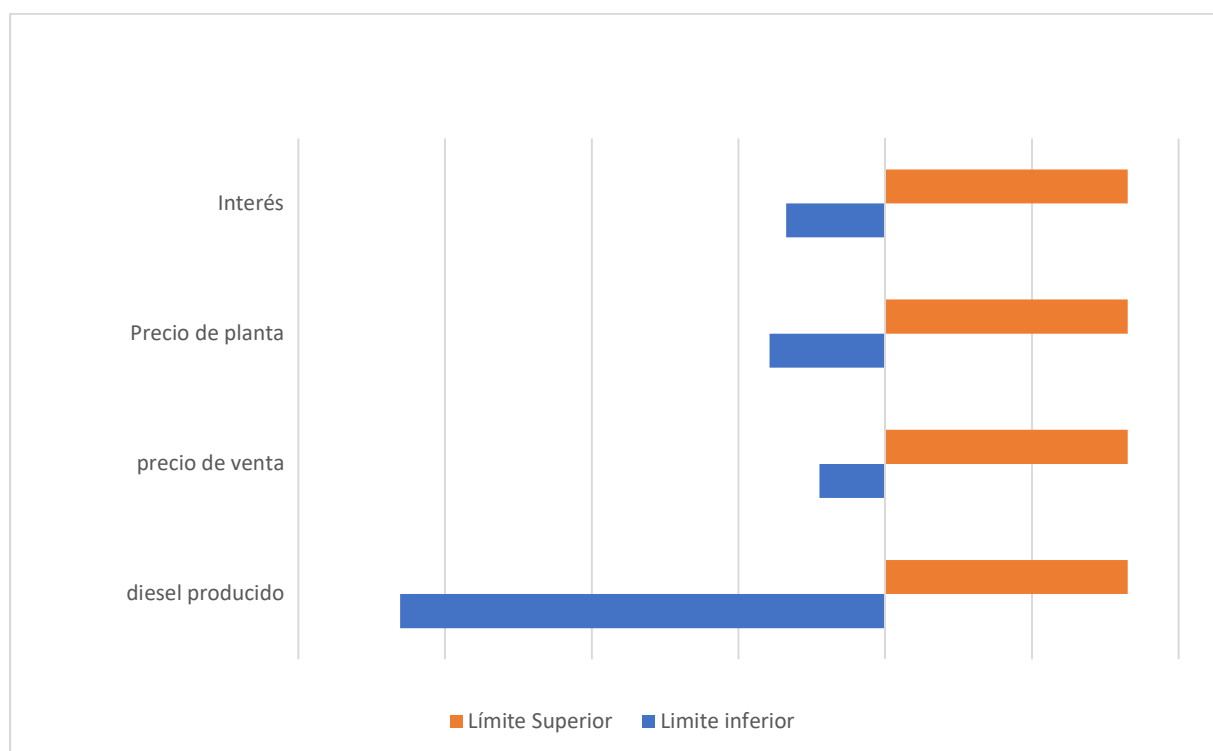


Figura 9: análisis de sensibilidad en planta de craqueo usando biochar como catalizador

Tabla 66: Análisis de sensibilidad sobre planta craqueo de aceite gastado usando biochar

		Variaciones	VAN
Producción	Variación	1034333.333	\$ -164,150.63
	Ideal	1134333.333	\$ 165,272.12
Precio de venta	Variación	\$0.90	\$ 44,731.73
	Ideal	\$0.93	\$ 165,272.12

Precio planta	Variación	\$715,900.99	\$ 79,011.61
	Ideal	\$615,900.99	\$ 165,272.12
Interés	Variación	13	\$ 67,446.24
	Ideal	0.11	\$ 165,272.12

