

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Evaluación técnico-económica de un sistema de tratamiento y recirculación de las aguas residuales provenientes del taller automotriz Mazda Servi Toro ubicado en la ciudad de Bucaramanga

Brahiam David López Cárdenas y Gabriela Muñoz Toro

Trabajo de Grado para Optar por el título de Ingeniero Químico

Modalidad investigación

Director

Giovanni Morales Medina

Doctor en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2022

Tabla de contenido

Introducción	11
1. Objetivos	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos	13
2. Marco Conceptual	14
2.1 Actividades Y Servicios Prestados En Mazda Servi Toro	14
2.2 Parámetros fisicoquímicos para tener en cuenta	14
2.3 Legislación Colombiana Sobre Los Efluentes De Agua Residual	15
2.4 Descripción del Tratamiento Convencional	16
2.4.1 Tamiz	16
2.4.2 Trampa de grasas	16
2.4.3 Sistema de bombeo	16
2.4.4 Coagulación-Floculación química	16
2.4.5 Filtración	17
2.4.6 Tanque de almacenamiento final	18
2.5 Tratamiento de agua por electrocoagulación	18
2.5.1 Número de electrodos	18
2.5.2 Consumo y potencia eléctrica	19

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

2.5.3	Fuente de poder de alta potencia ajustable	19
2.6	Sistema de recirculación.....	19
2.6.1	Tuberías y accesorios.....	20
2.7	Parámetros económicos.....	20
2.7.1	Costos de inversión.....	20
2.7.2	Costos de Operación	20
2.7.3	Tasa de descuento	20
2.7.4	Valor presente neto (VPN).....	21
2.7.5	Tasa interna de retorno (TIR)	21
3.	Estado Del Arte.....	22
4.	Metodología	24
4.1	Fase I. Análisis fisicoquímicos de las aguas residuales a tratar.	25
4.2	Fase II. Evaluación técnica de los sistemas de tratamiento de agua residual.	25
4.3	Fase III. Evaluación económica de los sistemas propuestos.....	25
5.	Resultados	26
5.1	Análisis Fisicoquímicos de las Aguas Residuales de Mazda Servi Toro....	26
5.2	Determinación y Dosis Óptima de Coagulante	27
5.3	Parámetros de Diseño.....	28
5.3.1	Área disponible	28
5.3.2	Caudal	28

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

5.4	Diseño Alternativa 1. Tratamiento convencional.....	29
5.4.1	Rejilla.....	29
5.4.2	Trampa de Grasas	30
5.4.3	Sistema de Bombeo.....	30
5.4.4	Tanque de Tratamiento Primario y agitador	31
5.4.5	Filtración	32
5.4.6	Tanque almacenamiento final	33
5.4.7	Comparación de resultados obtenidos en la Alternativa 1 con reportes de la literatura	33
5.5	Diseño Alternativa 2. Tratamiento electroquímico	34
5.5.1	Comparación de resultados obtenidos en la Alternativa 2 con reportes de la literatura	36
5.6	Sistema de Recirculación de Agua.....	37
5.7	Sistema de Tubería y Accesorios	37
5.8	Resumen técnico de las alternativas de tratamiento propuestas.....	38
5.9	Evaluación económica de los sistemas de tratamiento y recirculación.....	39
5.9.1	Ingresos	39
5.9.2	Costos de inversión	39
5.9.3	Costos de Operación	40
5.9.4	Tasa Mínima Atractiva de Retorno.....	40

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

5.9.5	Tasa de descuento	41
5.9.6	Flujos de caja.	41
5.9.7	Evaluación económica	43
5.9.8	Análisis de sensibilidad.....	44
6.	Conclusiones	46
7.	Recomendaciones	47
	Referencias Bibliográficas	48
	Apéndices.....	51

Lista de tablas

Tabla 1 Parámetros fisicoquímicos a tener en cuenta	15
Tabla 2 Valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado público según la normativa colombiana	15
Tabla 3 Resultados de los análisis fisicoquímicos de las aguas residuales de Mazda Servi Toro.....	27
Tabla 4 Resultados obtenidos en las pruebas de jarras para la dosis óptima de coagulante.	28
Tabla 5 Dimensiones del desbaste de rejillas.....	30
Tabla 6 Datos generales de las bombas presentes.....	31
Tabla 7 Dimensiones del tanque de agitación.....	31
Tabla 8 Comparación resultados de la alternativa convencional con reportes de literatura.	33
Tabla 9 Dimensiones y propiedades del reactor electroquímico	35
Tabla 10 Comparativa con el sistema electroquímico diseñado por Flores Malca, (2015)	36
Tabla 11 Características del sistema de recirculación para las dos alternativas.	37
Tabla 12 Descripción de las secciones de tubería.....	37
Tabla 13 Resumen técnico de las alternativas de tratamiento propuestas	38
Tabla 14 Costos de capital CAPEX en \$ pesos m.c para los sistemas propuestos	40
Tabla 15 Costos de operación OPEX en \$ pesos m.c para las alternativas propuestas ...	40
Tabla 16 Estado de resultados de la evaluación económica de las alternativas propuestas.	43

Lista de figuras

Figura 1 Diagrama de flujo general de la metodología empleada en el proyecto.	26
Figura 2 Remoción de turbidez Vs Dosis de coagulante	28
Figura 3 Vista 3D del sistema convencional	30
Figura 4 Esquema 3D del tratamiento electroquímico.	35
Figura <i>Esquema de ingresos y egresos para las alternativas 1 y 2</i>	41
Figura 6 Esquema de flujo efectivos netos para las alternativas 1 y 2	42
Figura 7 Sensibilidad del precio del agua potable, m ³	44
Figura 8 Sensibilidad precio de la energía, kW/h	45

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Lista de apéndices

Apéndice A Datos relevantes del establecimiento Mazda Servi Toro	51
Apéndice B Análisis fisicoquímico de las aguas residuales a tratar	58
Apéndice C Dimensionamiento de las alternativas propuestas	68
Apéndice D Evaluación económica.....	87

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Resumen

Título: Evaluación técnico-económica de un sistema de tratamiento y recirculación de las aguas residuales provenientes del taller Mazda Servi Toro de la ciudad de Bucaramanga.

Autor(es): Brahiam David López Cárdenas y Gabriela Muñoz Toro

Palabras Clave: Tratamiento de aguas, Taller automotriz, aguas residuales, evaluación técnico-económica.

Descripción:

Las actividades realizadas en los talleres automotrices y lavaderos de vehículos generan residuos sólidos y efluentes con un contenido de aceites y sólidos importante que pueden afectar al medio ambiente de no ser tratados con anticipación. Ante esta problemática, se realizó el siguiente trabajo con el fin de determinar la viabilidad de una hipotética instalación de un sistema de tratamiento y recirculación para los efluentes generados en el taller automotriz Mazda Servi ubicado en la ciudad de Bucaramanga. Inicialmente se realizó el muestro del agua del establecimiento con el fin de realizar la caracterización de las propiedades fisicoquímicas más importantes, dichos resultados permitieron identificar el estado del agua a tratar y proponer dos alternativas de tratamiento, las cuales consisten primeramente en un tratamiento convencional basado principalmente en el proceso de coagulación y floculación química, y como segunda alternativa, un tratamiento basado en el principio de electrocoagulación. Ambos fueron diseñados con base en el caudal promedio que se genera en el taller, considerando un factor de sobre diseño del 25% para evitar sobrecargos. Para la evaluación económica se calcularon los Costos de Inversión (CAPEX), y de Operación (OPEX) para las alternativas, y posteriormente, se calcularon los indicadores económicos de Valor Presente Neto (VPN), y la Tasa Interna de Retorno (TIR); indicadores que determinaron la viabilidad de cada uno de los tratamientos. Aunque las dos opciones son efectivas para la remoción de la mayoría de los contaminantes presentes en el efluente, y garantizan una calidad de agua adecuada para su reúso o correcto vertimiento, debido al bajo consumo de agua del establecimiento en cuestión, solo la alternativa 1 resulto siendo viable económicamente.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: PhD. Giovanni Morales Medina.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Abstract

Title: Technical-economic evaluation of a wastewater treatment and recirculation system for the wastewater from the Mazda Servi Toro workshop located in the city of Bucaramanga. *

Author(s): Brahiam David López Cárdenas, Gabriela Muñoz Toro. **

Keywords: Water treatment, automotive workshop, wastewater, technical-economic evaluation.

Description:

The activities carried out in automotive workshops and car washes generate solid waste and effluents with a significant content of oils and solids that can affect the environment if they are not treated beforehand. In view of this problem, the following work was carried out to determine the feasibility of a hypothetical installation of a treatment and recirculation system for the effluents generated in the Mazda Servi automotive workshop located in the city of Bucaramanga. Initially, the water was sampled to characterize the most relevant physicochemical properties. These results made it possible to identify the state of the water to be treated, and to propose treatment alternatives, which consist first of a conventional treatment based mainly on the coagulation and chemical flocculation processes, and as the second alternative, a treatment based on the principle of electrocoagulation, both were designed based on the average Flow generated in the workshop, considering an overdesign factor of 30% to avoid overloads.

For the economic evaluation, the investment, and operating costs (CAPEX and OPEX) were calculated for both alternatives; and subsequently the economic indicators of Net Present Value (NPV) and the Internal Rate of Return (IRR) were calculated to determine the viability of each of the treatments. Although the two options are effective for the removal of most of the pollutants present in the effluent and guarantee an adequate water quality for its reuse and the proper discharge, the results showed that only the first alternative was economically viable.

* Degree work

** Physic mechanical Engineering Faculty. School of Chemical Engineering. Director: PhD.

Introducción

El agua es un elemento esencial para el desarrollo de la vida y las actividades humanas, Según las naciones unidas, alrededor del 3 % del agua del mundo es potable, y de esta el 2,5% está en los polos y glaciares, esto quiere decir que tan solo el 0,5% está disponible para las necesidades el ecosistema y del ser humano. De acuerdo con la (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, 2017) más del 80% de las aguas residuales son vertidas al medio ambiente sin un tratamiento previo. El ministerio de ambiente y desarrollo sostenible expidió en el año 2019 la Resolución 631 que modifica el decreto 1594 de 1984 y actualmente establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deben cumplir quienes realicen vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficies y a los sistemas de alcantarillado público. Para el año 2022, en Colombia se alcanzó un nivel de saneamiento de las aguas residuales municipales del 54,30% y se espera que para el 2030 se logre alcanzar un 68,6% de tratamiento de vertimientos.

Se estima que existen alrededor de 28.000 talleres automotrices y más de 3000 concesionarios registrados legalmente en Colombia según Confecámaras. Las actividades realizadas por el sector automotriz requieren de grandes volúmenes de lubricantes, detergentes de lavado, grasas, refrigerantes y otros líquidos usados en motores (Padilla et al., 2018). Claro, (2009), también afirma que la inadecuada eliminación y los derrames de aceites de motor gastado que tienen contacto directo con el agua ocasiona que los efluentes líquidos provenientes de los talleres automotrices, por su alto contenido de aceites lubricantes y grasas en su composición, puedan no solo generar contaminación hídrica sino también causar daños a la salud pública y la obstrucción de las tuberías de aguas residuales, si se liberan sin tratamiento previo al sistema de alcantarillado público.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Considerando el impacto ambiental que generan las aguas residuales de los talleres automotrices, se debe aplicar un tratamiento a estas aguas antes de su vertimiento; alcanzando lo dispuesto en el artículo 16 de la Resolución 631, del año 2015, el cual hace referencia a los valores máximos admisibles para la disposición de aguas no- domesticas a los sistemas públicos de saneamiento. Una alternativa para estas aguas residuales corresponde a la instalación y operación de plantas de tratamiento (PTAR); sin embargo, debido a los flujos relativamente bajos de agua y al capital requerido para estas PTAR, la instalación puede ser no factible desde el punto de vista económico.

Contemplando lo anterior, este proyecto de investigación está dirigido al análisis de viabilidad técnico-económica para dos sistemas que pueden ser aplicados en el tratamiento y reutilización de las aguas generadas en los talleres automotrices, con enfoque principal en el taller automotriz ubicado en el taller Mazda Servi Toro. Con el desarrollo de este proyecto se determinará el proceso con mejor viabilidad, que conduzca al cumplimiento de los parámetros reglamentarios. Por consiguiente, se plantea la siguiente pregunta de investigación, ¿cuál proceso de purificación de aguas residuales reporta la mejor factibilidad técnica y económica para el tratamiento y recirculación de las aguas residuales del establecimiento Mazda Servi Toro, de la ciudad de Bucaramanga?

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

- Evaluar técnica y económicamente la implementación de un sistema de tratamiento y recirculación de las aguas residuales del taller Mazda Servi Toro, ubicado en la ciudad de Bucaramanga.

1.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un diagnóstico del cumplimiento de los parámetros de la Resolución 631, por medio de la aplicación de un análisis fisicoquímico a las aguas residuales que se producen en el taller automotriz, estableciendo los parámetros de entrada para los dos sistemas propuestos.
- Definir las dimensiones y las variables de operación de los equipos para dos sistemas de tratamiento y recirculación, según las ecuaciones de balance y las expresiones semi empíricas reportadas en la literatura, definiendo los desempeños y los valores requeridos para la evaluación económica.
- Evaluar económicamente la implementación de los sistemas de tratamiento y recirculación de agua diseñados, definiendo su viabilidad de aplicación y el proceso con mayor rentabilidad para el taller automotriz.

2. Marco Conceptual

2.1 Actividades Y Servicios Prestados En Mazda Servi Toro

Mazda Servi Toro se encuentra ubicado en el área metropolitana de Bucaramanga. Sus zonas internas corresponden a; recepción de vehículos, zona de trabajo, bodega, zona de lavado, oficina, cuarto de herramientas, y zona de latonería y pintura, las cuales son detalladas en los anexos. En promedio, el taller atiende 268 vehículos al mes laborando de lunes a sábado de 7 am a 12 pm y de 2 pm a 7 pm. En la tabla 2, se muestran los servicios que presta el establecimiento y el tipo de vehículos que ingresan al taller para su mantenimiento. En promedio, son ingresados al mes es de 268 vehículos que requieren mantenimiento general y la cantidad estimada de agua residual corresponde a 40 metros cúbicos por mes, además en promedio se generan mensualmente 80 galones de aceite residual. Las actividades que generan más contaminación hídrica en el lugar son el aseo general, lavado de partes y herramientas, y la rectificación de motor y caja, en dichas actividades es donde se produce más contaminación hídrica, en el anexo A, se muestran los tipos de vehículos ingresados, el servicio prestado y el diagrama del proceso general de rectificación de motor. La empresa cuenta con una trampa de grasas situada después del punto de lavado y aunque funciona correctamente, su efluente no es apto para el correcto vertimiento en el alcantarillado.

2.2 Parámetros fisicoquímicos para tener en cuenta

Según (Romero Rojas, 2000, p. 81) en la industria automotriz, los parámetros de mayor importancia a caracterizar son: DBO; sólidos suspendidos totales, grasas y aceites y metales como el cromo, fosfato, cianuros, cobre, níquel, hierro, zinc, fenoles. De los mencionados se tuvieron en consideración para el análisis fisicoquímico comprendido en la fase 1, los parámetros de DQO, turbidez, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Tabla 1*Parámetros fisicoquímicos a tener en cuenta*

Descripción	Definición	Fuente
Turbidez	Es una medida del grado de penetración de la luz en el agua o falta de transparencia del agua gracias a la presencia de partículas extrañas.”	(Creus Solé, 2000, p. 346)
pH	Es una medida de la acidez o alcalinidad del agua con compuestos químicos disueltos expresada como el logaritmo de la inversa de la concentración del ion H ⁺ en moles/ litro	(Creus Solé, 2000, p. 350)
Sólidos totales	Corresponden residual el resultado de la evaporación y secado a una temperatura de 103- 105°C	(Romero Rojas, 2000, p. 68)
Aceites y grasas	Se determina en el laboratorio mediante la extracción de todo el material soluble en un solvente orgánico tal como el hexano. Los resultados son reportados como mg/L de MEH (material extraíble en hexano).	(Barrenechea Martel, 2018, p. 16)
Demanda química de oxígeno DQO	Es la cantidad requerida de oxígeno para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua, bajo las condiciones adecuadas de temperatura y tiempo. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes, se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata.	(Romero Rojas, 2000, p. 54)

2.3 Legislación Colombiana Sobre Los Efluentes De Agua Residual

De acuerdo con la resolución 631 del artículo 16 del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible del año 2015, los efluentes de actividades no domésticas diferentes a las contempladas en los capítulos V y VI, que son vertidos a la red de alcantarillado deben cumplir con los siguientes valores, de no ser así, se estaría incumpliendo con la normativa. Dichos valores son presentados a continuación.

Tabla 2

Valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado público según la normativa colombiana

Parámetro	Unidad	Valor máximo permisible
Demanda biológica de oxígeno	mg O ₂ /L	75
Demanda química de oxígeno	mg O ₂ /L	225
Sólidos totales	mg/L	75
Aceites y grasas	mg/L	15

pH

-

5 - 9

Nota. Adaptado de (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015)

2.4 Descripción del Tratamiento Convencional

2.4.1 Tamiz

Hacen parte del pretratamiento inicial que se debe realizar para evitar el paso de sólidos con un alto tamaño de partícula por etapas posteriores y que puedan obstruir equipos posteriores la bomba. El diseño consiste en una fosa rectangular instalada con un tamiz metálico y se sugiere que esté ubicado aguas arriba del sistema de bombeo.

2.4.2 Trampa de grasas

La trampa de grasas consiste en una fosa séptica que está diseñada para interceptar las grasas y/o aceites presentes en el agua después de haber pasado por la rejilla, este efluente es dirigido hacia el tanque de almacenamiento que está ubicado justo después de la trampa de grasas, esto con el fin de mantener el efluente de la trampa listo para ser tratado cuando se ponga en marcha la bomba.

2.4.3 Sistema de bombeo

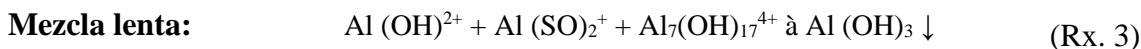
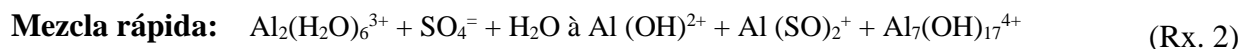
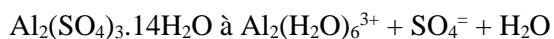
Para el correcto funcionamiento del sistema de tratamiento, se requiere la instalación de bombas que impulsen el efluente de la trampa de grasas hacia el tanque de tratamiento primario, a la etapa de filtración y finalmente hacia el tanque de almacenamiento final.

2.4.4 Coagulación-Floculación química

En esta etapa ocurren 3 procesos importantes, la coagulación o mezcla rápida, donde se añade el agente químico que desestabiliza las cargas de las partículas contaminantes presentes en el agua; la floculación que se da por medio de una agitación lenta que permite la coalescencia de las partículas coaguladas formando flóculos, y por último la sedimentación por efecto de la

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

gravedad. Cuando la dosis de agente coagulante (Sulfato de Aluminio) es alta (> a 30 ppm) y el pH esta entre 6 y 8, se forma un precipitado de $Al(OH)_3$. Las reacciones generales que ocurren en el proceso de coagulación son descritas por (Romero Rojas, 1999) como:



Con base en las recomendaciones de (Romero Rojas, 1999), las siguientes relaciones que son necesarias para el cálculo de las dimensiones del tanque mezclador y la elección del mejor agitador:

$$2,7 \leq \frac{H}{d} \leq 3,7 \text{ y } 0,75 \leq \frac{h}{d} \leq 1,3 \quad (Ec. 1)$$

$$(Ec. 2)$$

Donde H: altura del tanque, [m]. H: distancia entre las propelas y el fondo del tanque, [m].
d: diámetro del agitador, [m]

2.4.5 Filtración

La etapa de filtración consta de un filtro de doble cama que filtrar remueve los contaminantes provenientes del efluente del tanque de tratamiento primario, el tanque del filtro está hecho de fibra de vidrio y una cubierta interior de polietileno. El agua entra al filtro por la parte superior en donde se encuentra la válvula de control que permite que el agua fluya en dirección descendente a través de la cama filtrante. El agua filtrada es recolectada por medio de un difusor ubicado en la parte inferior del tanque que dirige el agua por medio de un tubo centrado de PVC que conecta el difusor inferior con la válvula de control al tanque de almacenamiento final.

2.4.5.1 Medio Filtrante. Está compuesto de una cama de antracita colocada sobre una cama de arena sílica y un soporte de grava, este arreglo brinda una mayor eficiencia de filtración comparado con los filtros convencionales de arena, ya

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

que estos filtros tienen una mayor capacidad de retención de sólidos. Las propiedades del medio filtrante son detalladas en los anexos.

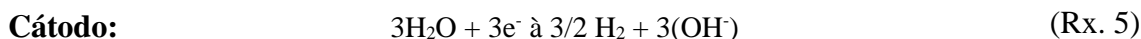
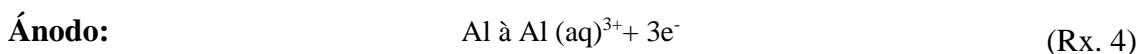
2.4.5.2 Retro lavado. En esta operación se extraen los contaminantes acumulados por el medio filtrante, y se realiza invirtiendo el sentido del flujo de agua con el fin de expandir la cama de modo que el nivel de esta quede a una altura media de la parte recta del tanque sin llegar a la parte superior. El modo de retro lavado se realiza bombeando agua desde tanque de almacenamiento final hacia el filtro en sentido ascendente empleando un caudal específico.

2.4.6 Tanque de almacenamiento final

Con el objetivo de reutilizar el agua tratada cada día, es necesario la instalación de un tanque de almacenamiento ubicado justo después del filtro y a 5 metros sobre el nivel del piso con el fin de aprovechar el flujo por gravedad para su recirculación.

2.5 Tratamiento de agua por electrocoagulación

Cuando se conectan a una fuente de poder, se producen cationes metálicos in situ que actúan como un agente coagulante en lugar de dosificar este externamente, estos iones generados se hidrolizan para formar hidroxilos y poli hidroxilos, adicionalmente se forman burbujas de gas que se forman debido a la electrolisis provocan la flotación de los contaminantes (Barrera, 2014, p. 168). Las principales reacciones que ocurren durante el tratamiento por electrocoagulación son:



2.5.1 Número de electrodos

De acuerdo con Chen, (2004), los electrodos de aluminio son los más comúnmente utilizados a su alta eficiencia en la autogeneración de agentes coagulantes además de su bajo costo.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

El número de electrodos se calcula mediante la siguiente expresión encontrada en Arango Ruiz & Garcés Giraldo, (2007):

$$\frac{(\text{Ancho de celda}) - 2 * (\text{distancia de los electrodos a la cara lateral})}{(\text{Distancia maxima electrodos} + \text{Espesor de la placa})} \quad (\text{Ec. 3})$$

2.5.2 Consumo y potencia eléctrica

La cantidad de corriente eléctrica que ha de pasar por los electrodos de aluminio determinará el número de iones de Al^{3+} que serán liberados por los electrodos, la masa equivalente electroquímica es de 335.6 mg/Ah. Debido a la posibilidad de perder energía por el calentamiento del agua, por aplicación innecesaria de corriente eléctrica, se recomienda una aplicación de 20-25 A/m² (Barrera, 2014). De acuerdo con la ley de watt, la potencia que consumirá el sistema electroquímico es:

$$P = I * V \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde: P: consumo eléctrico [W]; V: Voltaje [V]; I: intensidad de la corriente aplicada [A]

2.5.3 Fuente de poder de alta potencia ajustable

El suministro de potencia que requiere los electrodos de aluminio para realizar el proceso electroquímico requiere de valores de voltaje y amperaje determinados, siendo estos de 330 V y 20,2 A, esto se logra gracias a la instalación de un rectificador quien convierte la corriente alterna en continua, y debido a esto se logra regular estos valores.

2.6 Sistema de recirculación

El principal objetivo del tratamiento del efluente del taller es reutilizar dichas aguas para el aprovechamiento en el taller, por eso es necesario instalar un sistema de recirculación que lleve el agua hasta los diferentes baños, aprovechando que el tanque de almacenamiento final se

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

encuentra a 5 metros del nivel de piso, la gravedad será quien impulse el flujo de agua a través de la tubería.

2.6.1 Tuberías y accesorios

Las tuberías utilizadas para el transporte del efluente hacia los diferentes equipos de procesos serán de PVC RDE 21 y están divididas en 5 secciones diferentes las cuales son descritas en el apartado de resultados.

2.7 Parámetros económicos

2.7.1 Costos de inversión

Los costos de inversión también llamados costos de capital CAPEX, en ingles Capital Expenditure, se determinaron teniendo en cuenta los costos de inversión fijos (equipos y obras civiles) y diferidos (montaje e instalación) para las dos alternativas, así como el capital de operación con el que se debe contar para la operación a corto plazo.

2.7.2 Costos de Operación

Los costos de operación OPEX, denominados en inglés como Operational Expenditure son los desembolsos relacionados al buen funcionamiento del proyecto, y tienen en cuenta, el mantenimiento de equipos, consumo de agua y energía eléctrica reflejado en el pago de servicios públicos, y otros gastos fijos en cada periodo.

2.7.3 Tasa de descuento

Como se tienen diferentes fuentes de financiamiento, la tasa de descuento debe calcularse como el promedio ponderado de las aportaciones porcentuales y TMAR exigidas en forma individual. Teniendo en cuenta lo anterior, la tasa de descuento es conocida en la práctica como el costo de capital promedio ponderado por sus siglas WACC, y representa el costo promedio de

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

todas las fuentes de fondos (acciones y deuda) (García, 2008, p. 5). El WACC fue calculado mediante la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{WACC} &= (\% \text{ de recursos ajeno})(\text{coste}) + (\% \text{ de recursos propios})(\text{coste}) \\ \text{WACC} &= (\%D) [i_d (1 - t)] + (\%CP)(i_{CP}) \end{aligned} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde: %D: porcentaje de deuda sobre financiamiento. i_d : tasa de interés del préstamo. t : nivel impositivo. %CP: porcentaje de capital sobre financiamiento. i_{CP} : tasa mínima atractiva de retorno o TMAR

2.7.4 Valor presente neto (VPN)

Corresponde a la suma de los flujos descontados en el presente restando la inversión inicial. Para calcular el VPN se utiliza el costo de capital WACC, mediante la siguiente expresión:

$$\text{VPN} = -P + \sum \frac{\text{FNE}_n}{(1 + \text{WACC})^n} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde: P: inversión inicial; N: Periodo de capitalización; FNE: Flujo neto de efectivo; WACC: Tasa de descuento o costo de capital

Los criterios de evaluación son: si $\text{VPN} \geq 0$, acepte la inversión; si $\text{VPN} < 0$, recházela.

2.7.5 Tasa interna de retorno (TIR)

Es la tasa de rendimiento generada en su totalidad por un proyecto o empresa, matemáticamente equivale a la tasa de descuento por la cual la VPN es igual a cero. Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión. El criterio de aceptación empleando este indicador es, si el valor de esta es mayor que la TMAR, acepte la inversión; esto quiere decir que el rendimiento del proyecto es mayor que el mínimo aceptado por el inversionista.

$$\text{VPN} = -P + \sum \frac{\text{FNE}_n}{(1 + \text{TIR})^n} = 0 \quad (\text{Ec. 7})$$

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Donde: P: inversión inicial; N: Periodo de capitalización; FNE: Flujo neto de efectivo; TIR: tasa interna de retorno

3. Estado Del Arte

Zareth *et al.*, (2020) determinaron los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales provenientes de un lavadero de autobuses y camiones en el área metropolitana de Bucaramanga, en donde se realizó el muestreo durante 4 horas de lavado y se propuso un proceso fisicoquímico mediante la realización del ensayo de jarras o Jar Test para simular el proceso de coagulación-floculación para el cual se empleó como agente coagulante el policloruro de aluminio (PAC). Además del proceso 1, se diseñó un proceso que consistió en una unidad de aireación con un soplador de 0,5 HP que suministra el aire a una tubería con difusores de burbujas finas, que transfieren el oxígeno al agua. Para determinar la capacidad de remoción, se realizó una prueba de jarras posterior a los dos procesos propuestos; sin embargo, los resultados a la salida del proceso 1, no fueron satisfactorios ya que presentaron valores de superiores a la norma que es de 75 mg/L de DBO; a diferencia del proceso 2 cuyos resultados mostraron un mejor rendimiento, ya que se logró cumplir la norma de manera satisfactoria tanto para la DBO como para la DBO5. Pese a que se logró cumplir con el objetivo principal, el trabajo no tuvo en cuenta las condiciones de operación para los dos procesos presentados.

Tavera García & Torres Burgos, (2015) formularon las bases para implementar un sistema de tratamiento y recirculación de agua residual dirigida a los lavaderos de vehículos en la ciudad de Bogotá, con enfoque particular en el lavadero de vehículos “Los Ángeles” ubicado en el sector de Kennedy, allí se evidencio la falta de conocimiento relacionada con el impacto ambiental que puede conllevar malas prácticas en la disposición de los residuos tanto líquidos como solidos que se puedan producir, así como el beneficio que traería el implementar un sistema de recirculación

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

del agua para así reducir los niveles de contaminación del efluente que es vertido al alcantarillado al igual que los costos del servicio de agua que se verían considerablemente reducidos. El sistema comprende un pretratamiento que consta de las rejillas desarenadores en donde se separan los sólidos flotantes de mayor tamaño, seguido de la trampa de grasas y lodos, cuyo objetivo es separar las grasas que bajan por las rejillas desarenadoras, seguido de una bomba sumergible que impulsa el agua residual hacia el tanque clarificador, en esta etapa del sistema se dosifica los agentes químicos que para el lavadero fueron definidos como el Aspre, Clorox, y Silicona. En el tanque clarificador se realiza el proceso de sedimentación, con el propósito de producir un efluente homogéneo capaz de ser recirculado, y unos lodos que son dispuestos para ser tratados por separado. Por último, se diseñó un sistema de filtración compuesto de un filtro pulidor de arena y grava sílice que retiene impurezas hasta de 5 micras, y un filtro desodorizador y controlador de espuma con un material filtrante de antracita y carbón activado, el cual retiene los compuestos que puedan generar mal olor. Con este estudio se incentivó positivamente al sector de lavado de vehículos, para que adapten estas prácticas en el manejo de los residuos. No obstante, aunque los autores proponen un modelo aplicable para el sector automotriz, en el trabajo no se evidencia cual es el mantenimiento que se debe realizar al sistema para que el sistema opere de manera correcta y los equipos no presenten complicaciones, ni un registro de ejecución de mantenimiento del sistema.

Dalabona, (2012), desarrollo su investigación con el fin de determinar el tratamiento fisicoquímico más eficaz para un taller automotriz en donde se reparan los motores de vehículos livianos en la región de Passo Fundo en Brasil, como primera fase se caracterizó el efluente crudo, a través de la evaluación de parámetros como el pH, turbidez, temperatura, surfactantes, aceites y grasas, fosforo, solidos suspendidos totales y demanda química de oxígeno. En el apéndice A se

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

muestran los resultados obtenidos a partir de la caracterización fisicoquímica. Los resultados obtenidos a partir de la caracterización se encontraban por fuera de lo establecido por la normativa en la región, con base a estos parámetros se desarrolló la segunda etapa en la que Dalabona aplicó la prueba de jarras a la muestra de agua obtenida, para tres concentraciones diferentes P1 P2 y P3, mediante el proceso de coagulación y floculación con 11 diferentes tipos de coagulantes; esto con el fin de reportar con cual se obtiene las mejores condiciones después del ensayo. Para los experimentos se definió una mezcla rápida de 120 rpm durante 2 minutos, y luego se redujo la agitación hasta 20 rpm durante 15 minutos. Luego del ensayo de jarras aplicado para los 11 coagulantes, se identificó que la concentración P2 presento los mejores resultados de remoción en todos los experimentos, y se determinó el mejor agente coagulante midiendo la remoción de la DQO a través del análisis estadístico de la prueba de Tukey, se observó que fue posible remover más del 50% de la DQO inicial en todos los experimentos y se identificó que los experimentos 6,8 y 12 (cuyo ingrediente activo fue el Óxido de hierro proveniente de dos fabricantes distintos) reportaban las mayores remociones de DQO, y sus porcentajes de remoción fueron 84,4%, 85% y 85,2% respectivamente. Realizando un análisis más detallado, se encontró que el experimento 6 fue identificado como el de mayor reducción para la mayoría de los parámetros, variando de 74 a 99%. A pesar de que se demostró la eficacia del tratamiento, aún sigue siendo necesario un tratamiento adicional, así como realizar un muestreo compuesto que logre una muestra más representativa del efluente.

4. Metodología

Para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos propuestos, se definió una metodología de trabajo que consta de tres fases;

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

4.1 Fase I. Análisis fisicoquímicos de las aguas residuales a tratar.

Corresponde a la caracterización de los parámetros más importantes. Esta primera fase del proyecto esta segmentada en tres actividades importantes:

La primera actividad corresponde a la toma de muestras del agua residual, se siguió el protocolo de muestreo de aguas requerido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, realizando un muestreo justo después de la trampa de grasas existente y tomando tres muestras por triplicado en días estratégicos en los que se lavaron motores y partes de vehículos, esto con el fin de asegurar una muestra representativa del lugar. El registro de las muestras se observa en el apéndice A. Como segunda actividad se realizó la caracterización fisicoquímica de los parámetros de turbidez, temperatura, solidos suspendidos totales, aceites y grasas, y demanda química de oxígeno DQO a partir de un análisis de laboratorio. Para la actividad 3 se definió la carga contaminante para el establecimiento con base a los resultados obtenidos.

4.2 Fase II. Evaluación técnica de los sistemas de tratamiento de agua residual.

Para la primera actividad de la fase II, se han propuesto dos sistemas de tratamiento que logren un desempeño favorable para la eliminación de los contaminantes presentes en el agua. En la actividad 2 se definieron las dimensiones de los equipos requeridos para las alternativas propuestas a partir de los parámetros y expresiones de diseño reportadas en la literatura.

4.3 Fase III. Evaluación económica de los sistemas propuestos

Comprende todos los análisis requeridos para determinar cuál de los dos sistemas presenta una mejor factibilidad económica, para ser puesta en marcha en el establecimiento.

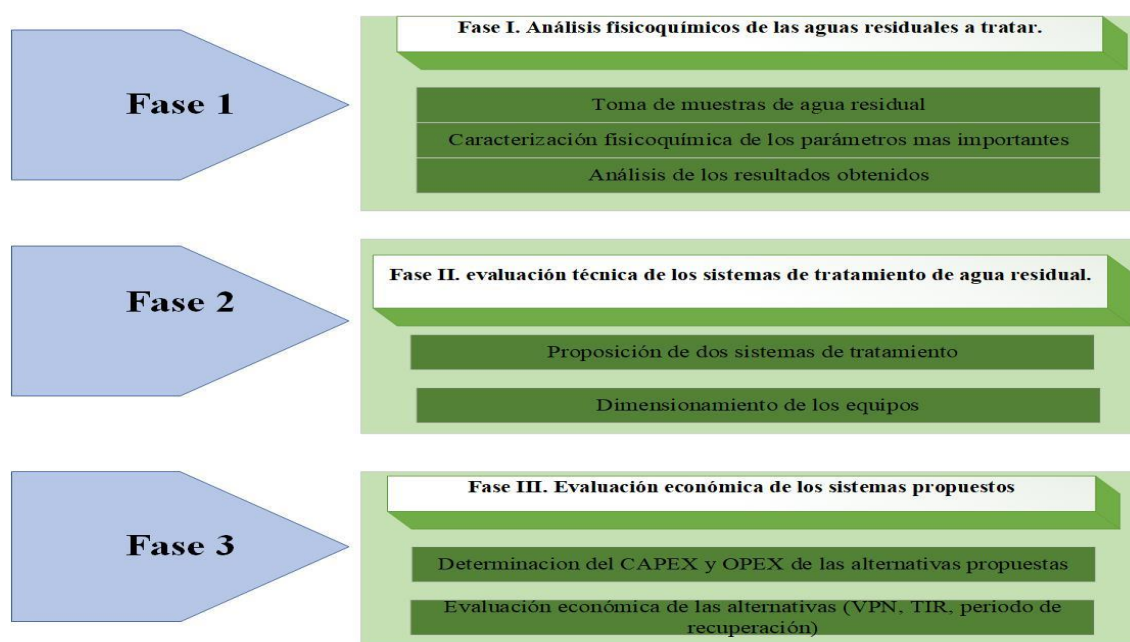
En la actividad 1 de la última fase del proyecto se determinaron los costos de inversión o capital CAPEX y operación OPEX de las alternativas propuestas.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

En la actividad 2, luego de haber definido los costos de capital y operación se definió el flujo de caja de ambas alternativas proyectado a diez años; una vez obtenidos los flujos netos efectivos para cada periodo se calcularon los índices económicos de valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) a partir de los resultados obtenidos se selecciona el sistema que presente los mejores valores.

Figura 1

Diagrama de flujo general de la metodología empleada en el proyecto.



La metodología empleada para la toma de las muestras y la determinación de los parámetros definidos en el apartado del marco conceptual es descrita en el Anexo B.

5. Resultados

5.1 Análisis Fisicoquímicos de las Aguas Residuales de Mazda Servi Toro

Los resultados de la caracterización de los parámetros a evaluar para las aguas residuales provenientes de Mazda Servi Toro son plasmados en la tabla 7. El valor de la demanda química de oxígeno fue adaptado a partir de las pruebas realizadas por, quienes también analizan el efluente

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

de un taller automotriz y obtuvieron un valor de Demanda Química de Oxígeno DQO de 5432 mg O₂/L y Demanda Biológica de Oxígeno DBO de 4150 mg O₂/L.

Tabla 3

Resultados de los análisis fisicoquímicos de las aguas residuales de Mazda Servi Toro.

Parámetro	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio	Valor máximo admisible
Turbidez, NTU	839,2	758,8	870	822,7	-
pH	10,2	11,6	11,8	11,2	6-9
Sólidos totales, mg/L	198	210	203	203,7	75
Aceites y Grasas, mg/L	177,6	187,7	171,9	171,9	15

Con base a los resultados obtenidos en la tabla 6, se puede apreciar que los parámetros de Aceites y Grasas, pH y Sólidos Totales medidos en el laboratorio se encuentran por encima de los límites máximos permisibles de descarga al alcantarillado público establecidos por la resolución 631. A partir de lo anterior, es posible afirmar que el tratamiento utilizado por la empresa es ineficiente, requiriendo un sistema de acondicionamiento de agua para su posterior reúso o descarga.

5.2 Determinación y Dosis Óptima de Coagulante

La determinación de la dosis óptima de coagulante puede definirse como el porcentaje de remoción de la turbidez, mediante la siguiente expresión (Ponce et al., 2020)

$$: \% \text{ de Remoción} = \frac{\text{Turbidez}_0 - \text{Turbidez}_f}{\text{Turbidez}_0} * 100 \quad (\text{Ec. 8})$$

Como se puede apreciar en la Tabla 8 y la Figura 2, los mejores resultados de remoción de turbidez se obtuvieron con una dosis de 80 ppm, a la cual se consiguió un porcentaje de remoción de la turbidez del 97,53%, así mismo mediante observación se identificó que en la jarra 4 los flóculos tenían mayor tamaño y estaban más aglomerados. En el apéndice A se encuentra la metodología y resultados obtenidos para la determinación de la dosis óptima de coagulante.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

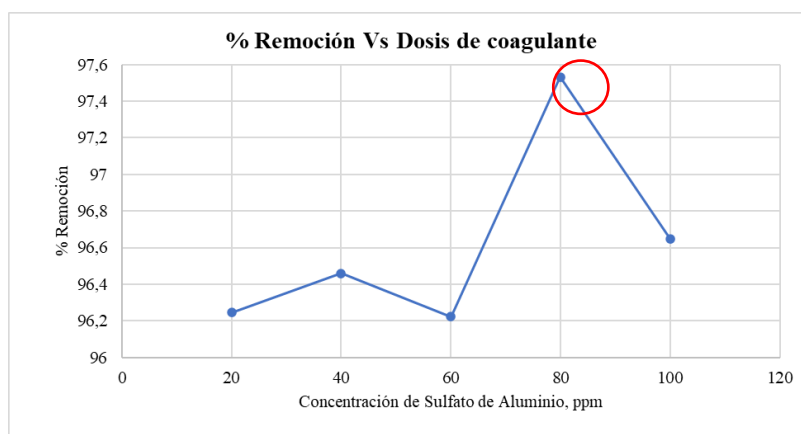
Tabla 4

Resultados obtenidos en las pruebas de jarras para la dosis óptima de coagulante.

# de Prueba	Coagulante, ppm	Ti, °C	Tf, °C	Turbidez i, NTU	Turbidez f, NTU	pH-i	pH-f	% Remoción
Prueba 1	80	21	25	1001	25,6	10,1	8,48	97,44
Prueba 2	80	21	26,4	902	20	12,8	7,6	97,78
Prueba 3	80	22,5	24,9	799	21	12,4	7,6	97,37

Figura 2

Remoción de turbidez Vs Dosis de coagulante



5.3 Parámetros de Diseño

5.3.1 Área disponible

El establecimiento cuenta con un área total de 166,32 m², de la cual se tiene disponible un área de 25,7 m² para la instalación de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales propuestos.

En el Anexo A se encuentran los planos del establecimiento y su distribución espacial.

5.3.2 Caudal

Los sistemas de tratamiento propuestos han sido diseñados para tratar un caudal de 40 m³ mensualmente, dicho valor represente el promedio de consumo mensual a lo largo del año 2021, y es equivalente a 1,33 m³/día. asumiendo un tiempo de funcionamiento del sistema de 8 horas, se

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

tratarán $0,17 \text{ m}^3/\text{h}$. En el establecimiento está instalada tubería que transporta el agua en el establecimiento.

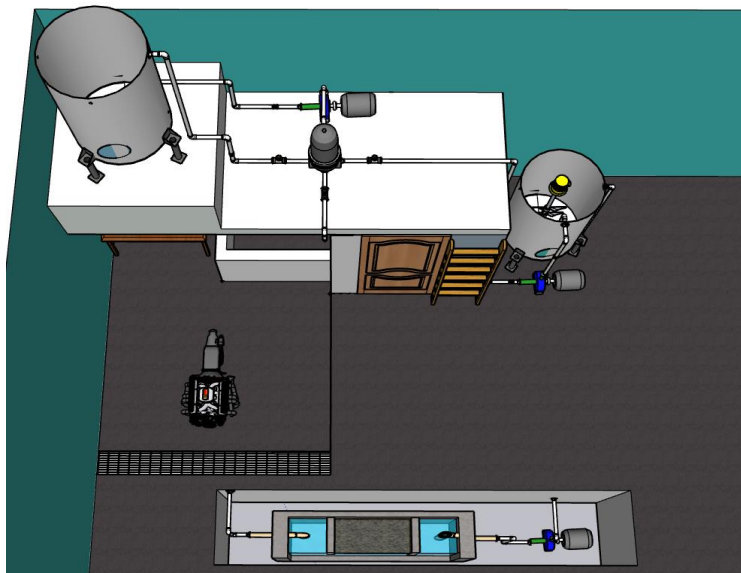
5.4 Diseño Alternativa 1. Tratamiento convencional

En el tratamiento convencional el afluente contaminado es dirigido hacia la rejilla que se encuentra instalada en el suelo y retiene los sólidos gruesos. Luego el fluido es dirigido por acción de gravedad hacia la trampa de grasas, ya existente, que separa las grasas y lodos; seguido se encuentra una fosa de almacenamiento y una bomba sumergible impulsa el agua hacia el tanque de tratamiento primario en donde ocurren los procesos de coagulación floculación y sedimentación. El fluido tratado luego es bombeado hacia el filtro de lecho profundo donde se remueven los contaminantes que no fueron removidos en las anteriores etapas. Por último, este fluido es dirigido al tanque de almacenamiento final, el cual se encuentra elevado a una altura de 2,5 metros con respecto al eje de referencia. De este tanque se deriva una corriente de recirculación que suministra agua a los baños. La Figura 3 presenta una imagen elaborada en el programa Sketch Up para las etapas de la alternativa convencional de tratamiento del agua residual.

5.4.1 Rejilla

La rejilla instalada para el tratamiento está hecha de acero inoxidable; esta se encarga de remover los sólidos con mayor tamaño de partícula. Su diseño consiste en una fosa rectangular instalada con un tamiz metálico con orificios de 2,5 mm de diámetro. Está ubicada aguas arriba de la primera bomba y de la trampa de grasas, el canal está conectado a un tubo PVC que dirige el efluente hacia la trampa de grasas, y sus dimensiones son de 0.8m de ancho, 1,5 m de largo y 0,4 m de profundidad y su volumen es de $0,48 \text{ m}^3$. Las dimensiones y características principales se muestran a continuación:

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Figura 3 Vista 3D del sistema convencional

Nota. Imagen del sistema diseño elaborado en el programa de uso libre SketchUp.

Tabla 5

Dimensiones del desbaste de rejillas

Dimensiones del desbaste de rejillas	
Material	Acero inoxidable
Forma	Rectangular
Diámetro del drenaje, m	0,0025
Ancho total, m	0,8
Largo total, m	1,5
Profundidad, m	0,4
Volumen, m³	0,48

5.4.2 Trampa de Grasas

El establecimiento cuenta con una trampa de grasas diseñada con las dimensiones expuestas en el apéndice C

5.4.3 Sistema de Bombeo

Los cálculos requeridos para el dimensionamiento y potencia se encuentran descritos en el Apéndice C. En la tabla se describen las tres bombas que se requiere instalar y su ubicación; cada

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

bomba requiere de una potencia diferente, siendo la bomba 3 la que consume más potencia. Los resultados de las especificaciones de diseño de las bombas requeridas se condensan en la tabla 7.

Tabla 6

Datos generales de las bombas presentes

Parámetro	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 3
Diámetro de tubería, in	1,00	1,00	2,00
Velocidad de Flujo, m/s	4,22	0,19	0,42
Caudal de agua [m³/s]	0,01	0,00045	0,00097
Perdida de carga total [m]	9,66	66,95	251,02
Potencia [Hp]	1,00	0,50	4,01
Tiempo de funcionamiento [s]	211,69	2941,18	120,00
Eficiencia	0,80	0,80	0,80
Consumo eléctrico [KW/h]	0,04	0,30	0,10
Ubicación	Después de la trampa de grasas	Después del tanque de tratamiento primario y antes del filtro	Antes del tanque de almacenamiento final

5.4.4 Tanque de Tratamiento Primario y agitador

En la siguiente tabla se presentan las dimensiones finales del tanque agitador, los resultados de la Tabla 8 corresponden a las especificaciones mostradas en el apartado del marco conceptual. El tanque cuenta con un agitador mecánico que consta de 3 paletas de 0,4 m de diámetro que requiere de una potencia de 0,75 kW.

Tabla 7

Dimensiones del tanque de agitación

Dimensiones del Tanque de Tratamiento Primario	
Volumen, m³	2
Diámetro D, m	1,52
Altura H, m	1,55

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Caudal de diseño, m³/s	0,00633
Relación H/d	3,875
Relación h/d	1,25
Dimensiones del Agitador	
Material (paletas y eje rotador)	Acero inoxidable
Numero de paletas	3
Diámetro de las paletas, m	0,4
Ancho de las paletas, m	0,005
Separación fondo- Paletas h, m	0,5
Longitud eje L, m	1,05
Rpm (agitación lenta)	60
Tiempo de agitación lenta, min	20
Rpm, agitación rápida	200
Tiempo de agitación rápida, min	2
Potencia del agitador, kW	0,75
Consumo eléctrico, kWh/día	0,275

5.4.5 Filtración

Las dimensiones del filtro que se usara para realizar el proceso fueron extraídas de Carbotecnia. El filtro funciona con dos camas filtrantes de arena y antracita, y un soporte de grava, el funcionamiento del filtro es descrito en el apartado del marco conceptual. Su flujo de operación es de 0,02 m³/s.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

5.4.6 *Tanque almacenamiento final*

En el apéndice se muestran las dimensiones y especificaciones de diseño del tanque de almacenamiento final. Este tanque cuenta con una capacidad de 2000 L, lo cual fue definido para el suministro de agua por un tiempo de un día.

5.4.7 *Comparación de resultados obtenidos en la Alternativa 1 con reportes de la literatura*

La Tabla 10 presenta una comparación de los resultados obtenidos en el presente documento para la alternativa convencional, con los reportes de Ahmad *et al.* (2017) y Cardozo-Gamboa (2017), quienes diseñaron un sistema de tratamiento de agua proveniente de talleres automotrices. Los resultados obtenidos por los autores indican que el agua residual no cumple con la normatividad de vertimiento. Al comparar los resultados de diseño reportados por los autores se observa que el sistema de tratamiento está diseñado para tratar un caudal mayor al definido en el presente documento, el cual está definido como 16 m³/día para Ahmad *et al.*, (2017). Así mismo el agente coagulante empleado fue sulfato férrico y sulfato de aluminio para Ahmad *et al.*, (2017) y Cardozo Gamboa, (2017) respectivamente, y se aplicó una dosis de coagulante de 6 mg/L para el primer autor. Ambos trabajos diseñaron un tanque de coagulación-floculación química con una agitación similar a la reportada en este trabajo de 0,25 y 0,33 kW, respectivamente y una unidad de filtración empleando un medio filtrante de arena y grava, este filtro también cuenta con una configuración de retro lavado, en donde se bombea agua limpia en sentido contrario al flujo de filtración, lo cual permite arrastrar los sólidos contenidos en el lecho filtrante.

Tabla 8

Comparación resultados de la alternativa convencional con reportes de literatura.

Parámetro	Sistema propuesto	Ahmad <i>et al.</i>, (2017)	Cardozo Gamboa, (2017)
Caudal tratado, m ³ /día	1,33	16	-

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Agente coagulante	Sulfato de aluminio	Sulfato férrico	Sulfato Aluminio
Volumen tanque tratamiento primario, m ³	2	20	3,5
Dosis de coagulante, mg/l	80	6	-
Dimensiones del filtro, m	0,3x1,32	0,3x0,3	0,9x1,87
Numero de bombas	3	3	4
Potencia de la bomba, Hp	0,5-1-4	-	1,5-3-3
Potencia del agitador, kWh	0,25	0,205	0,33
Volumen Tanque almacenamiento final, m ³		20	1,6

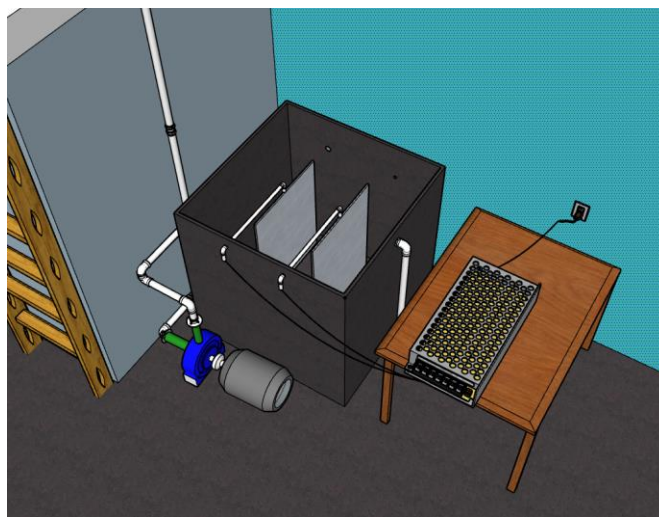
5.5 Diseño Alternativa 2. Tratamiento electroquímico

La segunda alternativa de tratamiento electroquímico, presentada en la Figura 4, aplica el mismo pretratamiento descrito para la primera alternativa; este pretratamiento considera la rejilla, la trampa de grasa y la bomba sumergible que impulsa el fluido libre de grasas hacia el reactor electroquímico. Este reactor funciona con electrocoagulación, aplicando una celda electroquímica compuesta por dos electrodos de aluminio; esta celda establece una diferencia de potencial, requiriendo un rectificador de corriente. Posterior a este tratamiento, el fluido tratado es bombeado hacia el filtro que remueve los contaminantes que no fueron removidos. Por último, el fluido tratado es almacenado en el respectivo tanque, para su posterior uso en la batería de baños. En la figura 4 se detalla el esquema 3D del reactor electroquímico. Las características generales del reactor de electrocoagulación y los electrodos son descritos en la Tabla 15. Las características del reactor de electrocoagulación (dimensiones y material de los electrodos) fueron definidas, a partir del trabajo de Arango Gómez *et al.*, (2008). Estos autores definieron experimentalmente las condiciones de un efluente proveniente de un taller automotriz, aplicando una densidad de energía de 5 kW/m³ obteniendo un porcentaje de remoción mayor a 80% para los parámetros de Aceites y Grasas, DQO y DBO. El consumo de potencia del reactor fue calculado con la ecuación de Ramesh Babu *et al.*, (2007).

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Figura 4

Esquema 3D del tratamiento electroquímico.



Nota. Imagen del sistema diseño elaborado en el programa de uso libre Sketch Up.

Tabla 9

Dimensiones y propiedades del reactor electroquímico

Dimensiones del Reactor electroquímico	
Volumen total, m³	1,67
Longitud del lado, m	1,2
Espesor, mm	8
Factor sobre diseño	0,25
Material	Poliacrilato
Dimensiones de los Electroodos	
Material	Aluminio
Número de electrodos	2
Área afectiva, m²	0,4
Ancho, m	0,8
Largo, m	0,5
Espesor, mm	3
Distancia entre electrodos, m	0,2
Distancia a la cara lateral del tanque, m	0,2
Consumo eléctrico	
Densidad de energía, kW/m³	5
Voltaje aplicado, V	330
Corriente eléctrica, A	20,2
Tiempo de aplicación, s	33240
Potencia eléctrica, kW	6,7
Consumo eléctrico, KWh/día	61,6
Consumo eléctrico, KWh/Mes	1600,4

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

5.5.1 Comparación de resultados obtenidos en la Alternativa 2 con reportes de la literatura

Por otra parte, en la Tabla 15 se puede observar las diferencias existentes entre el tratamiento electroquímico, definido en el presente documento y el reportado por Flores Malca, (2015). En esta tabla se puede analizar que los requerimientos de potencia por unidad de área (densidad) en los dos trabajos son similares; sin embargo, debido al mayor caudal tratado diariamente, el requerimiento total de potencia, en kW, de Flores Malca, (2015), resulta mayor que el determinado para el concesionario Mazda Servi Toro del presente trabajo; un mayor caudal tratado conduce a un área mayor en los electrodos. Como fue mencionado, la densidad de potencia determinado en los dos trabajos es la misma. En el trabajo de Arango Gómez et al., 2008 mencionan que, con la densidad de potencia aplicada, los porcentajes de remoción de contaminantes alcanzaron los valores exigidos según norma colombiana. Con esto, aunque el presente documento no reporta las pruebas de laboratorio a las aguas tratadas, la aplicación de la misma densidad de corriente en el reactor presume también el cumplimiento de los requerimientos para los efluentes tratados en el diseño propuesto en la alternativa 2 del presente documento.

Tabla 10

Comparativa con el sistema electroquímico diseñado por Flores Malca, (2015)

Parámetro	Este trabajo	Flores Malca, (2015)
Caudal tratado, m³/día	1,34	15,2
volumen tanque electroquímico, m³	1,67	20
densidad de corriente, A/m²	50,5	28,2
Potencia aplicada, kW/m³	5	5
Consumo eléctrico, kW	6,66	76
Voltaje, V	330	440
Amperaje, A	20,2	100
Numero de electrodos	2	6
Material de los electrodos	Aluminio	Aluminio

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Área electrodos, m ²	0,4	3,9
---------------------------------	-----	-----

5.6 Sistema de Recirculación de Agua

El tanque de almacenamiento final se encarga de suministrar agua limpia a los baños, para recircular el agua tratada, se instalará una tubería que llevará el agua desde el tanque de almacenamiento final, hasta los baños del establecimiento. Este tramo de tubería tendrá un sistema de purga para evitar rebose en el tanque de almacenamiento final.

Tabla 11

Características del sistema de recirculación para las dos alternativas.

Tubería	PVC RDE 21
Diámetro nominal, in	1
Longitud, m	20
Codos	8
Caudal promedio, m ³ /s	0,0001
Número de lavamanos	3
Número de baños	3
Número de válvulas	8

5.7 Sistema de Tubería y Accesorios

Las dimensiones y otras características de cada tramo se mencionan en la Tabla 15, el sistema de tuberías se adapta a los dos sistemas de tratamiento.

Tabla 12

Descripción de las secciones de tubería

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5
Diámetro nominal, in	3	1	1	1	1
Diámetro interno, mm	80.42	30.2	30.2	30.2	30.2
Longitud total, m	4	2.5	3.5	15	6
Accesorios (codos)	2	3	3	10	3
Diferencia de altura, m	1.5	2	3	3	2
Perdida de carga total, m	0	10.3	3.03	0	3.03

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Ubicación	Entre la rejilla y la trampa de grasas	Entre a trampa de grasas y el tanque de tratamiento primario	Entre el tanque de tratamiento primario y el tanque de almacenamiento final	Tubería de recirculación, transporta el agua desde el tanque final hasta los baños	Tubería de retro lavado, transporta el agua desde el tanque final
------------------	--	--	---	--	---

5.8 Resumen técnico de las alternativas de tratamiento propuestas

La Tabla 15 presenta una comparación entre los parámetros de diseño obtenidos para los sistemas de tratamiento convencional (alternativa 1) y por electrocoagulación (alternativa 2). Según esta tabla, los requerimientos de potencia son 4.3 kW y 10,74 KW para las alternativas 1 y 2, respectivamente. El mayor consumo de potencia en la alternativa 2 se debe a que el sistema electroquímico requiere la energía eléctrica para que ocurra el proceso de coagulación, a diferencia del tratamiento convencional que requiere de un agente químico externo para desestabilizar las cargas contaminantes del agua. La diferencia en las configuraciones de las alternativas corresponde principalmente al tanque de tratamiento primario. Como se puede apreciar en la sección de evaluación económica, el requerimiento de potencia de la alternativa 2 se contrapone a la viabilidad económica de su aplicación, considerando la escala de tratamiento aplicado.

Tabla 13

Resumen técnico de las alternativas de tratamiento propuestas

Equipo	Material	Características	Potencia Requerida [HP, kW]
Alternativa 1, tratamiento convencional			
Rejilla	Acero inoxidable	Dimensiones: 0.8 m x 1.5 m x 0.4 m Volumen: 0.48 m ³	-
Bomba sumergible	Aluminio, NBR, carbón, cerámica y Carburo al Silicio.	Caudal: 0.0006 m ³ /s Eficiencia: 80%	1 HP
Tanque de tratamiento primario	PVC	Volumen: 2 m ³ Caudal: 0,0005 m ³ /s	1 HP

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Bomba centrífuga	Hierro gris, latón, cerámica, carbón, acero inoxidable y/o buna.	Caudal: 0.0005 m ³ /s Eficiencia: 80%	0.50 HP
Filtro	Fibra de vidrio	Altura: 52 in; Diámetro: 12 in; Caudal: 0.00045 m ³ ; Volumen del lecho: 2 ft ³	-
Bomba centrífuga	Hierro gris, latón, cerámica, carbón, acero inoxidable y/o buna.	Caudal: 0,0009 m ³ /s Eficiencia: 80%	4 HP
Tanque de almacenamiento final	PVC	Diámetro: 1.52 m Altura: 1.55 m Volumen: 2 m ³	-
Tratamiento electroquímico			
Reactor electroquímico	Poliacrilato, Aluminio	Partes: Cuerpo de reactor, Electrodos, fuente de poder. Volumen: 1.67 m ³ Número de electrodos: 2	6,9 kW

5.9 Evaluación económica de los sistemas de tratamiento y recirculación

Para la evaluación económica se tuvieron en cuenta los indicadores económicos Valor presente neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), para hacer una comparación y definir cuál es el sistema que se adecua más a las necesidades del taller automotriz.

5.9.1 Ingresos

Los ingresos corresponden al ahorro del servicio de acueducto y alcantarillado, cuya información está en el Anexo A, teniendo como referencia que para el año 2021 se consumieron en promedio 40 m³ al mes para un total de 476 m³ al año, y se definió un porcentaje de ahorro de 90% del consumo de agua mensual. Esto conlleva a un ahorro aproximado de \$1'961365 para el primer año; considerando una variación del consumo de agua anual del 10%.

5.9.2 Costos de inversión

Los costos de capital o inversión mostrados en la tabla 17, se encuentran detallados en los anexos y sus valores se obtuvieron a partir de cotización con diferentes empresas que ofrecen los equipos requeridos.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Tabla 14 Costos de capital CAPEX en \$ pesos m.c para los sistemas propuestos

Descripción	Alternativa 1	Alternativa 2
Inversión Fija	\$ 7,131,163	\$ 28,551,010
Inversión Diferida	\$ 2,340,000	\$ 2,590,000
Capital de operación	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000
Total	\$ 10,471,163	\$ 32,141,010

5.9.3 Costos de Operación

Se tomaron como base los costos de operación referentes a los insumos químicos que se deben adquirir en el primer año, así como el consumo del servicio de energía eléctrica y el mantenimiento de los equipos, estos son explicados con detalle en el Anexo C, y los resultados para cada alternativa son mostrados a continuación:

Tabla 15

Costos de operación OPEX en \$ pesos m.c para las alternativas propuestas

Descripción	Alternativa 1	Alternativa 2
Costos Operativos	\$65,606	\$ 0.00
Consumo de Energía	\$60307	11'489.640
Gastos de Mantenimiento	\$420.000	\$520.000
Total	\$545.914	\$ 12'019.460

5.9.4 Tasa Mínima Atractiva de Retorno

Se calculo la tasa mínima aceptable de retorno TMAR, teniendo en cuenta que parte del proyecto será financiado con una entidad bancaria. Se definió una prima de interés del 5% tasa de interés bancaria del 10.5 % y una tasa de inflación promedio del 3.7%. (*Inflación Total y Meta / Banco de La República, n.d.*)

$$\text{TMAR} = \text{TIB} + \text{premio al riesgo}$$

$$\text{TMAR} = 15.50\%$$

(Ec. 9)

Donde TIB: Tasa de interés ofrecida por el banco

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

5.9.5 Tasa de descuento

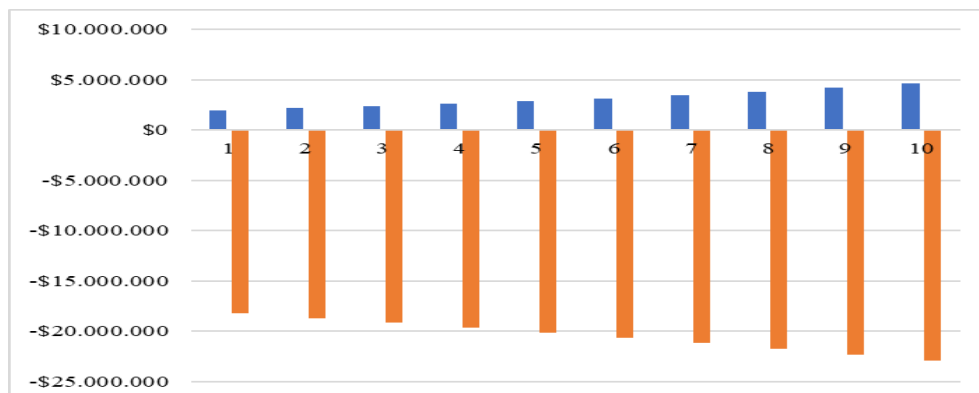
El capital total se constituye del 60% de deuda y 40% de recursos propios para la alternativa 1, y un 80% de deuda y 20% de capital propio para la alternativa 2 (debido a su alto costo de inversión). La tasa de descuento calculada es del 12,5% para la alternativa 1 y 11,5% para la alternativa 2. El procedimiento para calcular el costo de capital esta detallado en el Anexo D.

5.9.6 Flujos de caja.

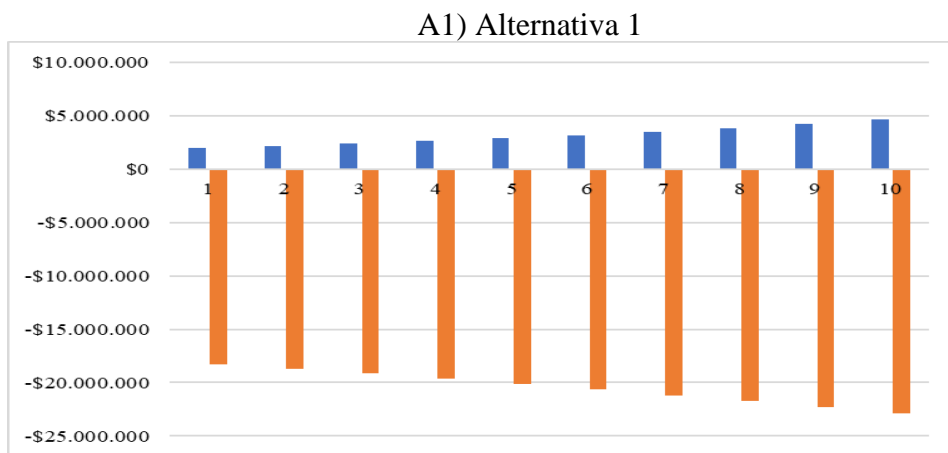
Los flujos de caja para cada periodo de evaluación contemplaron las siguientes consideraciones: Para el año 0, la alternativa 1, será financiada en un 60% por una entidad bancaria y un 40% por la empresa, mientras que para la a alternativa 2 será financiada en un 80% por la entidad bancaria y un 20% por los accionistas, esto debido a que los costos de inversión del tratamiento electroquímico son muy elevados con respecto al tratamiento convencional. La tasa de interés utilizada como referencia es del 10,5% efectivo anual. El préstamo se hará con un plazo de 5 años y 10 años respectivamente para las dos alternativas y los pagos serán semestrales. La información de los prestamos se encuentra resumida en el apéndice D. Por consideraciones de ampliaciones del taller y por ende un crecimiento de la clientela se estima un crecimiento del consumo de agua del 10% anual.

Figura 5

Esquema de ingresos y egresos para las alternativas 1 y 2



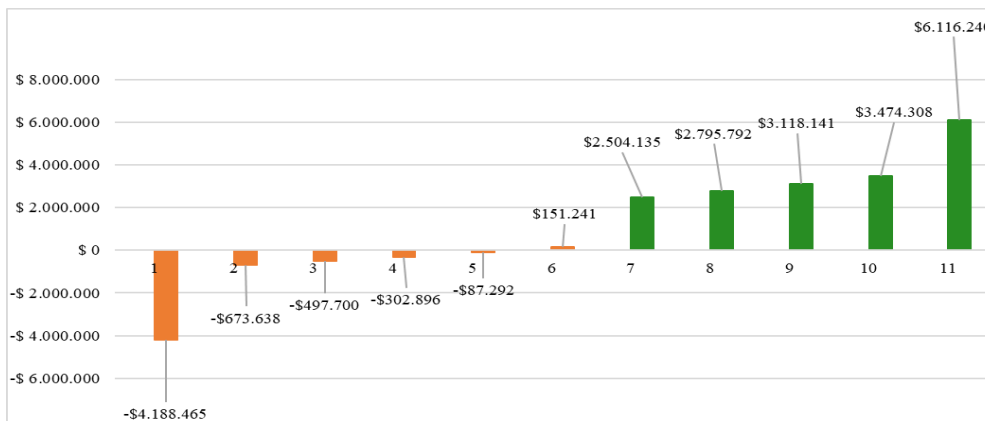
EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA



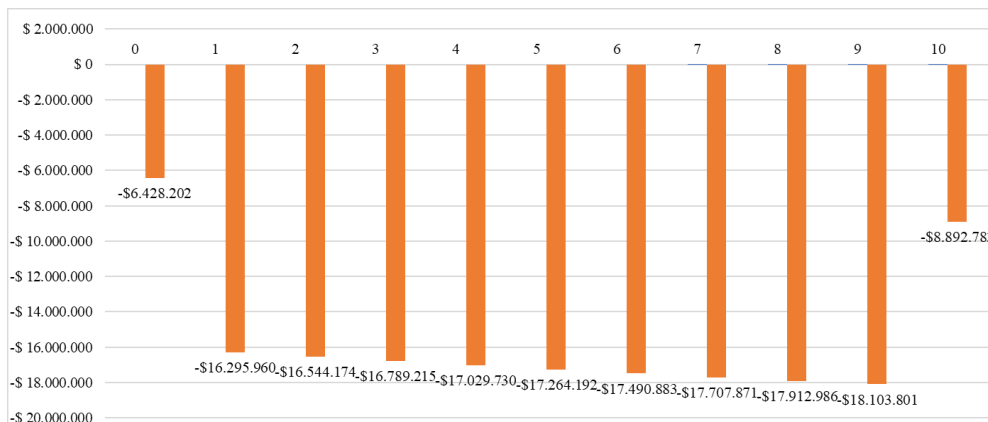
A2) Alternativa 2

Figura 6

Esquema de flujo efectivos netos para las alternativas 1 y 2



A1) Alternativa 1



A2) Alternativa 2

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

5.9.7 Evaluación económica

Para esta etapa, los indicadores económicos considerados fueron: valor presente neto, VPN, y tasa interna de retorno, TIR. Así mismo se asumió una tasa de inflación del 3.7%, basada en el promedio de los últimos cinco años; y se consideró una tasa de descuento promedio de las fuentes de financiamiento como el 10% y 8.5% respectivamente para el cálculo del VPN. Como se puede observar en la Tabla 20, las dos alternativas presentaron un resultado positivo y negativo de VPN respectivamente, por lo cual se considera que la alternativa 1 es rentable. Esta rentabilidad se debe al nivel bajo de agua tratada en el establecimiento considerado en el presente documento.

Tabla 16

Estado de resultados de la evaluación económica de las alternativas propuestas.

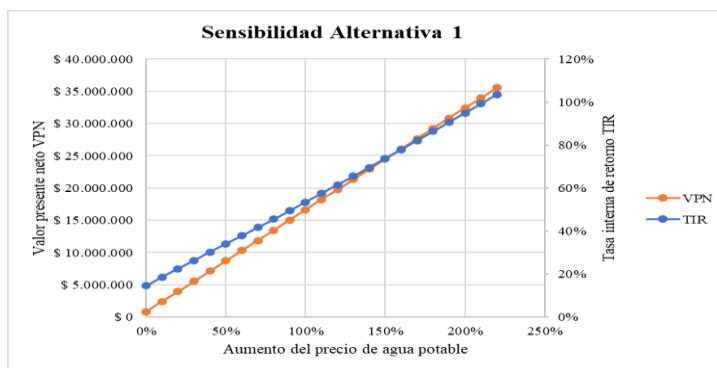
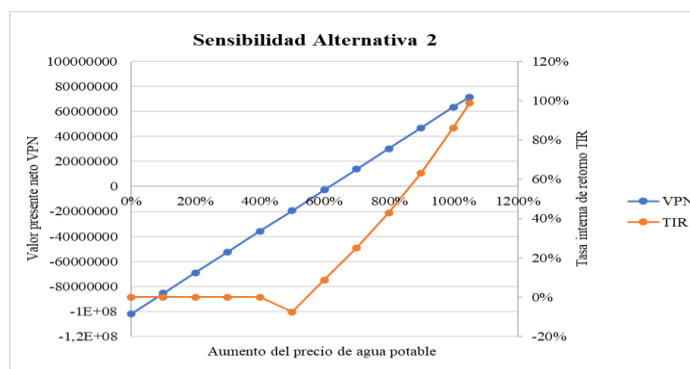
Parámetros	Unidad	Valor	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Horizonte	Años	10	10
Costos de capital CAPEX	Pesos	\$10'471.163	\$32'141.010
Costos de operación OPEX (1er año)	Pesos	\$607.518	\$ 12'009.460
Ahorro de agua (1er año)	Pesos	\$1'961.365	\$1'961.365
Tasa de impuesto	Porcentaje	12.50	11.5
Inflación esperada	Porcentaje	3.7	3.7
VPN	Pesos	\$1.009.625	-\$102.155.386
TIR	Porcentaje	14,94	-

Respondiendo a la pregunta de investigación planteada, el proceso de purificación de aguas residuales que reporta los mejores desempeños económicos y técnicos para el tratamiento y recirculación de las aguas residuales del taller Mazda Servi toro, corresponde al tratamiento convencional, el cual reporta un VPN de \$1.009.625, con una tasa interna de retorno del 14,94 %.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

5.9.8 *Análisis de sensibilidad*

Para el análisis de sensibilidad se tuvieron en cuenta la influencia del precio del agua en \$ COP/m³, y de la energía requerida en \$ COP/kW, sobre el VPN y la TIR de las alternativas. La Figura 7a presenta la influencia del precio del agua potable sobre los indicadores económicos de la alternativa 1, mientras la Figura 7b presenta la influencia del costo del agua potable sobre los indicadores económicos de la alternativa 2. Según la Figura 7a el proyecto es 100% viable cuando el precio del agua aumenta en un 214,14%. Por su parte, como se observa en la Figura 7b, para alcanzar una viabilidad del 100% en la alternativa 2, el precio del m³ de agua potable debe aumentar en un 1075,8%.

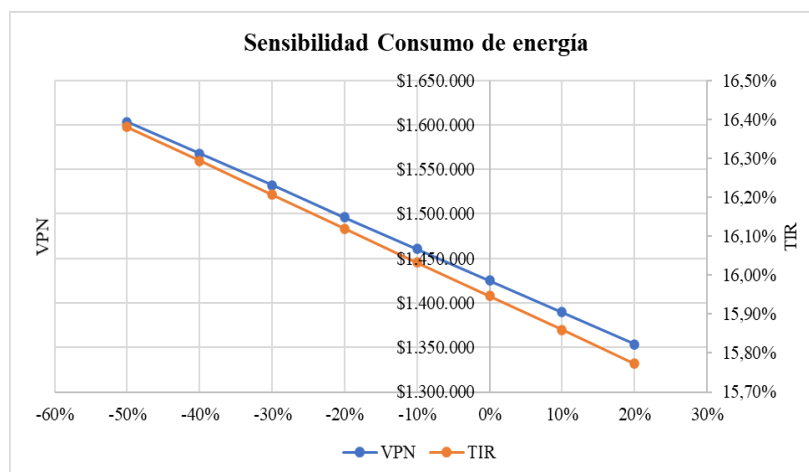
Figura 7*Sensibilidad del precio del agua potable, m³*a) Sensibilidad del precio del m³ de agua para la alternativa 1b) Sensibilidad del precio del m³ de agua para la alternativa 2

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

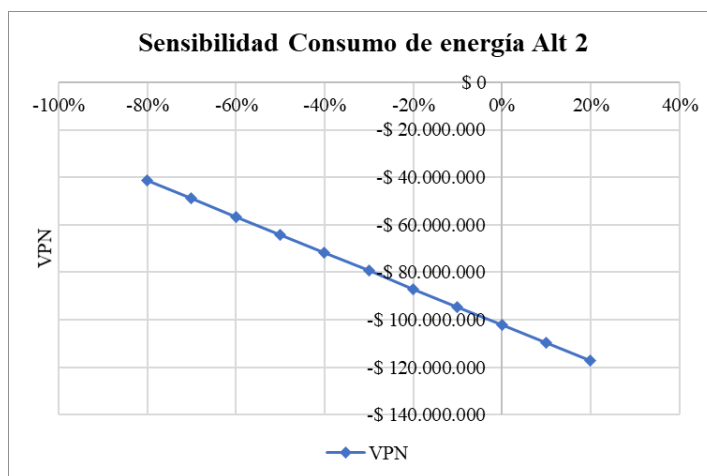
De otro lado, la Figura 8a presenta la influencia del costo de la electricidad sobre los indicadores económicos de la alternativa 1, mientras la Figura 8b muestra lo referente para la alternativa 2.

Figura 8

Sensibilidad precio de la energía, kW/h



a) Sensibilidad del precio de la energía, kW/h para la alternativa 1



b) Sensibilidad del precio de la energía, kW/h para la alternativa 2

Para finalizar, los resultados del análisis de sensibilidad muestran que las alternativas son altamente sensibles a la fluctuación en los precios del agua potable y de la energía eléctrica. Para el caso de la alternativa 2 se puede corroborar la no viabilidad

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

económica de la misma, para ningún escenario, debido al elevado costo de los equipos y su alto consumo de energía.

6. Conclusiones

Según la prueba de jarras, la concentración que logra una mayor remoción de turbidez será 80 ppm, la cual asegura una remisión de turbidez del 98%.

Luego de la aplicación de los análisis fisicoquímicos, es preciso concluir que el efluente producido por el taller no cumple los parámetros permitidos por el ministerio de medio ambiente en la Resolución 631 de 2019 para el vertimiento seguro en el alcantarillado.

Las características principales de los equipos para el sistema convencional son: una rejilla de acero inoxidable con espaciado entre rejillas de 2,5mm, una trampa de grasas de 3,38 m³ de capacidad, 3 bombas con 0,5, 1 y 4 hp de potencia, un tanque de tratamiento primario de 2 m³ de capacidad, un agitador de 0,25 Kw de potencia, un filtro de lecho empacado de 12x52 in y finalmente un tanque de almacenamiento de 2 m³, para el caso del sistema electroquímico las dimensiones de los equipos son las mismas a diferencia del tanque de tratamiento primario, el cual es un tanque cubico de 1,67 m³ de capacidad, con dos electrodos de aluminio instalados paralelamente y conectados a una fuente de poder reguladora de voltaje y amperaje.

Aunque la aplicación del sistema electroquímico reporte en literatura, los mejores resultados de limpieza de efluente contaminado, el sistema convencional resulta viable desde el punto de vista económico, desde su implementación, mantenimiento y costo de operación. Además, los resultados de remoción reportados en literatura muestran un desempeño aceptable con cumplimiento de la norma.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

7. Recomendaciones

La viabilidad del sistema convencional puede ser mayor si se aumenta el caudal efluente de aguas contaminadas.

No es recomendable instalar el sistema electroquímico propuesto en la alternativa 2 para ningún taller automotriz debido a su excesivo costo de la fuente de poder requerida para su funcionamiento, así como su mantenimiento y operación.

Para talleres con efluentes bajos, se recomienda la instalación de al menos un tanque de coagulación, además de la trampa de grasas que debería ser obligatoria, ya que esta última no es suficiente para que el agua sea apta para el vertimiento en el alcantarillado público.

Se recomienda buscar otras fuentes de energías renovables para la implementación del sistema electroquímico que funcionen sin baterías.

No implementar la alternativa número 2 para el sector de los talleres automotrices y lavaderos de autos, debido a que adquirir un rectificador de corriente representa un costo elevado por las especificaciones que requiere, así como el consumo de energía eléctrica que conlleva el operar el reactor electroquímico.

Referencias Bibliográficas

- Ahmad, J., Shujaat Karim, S., Akhtar, K., Umar, M., Shujat karim, S., Amaduddin, M., Shah, F., & Hussain, A. (2017). Journal of Pakistan Institute of Chemical Engineers Since 1969 journal homepage: www.piche.org.pk/journal Submitted on 24. In *JPICChE* (Vol. 45, Issue 2). www.piche.org.pk/journal
- Arango Gómez, S., López Gutiérrez, A., Pavas, G., & Hernán, E. (2008). *Tratamiento de aguas residuales del proceso de desengrase de autopartes con fines de reuso*. Universidad EAFIT.
- Arango Ruiz, A., & Garcés Giraldo, L. F. (2007). *Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea*. 43. <http://redalyc.uaemex.mx>
- Barrenechea Martel, A. (2018, April 29). *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua (Vol. 1)*. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- Barrera, C. E. (2014). *Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales*. Reverté.
- Carbotecnia. (n.d.). *Lecho profundo con carga dual para baja caída de presión*. Retrieved August 13, 2022, from <https://www.carbotecnia.info>
- Cardozo Gamboa, J. A. (2017). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas, para lavado automotor, para la empresa Translogam S.A.S.*
- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 11–41. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2003.10.006>
- Claro, R. (2009). *Diagnóstico dos resíduos gerados nas oficinas mecânicas de veículos automotivos do município de São Carlos-Sp*.
- Creus Solé, Antonio. (2000). *Instrumentación industrial (7a. ed.)*. 796.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

- Dalabona, V. (2012). *Tratamiento Físico-Químico por Floccodecantação de efluente de retífica de motores*.
- Flores Malca, M. I. (2015). *Propuesta de un sistema de tratamiento para la reutilización de aguas*.
- Fontenele, S. de B., Sabiá, R. J., Oliveira Cavalcanti, T., & da Silveira Guimarães, J. L. (2006). Modelo de tecnologia limpa aplicado ao processo de retificação de motores automotivos. *ENEGEP*, 4.
- García, B. H. (2008). Acerca de la tasa de descuento en proyectos. *Quipukamayoc*, 15(29), 101–108. <https://doi.org/10.15381/quipu.v15i29.5284>
- Inflación total y meta | Banco de la República*. (n.d.). Retrieved September 26, 2022, from <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/inflacion-total-y-meta>
- Padilla Padilla, C. A., Moreno Pinduisaca, L. E., Buenaño Moyano, L. F., Cuaical Angulo, B. A., & Barrera Cárdenas, O. B. (2018). Análisis situacional del tratamiento de aceites automotrices residuales. *Polo Del Conocimiento*, 3(7), 172. <https://doi.org/10.23857/PC.V3I7.536>
- Ponce, B., Eliana, G., Briones, B., Alfonso, G., Delgado, R., Alonso, E., Mendoza, M., Antonio, C., & de Panamá, U. (2020). of inorganic salts in the treatment of industrial wastewater from the refining of oils and fats) *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*. *Periodicidad: Semestral*, 7(2), 2020.
- Ramesh Babu, R., Bhadrinarayana, N., & Sheriffa Begum, Kmm. (2007). Treatment of tannery wastewater by electrocoagulation. In *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy* (Vol. 42, Issue 2).
- Romero Rojas, J. A. (1999). Potabilización del agua. *Alfaomega*.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Romero Rojas, J. A. (2000). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. In *Escuela Colombiana de Ingeniería*.

Sanders, L. L. (1998, March 18). *Valores estimados de la porosidad*. A Manual of Field Hydrogeology.

Tavera García, J. A., & Torres Burgos, Y. A. (2015). *Manejo, tratamiento y reuso del agua en la estación de lavado de vehículos “Los Ángeles” Kennedy, Bogota D.C.*

Zareth, B., Jesús, E., & Luís, G. (2020). Evaluation of the removal of COD and BOD in wastewater from bus washing using coagulation, flocculation and aerobic biological treatment. *Chemical Engineering Transactions*, 79, 379–384.

<https://doi.org/10.3303/CET2079064>

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

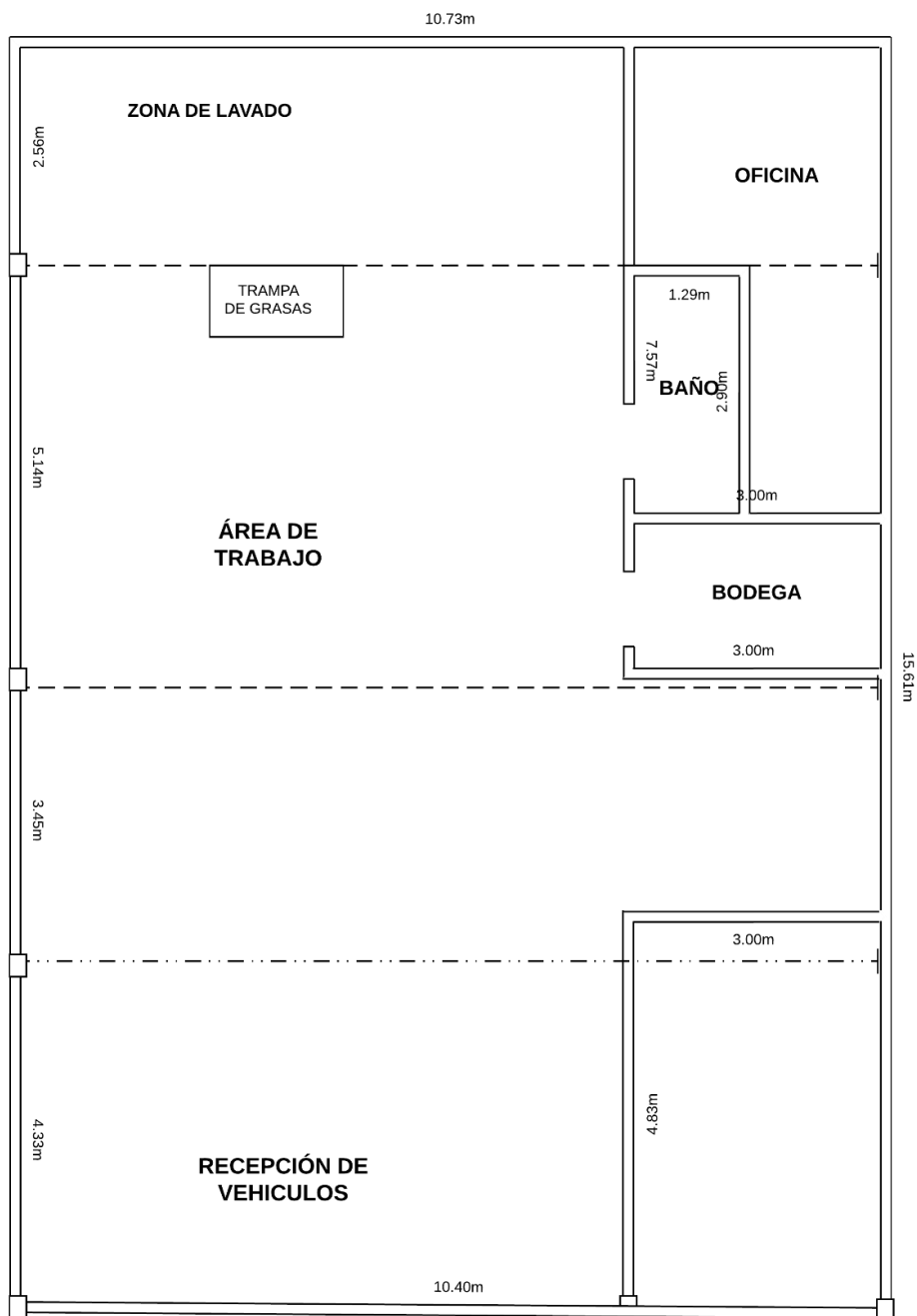
Apéndices

Apéndice A Datos relevantes del establecimiento Mazda Servi Toro

Tabla Tipos de vehículos y servicios prestados por el establecimiento

Tipo de vehículos	Servicios prestados
Camiones, vehículos livianos, camionetas	Latonería, pintura, Revisión de frenos, cambio de aceite y filtros, Rectificación de motor y caja, lavado de partes.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA



EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Figura 9 Fachada del establecimiento**Figura 10** Zona de recepción de vehículos

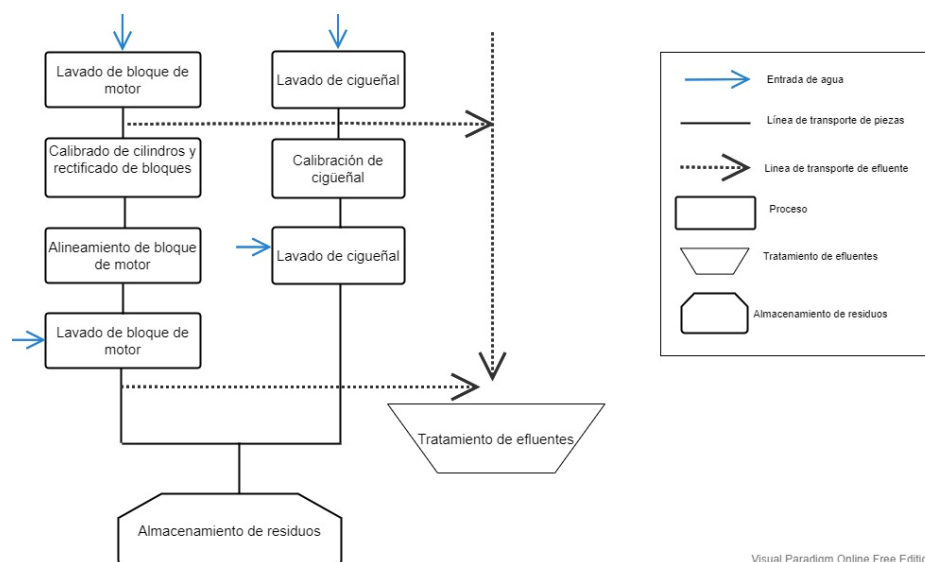
EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Figura 11 Zona de latonería y pintura**Figura 12** Baños

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Figura 13 Punto de lavado**Figura 14** Área de trabajo

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Figura 15 Diagrama del proceso de rectificación de bloque y cigüeñal.

Nota. Adaptado de (Fontenele et al., 2006)

Promedio de vehículos ingresados al establecimiento:

El establecimiento recibe en sus instalaciones un promedio de 268 vehículos mensualmente.

Tabla 17 Vehículos ingresados por reparación de motor y caja durante el año 2021.

Mes	Número de vehículos ingresados	Vehículos ingresados por reparación de motor
Enero	215	86
Febrero	232	150,8
Marzo	248	161,2

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Abril	301	195,65
Mayo	313	203,45
Junio	326	211,9
Julio	274	178,1
Agosto	237	154,05
Septiembre	245	159,25
Octubre	227	113,5
Noviembre	241	180,75
Diciembre	357	267,75
Promedio	268,0	171,9
Aproximación	268	172

Nota. La información fue proporcionada por el establecimiento Mazda Servi Toro.

Tabla 18 Valor del consumo de agua mensual en pesos para el año 2021

Mes	Consumo total m³	Valor facturado
Enero	37	\$ 264,161
Febrero	42	\$ 287,053
Marzo	38	\$ 268,739
Abril	39	\$ 273,318
Mayo	41	\$ 282,474
Junio	43	\$ 291,631
Julio	37	\$ 264,161
Agosto	34	\$ 250,426

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Septiembre	39	\$ 273,318
Octubre	42	\$ 287,053
Noviembre	36	\$ 259,583
Diciembre	48	\$ 314,523
Total	476	\$ 3,316,439
Promedio	40	\$ 276,370

Nota. Datos proporcionados por Mazda Servi Toro

Apéndice B Análisis fisicoquímico de las aguas residuales a tratar

Metodología del Ensayo de Jarras:

En la práctica se llevaron a cabo los procesos de coagulación y floculación, empleando una agitación rápida de 200 rpm por dos minutos y una agitación lenta de 60 ppm por 15 minutos. Para asegurar una credibilidad de los datos, el ensayo de jarras se realizó tres veces para asegurar confiabilidad de los datos con dosis crecientes; así las concentraciones empleadas en cada jarra fueron 20, 40, 60, 80, y 100 [ppm].

Figura 16 Equipo de prueba de jarras



Nota. Debido a que uno de los Baker no se encontraba en funcionamiento la prueba se realizó con cinco (5) jarras.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

El agente coagulante empleado para la práctica fue el Aluminio Sulfato 18-Hidrato también conocido como Sulfato Aluminio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$.

Cálculos realizados para hallar el volumen de coagulante en la prueba de jarras:

Para preparar la disolución se disolvieron 1.947 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ en 200 mL de agua desionizada. Para obtener una concentración de 5000 ppm de disolución.

Para hallar el volumen de coagulante se determinaron concentraciones de 20,40,60,80 y 100 ppm para cada jarra respectivamente. Con base a la teoría de las diluciones que se cuantifica mediante la siguiente expresión:

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde el peso molecular de la disolución corresponde a:

$$\text{PM} = 342,15 + 18(18) = 666,15 \text{ g/mol}$$

Preparación solución concentrada:

$$C=10000\text{ppm}$$

$$V=0.2\text{L}$$

$$X_c = \text{mg de coagulante}$$

$$x_c = C * V \quad (\text{Ec. 12})$$

$$x_c = 10000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0.2\text{L}$$

$$x_c = 2000\text{mg}$$

Cálculo de gramos de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$:

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

$$2g * \frac{666.15g}{342.15g} = 3.894g$$

Cálculos del volumen de solución para cada jarra:

- **Jarra 1 (20ppm)**

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$10000\text{ppm} * V_1 = 20\text{ppm} * 1000\text{ml}$$

$$V_1 = \frac{20\text{ppm} * 1000\text{ml}}{10000\text{ppm}} = 2 \text{ ml}$$

- **Jarra 2 (40ppm)**

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$10000\text{ppm} * V_1 = 40\text{ppm} * 1000\text{ml}$$

$$V_1 = \frac{40\text{ppm} * 1000\text{ml}}{10000\text{ppm}} = 4 \text{ ml}$$

- **Jarra 3 (60ppm)**

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$10000\text{ppm} * V_1 = 60\text{ppm} * 1000\text{ml}$$

$$V_1 = \frac{60\text{ppm} * 1000\text{ml}}{10000\text{ppm}} = 6 \text{ ml}$$

- **Jarra 4 (80ppm)**

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$10000\text{ppm} * V_1 = 80\text{ppm} * 1000\text{ml}$$

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

$$V_1 = \frac{80\text{ppm} * 1000\text{ml}}{10000\text{ppm}} = 8 \text{ ml}$$

- **Jarra 5 (100ppm)**

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$10000\text{ppm} * V_1 = 100\text{ppm} * 1000\text{ml}$$

$$V_1 = \frac{100\text{ppm} * 1000\text{ml}}{10000\text{ppm}} = 10 \text{ ml}$$

Resultados de la aplicación de los (3) ensayos de jarras:

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Tabla 19 Resultados del ensayo de jarras 1

Ensayo 1										
# de jarra	Coagulante ppm	Mezcla rápida [min]	Mezcla lenta [min]	Ti [°C]	Tf [°C]	Turbidez i [NTU]	Turbidez f [NTU]	pH-i	pH-f	Remoción [%]
1	20	2	20	20,1	23,5	700	14,4	11,1	9,5	97,9429
2	40	2	20	20,3	24,9	971	11,8	10,27	9,58	98,7848
3	60	2	20	20,5	25,3	936	34,5	9,54	9,06	96,3141
4	80	2	20	21	25	1001	25,6	10,1	8,48	97,4426
5	100	2	20	21,5	25,1	588	16	10,16	7,9	97,2789

Tabla 20 Resultados del ensayo de jarras 2

Ensayo 2										
# de jarra	[] de coagulante	Mezcla rápida [min]	Mezcla lenta [min]	Ti [°C]	Tf [°C]	Turbidez i [NTU]	Turbidez f [NTU]	pH-i	pH-f	Remoción [%]
1	20	2	20	22,4	24,5	610	20,8	12,5	9,1	96,5902
2	40	2	20	23	24,7	791	40,3	11,5	8,5	94,9052

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

3	60	2	20	22,5	25,3	650	29,3	11,6	8,1	95,4923
4	80	2	20	21	26,4	902	20	12,8	7,6	97,7827
5	100	2	20	23,2	26,2	841	36,1	9,6	7,7	95,7075

Tabla 21 Resultados del ensayo de jarras 3

Ensayo 3										
# de jarra	[l] de coagulante	Mezcla rápida [min]	Mezcla lenta [min]	Ti [°C]	Tf [°C]	Turbidez i [NTU]	Turbidez f [NTU]	pH-i	pH-f	Remoción [%]
1	20	2	20	23,6	24	801	35	12,3	9,6	95,6305
2	40	2	20	22,7	24,3	905	26	11,4	8,4	97,1271
3	60	2	20	22,1	24,1	956	30	11,8	8,1	96,8619
4	80	2	20	22,5	24,9	799	21	12,4	7,6	97,3717
5	100	2	20	23,2	25	889	27	11,3	7,8	96,9629

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Tabla 22 Valor de la desviación estándar de los datos obtenidos en la prueba de jarras

Desviaciones estándar							
# de Jarra	Ti [°C]	Tf [°C]	Turbidez i [NTU]	Turbidez f [NTU]	pH-i	pH-f	% Remoción
1	3,1633	0,2500	9130,3333	111,1600	0,5733	0,0700	1,3497
2	2,1917	0,6950	59814,6667	213,4650	1,7088	0,9212	3,8605
3	1,2867	1,6950	60265,5000	100,7900	3,0255	1,7478	0,8478
4	1,1767	3,7850	68415,8333	11,0800	2,1833	3,6632	1,0353
5	1,5033	3,5250	33293,8333	114,5050	4,6548	3,8500	0,6985

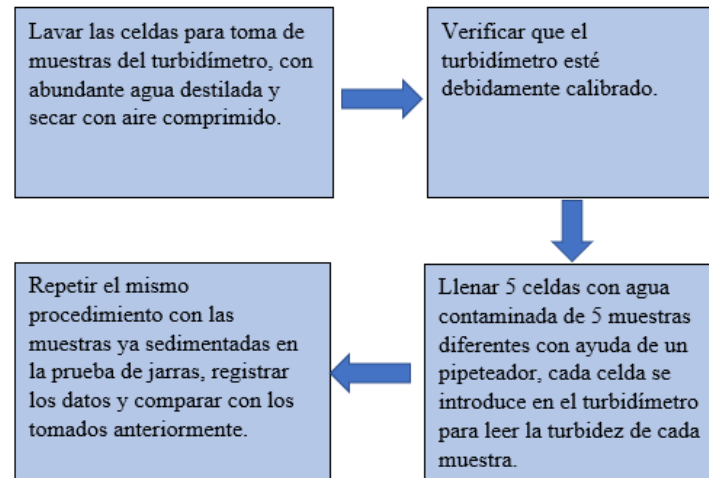
Tabla 23 Promedio de los resultados obtenidos en los ensayos de jarras

Promedios							
# de Jarra	Ti [°C]	Tf [°C]	Turbidez i [NTU]	Turbidez f [NTU]	pH-i	pH-f	% Remoción
1	22.0333	24.0000	703.6667	23.4000	11.9667	9.4000	96.7212
2	22.0000	24.6333	889.0000	26.0333	11.0567	8.8267	96.9390
3	21.7000	24.9000	847.3333	31.2667	10.9800	8.4200	96.2228
4	21.5000	25.4333	900.6667	22.2000	11.7667	7.8933	97.5323

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

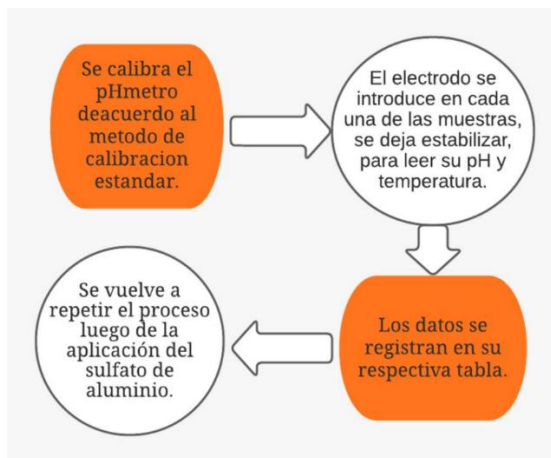
5	22.6333	25.4333	772.6667	26.3667	10.3533	7.8000	96.6498
---	---------	---------	----------	---------	---------	--------	---------

Figura 17 Metodología de la Determinación de la Turbidez

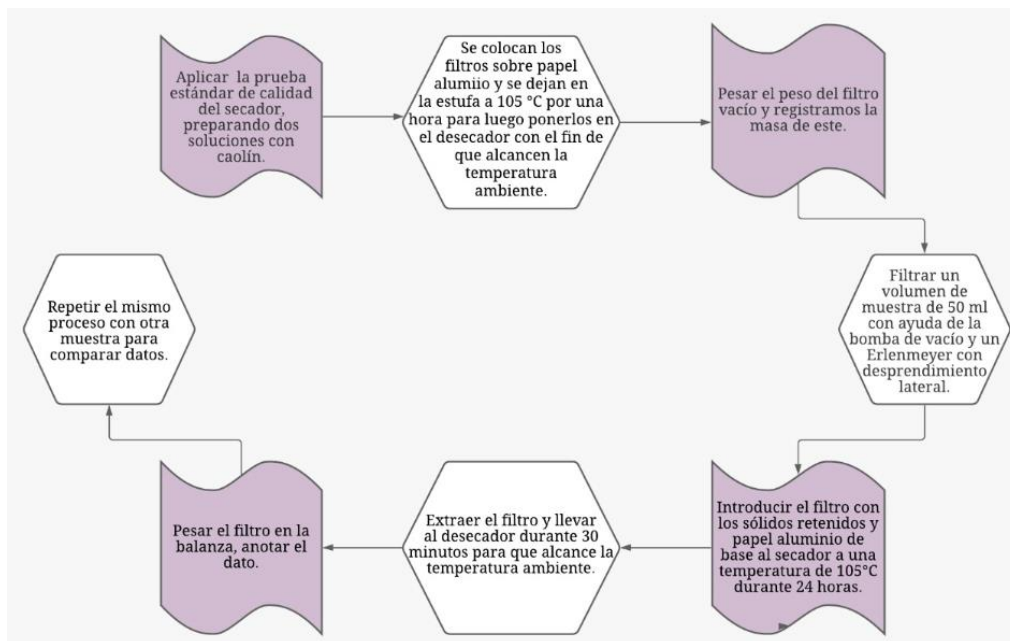


Nota. Realizado en Microsoft Visio

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Figura 18 Metodología de la Determinación del pH

Nota. Realizado en Microsoft Visio

Figura 19 Metodología de la Determinación de los Sólidos Totales

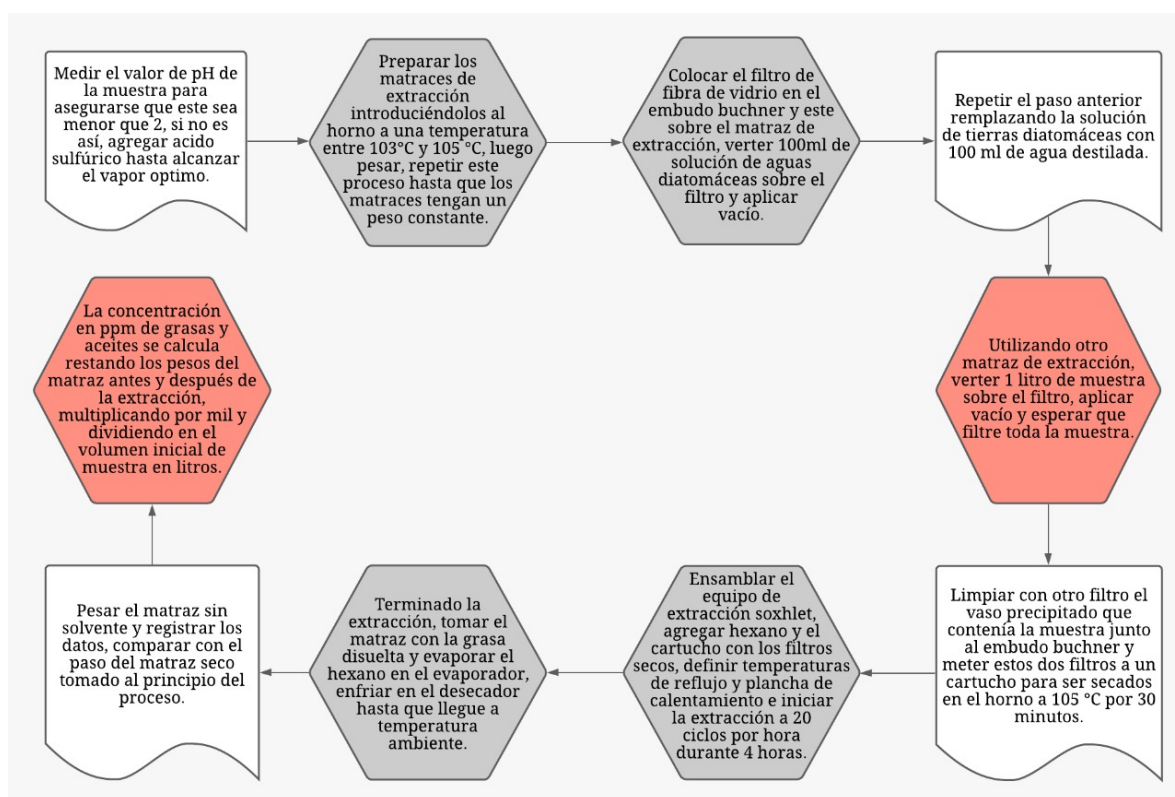
Nota. Realizado en Microsoft Visio

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Tabla 24 Resultados de la determinación de sólidos totales

Muestra	Peso capsula de porcelana [mg]	Volumen de muestra [ml]	Peso capsula de porcelana con solidos [mg]	Diferencia de pesos [mg]	Concentración ppm
1	96790	100	96809,8	19,8	198
2	96790	100	96811	21	210
3	96790	100	96810,3	20,3	203
Promedio	96790	100	96810,4	20,4	203,7

Figura 20 Metodología de la Determinación de los Aceites y Grasas

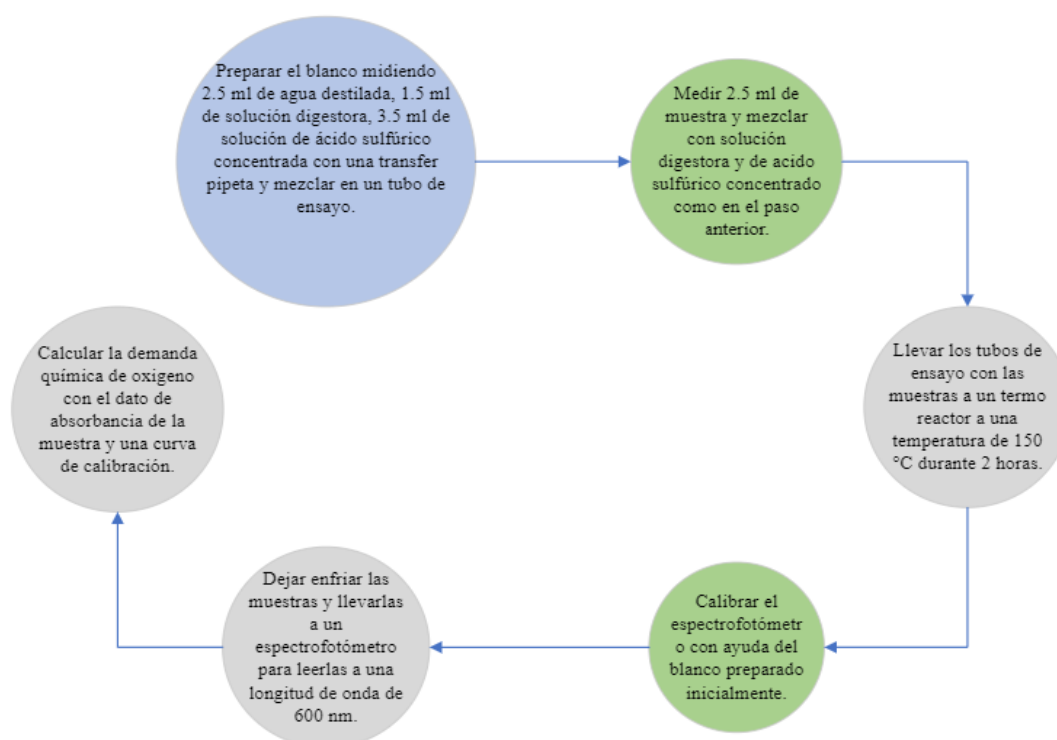


Nota. Realizado en Microsoft Visio

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Tabla 25 Resultados de la determinación de Aceites y Grasas

Muestra	Volumen [L]	pH-i	pH-f	Peso Matraz inicial [g]	Peso Matraz final [g]	Diferencia de pesos [g]	Concentración ppm
1	1	7	1,5	57,5	57,681	0,177589	177,589
2	1	6,5	1,9	57	57,231	0,187664	187,664
3	1	8	2	57,3	57,42	0,171852	171,852
Promedio	1	7,167	1,8	57,3	57,444	0,177333	179,035

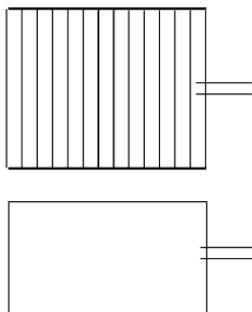
Figura 21 Metodología de la Determinación de la Demanda Química de Oxígeno

Nota. Realizado en Microsoft Visio

Apéndice C Dimensionamiento de las alternativas propuestas**Dimensionamiento del tratamiento convencional:**

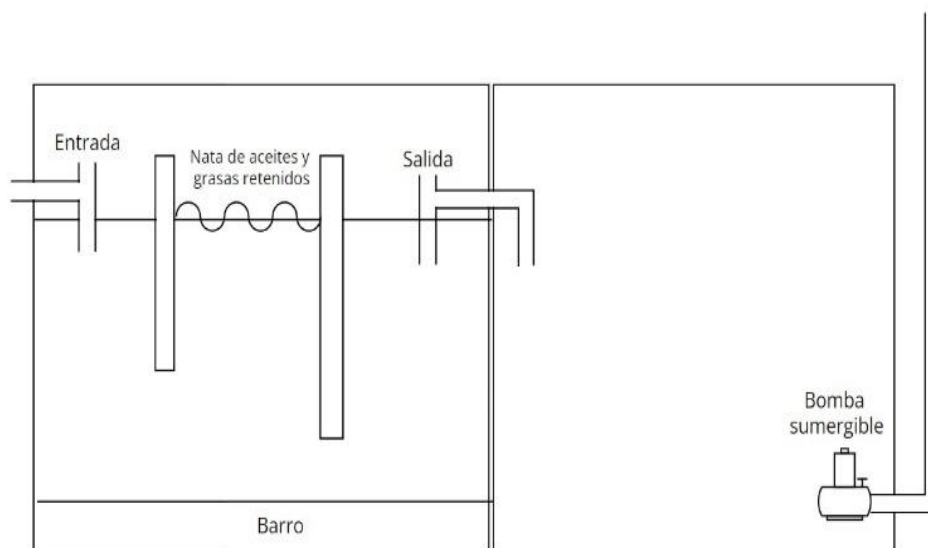
Rejilla: Funciona como un tamiz que retiene los sólidos con tamaño mayor a 5 mm

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Figura 22 Esquema de la rejilla

Nota. Realizado en Visual Paradigm Online

Trampa de grasas. El efluente sin aceites es dirigido al tanque de almacenamiento I que contiene una bomba sumergible que transporta el fluido hasta el tanque de tratamiento primario.

Figura 23 Esquema de la trampa de grasas

Nota. Realizado en Visual Paradigm Online

Tabla 26 Dimensiones de la trampa de grasas

Dimensiones de la trampa de grasa	
Ancho total [m]	1.5

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Largo total [m]	1.5
Profundidad [m]	1.5
Volumen [m³]	3.38
Diámetro de tubería de entrada y salida [m]	0,025
Angulo codo de entrada y salida	90°
Diferencia nivel entre tubería de entrada y salida [m]	0.07
Espacio entre la tapa y el nivel del líquido [m]	0.4
Distancia entre la tubería de salida y el fondo [m]	1

Sistema de Bombeo:

Cálculo de Caída de Presión ejercida por el filtro. Se calcula mediante la ecuación de Ergun, la cual se muestra a continuación

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150V_0\mu(1-\varepsilon)^2}{\Theta_s^2 D_p^2 \varepsilon^3} + \frac{1.75\rho V_0^2(1-\varepsilon)}{\Theta_s D_p \varepsilon^3} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde

ΔP = Caída de presión [Pa]

L = Longitud del lecho [m]

V_0 = velocidad de salida del agua [m/s]

μ = viscosidad del agua [P]

ε = Porosidad

Θ_s = esfericidad

D_p = Diámetro promedio de partícula [m]

ρ = Densidad del agua [Kg/m³]

Cálculo de las pérdidas de carga por tuberías y accesorios:

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Para el cálculo de las pérdidas de carga por tuberías y accesorios, Se utilizo la ecuación de Darcy Weisbach para el cálculo de dichas pérdidas, Los valores de diámetro interno de la tubería y de las constantes de pérdida de carga para los accesorios (codos) fueron extraído de la tabla H-10 y de la tabla H-11 respectivamente los cuales se encuentran en los anexos.

Estas pérdidas de carga se dan debido a la naturaleza de la tubería utilizada para conducir el agua, parámetros como la rugosidad, el diámetro interno, los accesorios que esta posee (codos, válvulas, lechos empacados (filtro), determinan que tan potente debe ser la bomba que se va a utilizar en ese punto del sistema de tratamiento. (Ec. 14)

$$hf_{1-2} = \frac{v_2^2}{2g} \left(f_D \frac{L}{D} + \sum k_c \right)$$

Donde

v_2 : Velocidad a la salida.

F: Factor de fricción propio de la Tubería.

L: Longitud total de la tubería.

D: Diámetro interno.

k_c : Coeficiente de perdida de carga debida a accesorios.

Figura 24 Datos de la tubería PVC

RDE 21 PVC		Presión de Trabajo a 23°C: 200 PSI							
26	3/4	2900237	189	26.7	1.05	1.52	0.06	23.63	
33	1	2900220	252	33.4	1.31	1.60	0.06	30.20	
42	1.1/4	2900225	395	42.2	1.66	2.01	0.08	38.14	
48	1.1/2	2902450	514	48.3	1.90	2.29	0.09	43.68	
60	2	2902453	811	60.3	2.37	2.87	0.11	54.58	
73	2.1/2	2900230	1185	73.0	2.87	3.48	0.14	66.07	
88	3	2900233	1761	88.9	3.50	4.24	0.17	80.42	
114	4	2900240	2904	114.3	4.50	5.44	0.21	103.42	
168	6	2904616	5835	168.3	6.62	8.03	0.32	152.22	

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Cálculo del factor de fricción:

El parámetro adimensional necesario para calcular las pérdidas de carga debido a la fricción se calculó con la ecuación de Swamee, que funciona si $10^{-6} < \frac{\varepsilon}{D} < 10^{-2}$ y para valores de Reynolds comprendidos entre $5000 < Re < 10^8$. Los coeficientes de rugosidad para el PVC fue extraído de la tabla H-10 la cual se encuentra en los anexos, el número de Reynolds para nuestro caso se encuentra entre 100000 y 150000.

$$f_D = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2} \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

ε : Rugosidad de la tubería.

D: Diámetro interno.

Re: Numero de Reynolds

Tabla 27 Datos de caída de presión y pérdida de carga de las bombas

Bomba	Factor de fricción	h_{TyA} (tuberías y accesorios) [m]	ΔP (filtro) [Pa]	Cabeza de bomba [m]
1	0,014	4,73	0	10,3
2	0,017	0,015	1728395	178,6
3	0,016	0,023	2753275	283,4

Cálculo de la Potencia y Caudal de Agua para las bombas. La potencia requerida por cada una de las bombas está estrechamente relacionada con el caudal de agua a impulsar y la caída de presión total (cabeza de la bomba), y se calcula mediante la siguiente expresión:

(Ec. 16)

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

$$H_p = \frac{Q * g * \rho * h_B}{746 * \eta}$$

Donde:

Q: Caudal de agua a impulsar.

g: Aceleración de la gravedad.

ρ : Velocidad a la entrada.

h_B : cabeza neta de la bomba.

η : eficiencia de la bomba.

Calculo cabeza de bomba.

Las cabezas netas, dato necesario para el cálculo de la potencia de cada bomba, fueron calculadas con base a la ecuación de balance de energía de Bernoulli.

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\varphi} + h_B = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\varphi} + hf_{1-2} \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde

h_B : cabeza neta de la bomba

h_1 : Nivel de referencia, altura de la trampa de grasa (cero).

v_1 : Velocidad a la entrada.

p_1 : Presión a la entrada.

v_2 : Velocidad a la salida.

p_2 : Presión a la salida.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

hf_{1-2} : Perdidas de carga debida a accesorios.

g : Aceleración debida a la gravedad.

Fue necesario despreciar algunos términos como v_1 , p_1 , p_2 ya que, la velocidad de entrada es despreciable, y la diferencia de presiones entre la entrada y la salida de la bomba son muy similares.

Tabla 28 Datos de cabeza y potencia de las bombas.

Bomba	Caudal [m]	Cabeza de Bomba [m]	Potencia [Hp]
1	0,005	10,3	1
2	0,017	178,6	2
3	0,016	283,4	4

Tiempo de Funcionamiento y Coste Energético: El gasto diario de agua en promedio que se gasta en el Autoservicio Mazda Servi es de 1.32 m^3 , los cuales, por inconvenientes de almacenamiento, deben ser tratados cada día, esto conlleva a que cada una de las bombas deba impulsar esa cantidad de líquido cada vez que sean puestas en marcha, y debido a que están sometidas a diferentes perdidas de carga, impulsaran un caudal diferente cada una, y funcionaran una cantidad de tiempo distinto.

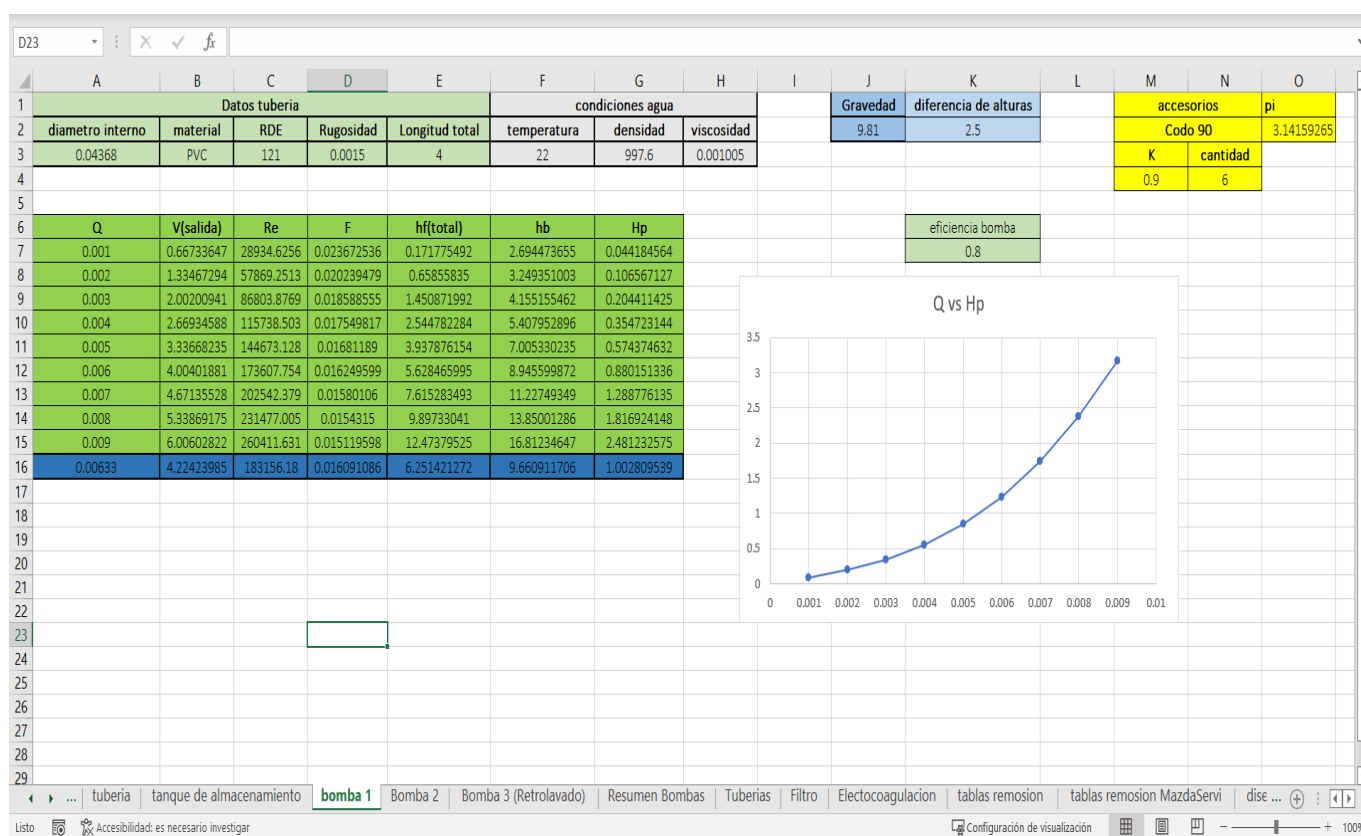
Tabla 29 Tiempo e funcionamiento y consumo eléctrico de las bombas.

Bomba	Caudal [m ³ /s]	Tiempo de funcionamiento [s]	Consumo eléctrico [kWh]
-------	----------------------------	------------------------------	-------------------------

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

1	0,005	134	0,027376944
2	0,017	39,41176471	0,016104085
3	0,016	41,875	0,034221181

Figura 25 Hoja de cálculo bomba 1



EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Figura 25 Gráfico de Caudal Q Vs Potencia para la bomba 1

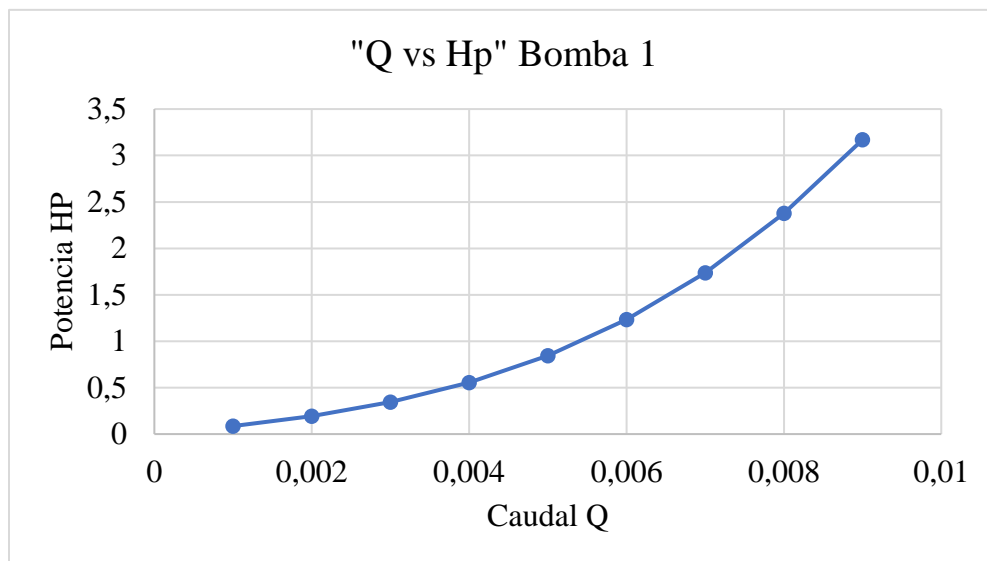


Figura 27 Hoja de cálculo para la bomba 2

Datos tubería					Condiciones del agua			Gravedad	Diferencia de alturas (m)	accesorios		pi
Diametro interno (m)	material	RDE	Rugosidad	Longitud total	Temperatura	Densidad	Viscosidad	9,81	3	Codo 90	cantidad	3,141592654
0,05458	PVC	121	0,0015	5	22	997,6	0,001005			K		
										0,9	4	

Datos del lecho			
longitud (m)	Porosidad	Esféricidad	Diametro de partícula (m)
0,776	0,47	0,77	0,00078

Q	V[salida]	Re	F (friccion)	hf(total)	ΔP	hl	hb	Hp
0,0001	0,04274084	2315,618262	0,048555064	0,000749339	60431,3131	6,174994616	9,175837063	0,015046737
0,0002	0,085481681	4631,236524	0,038763739	0,002663297	164119,8587	16,77010132	19,77313705	0,064848839
0,0003	0,128222521	6946,854786	0,034355326	0,005654004	311065,6368	31,78532012	34,7918121	0,171157107
0,0004	0,170963361	9262,473048	0,03167107	0,009685237	501268,6474	51,22065101	54,23182597	0,355722104
0,0005	0,213704201	11578,09131	0,029801802	0,014734584	734728,8905	75,07609399	78,09315627	0,640294268
0,0006	0,256445042	13893,70957	0,028396095	0,020786162	1011446,366	103,3516491	106,3757871	1,046623954
0,0007	0,299185882	16209,32783	0,027284869	0,027827844	1331421,074	136,0473162	139,0797064	1,596461459
0,0008	0,341926722	18524,9461	0,026375073	0,035849925	1694653,015	173,1630955	176,2049043	2,311557028
0,0009	0,384667562	20840,56436	0,025610574	0,044844376	2101142,188	214,6989868	217,7513729	3,21366087
0,001	0,427408403	23156,18262	0,02495516	0,054804393	2550888,593	260,6549902	263,7191054	4,32452316
0,0011	0,470149243	25471,80088	0,02438425	0,065724096	3043892,231	311,0311058	314,1080959	5,665894045
0,0012	0,512890083	27787,41914	0,023880465	0,077598333	3580153,102	365,8273334	368,9183393	7,259523649
0,0013	0,555630923	30103,03741	0,023431113	0,090422532	4159671,205	425,0436731	428,1498309	9,127162074
0,0014	0,598371764	32418,65567	0,023026669	0,104192593	4782446,54	488,6801249	491,8025667	11,2905594
0,0015	0,641112604	34734,27393	0,022659822	0,118904813	5448479,108	556,7366888	559,8765429	13,7714657
0,0016	0,683853444	37049,89219	0,022234846	0,134555819	6157768,909	629,2133648	632,3717562	16,59163101
0,0017	0,726594284	39365,51045	0,022017188	0,151142519	6910315,942	706,1101528	709,2882036	19,77280538
0,0018	0,769335125	41681,12872	0,021733167	0,168662067	7706120,207	787,427053	790,6258821	23,33673883
0,0019	0,812075965	43996,74698	0,021469772	0,187111827	8545181,705	873,1640653	876,3847891	27,30518136
0,002	0,854816805	46312,36524	0,021224513	0,20648935	9427500,436	963,3211896	966,5649222	31,69988298
0,0004556	0,194727268	10549,9568	0,030559903	0,012368131	625733,2158	63,93869403	66,95299482	0,500207681

eficiencia bomba
0,8

Caudal Q	Potencia HP
0,0001	0,015
0,0002	0,065
0,0003	0,171
0,0004	0,356
0,0005	0,640
0,0006	1,047
0,0007	1,596
0,0008	2,312
0,0009	3,214
0,001	4,325
0,0011	5,666
0,0012	7,260
0,0013	9,127
0,0014	11,291
0,0015	13,771
0,0016	16,592
0,0017	19,773
0,0018	23,337
0,0019	27,305
0,002	31,699

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Figura 26 Gráfico de Caudal Q Vs Potencia para la bomba 2

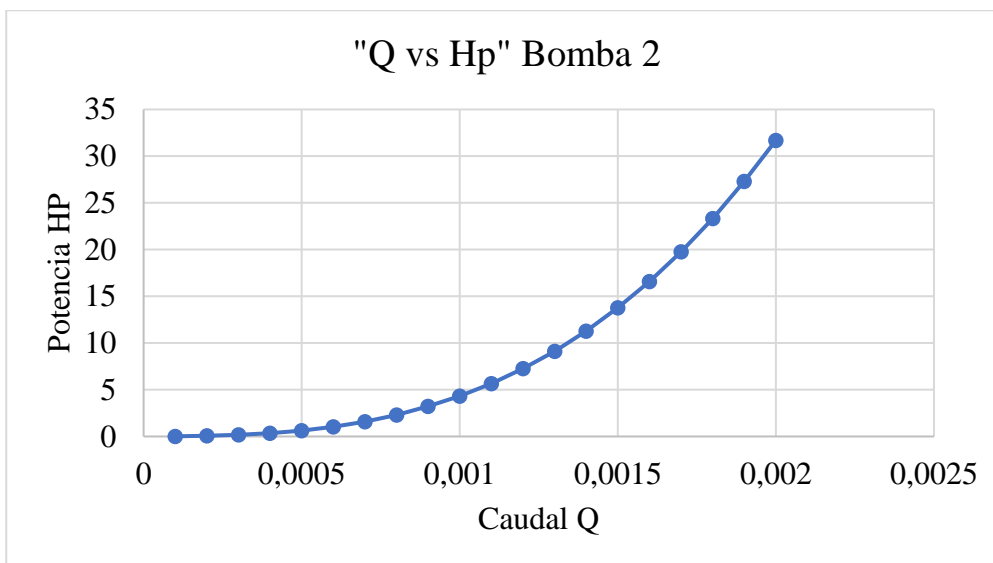
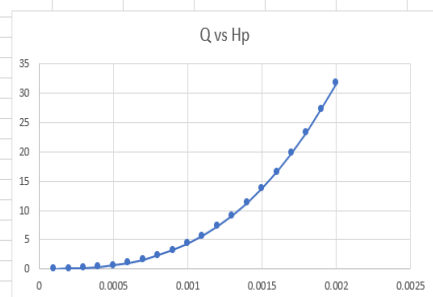
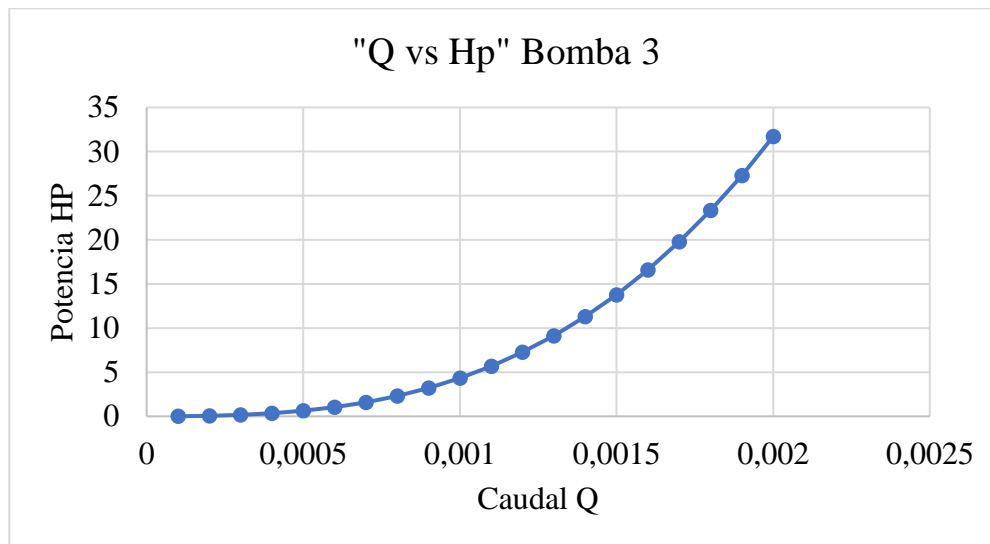
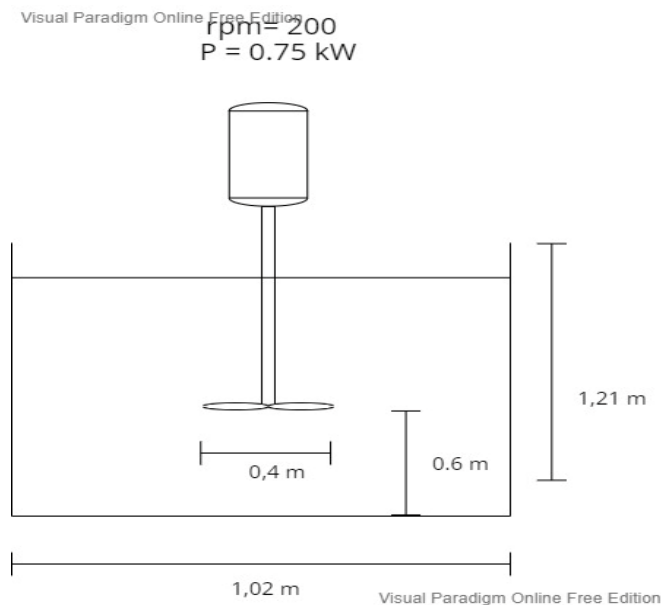


Figura 27 Hoja de cálculo para la bomba 3

Datos tubería					Condiciones del agua			Gravedad	Diferencia de alturas (m)	accesorios	pi
Diametro interno (m)	material	RDE	Rugosidad	Longitud total	Temperatura	Densidad	Viscosidad	9.81	3	Codo 90	3.14159265
0.05458	PVC	121	0.0015	5	22	997.6	0.001005			K	cantidad
										0.9	3
Datos del lecho				Diametro de partícula (m)							
longitud (m)	Porosidad	Esféricidad	0.00078								
0.78	0.47	0.77									
Q	V(salida)	Re	F (fricción)	hf(total)	ΔP	hl	hb	Hp	eficiencia bomba		
0.0001	0.04274084	2315.61826	0.04855506	0.000665542	60431.3131	6.17499462	9.175753266	0.0150466	0.8		
0.0002	0.08548168	4631.23652	0.03876374	0.002328108	164119.859	16.7701013	19.77280186	0.06484774			
0.0003	0.12822252	6946.85479	0.03435533	0.004899829	311065.637	31.7853201	34.79105792	0.1711534			
0.0004	0.17096336	9262.47305	0.03167107	0.008344481	501268.647	51.220651	54.23048522	0.35571331			
0.0005	0.2137042	11578.0913	0.0298018	0.012639654	734728.89	75.076094	78.09106134	0.64027709			
0.0006	0.25644504	13893.7096	0.0283961	0.017769462	1011446.37	103.351649	106.3727704	1.04659427			
0.0007	0.29918588	16209.3278	0.02728487	0.02372178	1331421.07	136.047316	139.0756003	1.59641433			
0.0008	0.34192672	18524.9461	0.02637507	0.030486903	1694653.01	173.163095	176.1995413	2.31148667			
0.0009	0.38466756	20840.5644	0.02561057	0.038056802	2101142.19	214.698987	217.7445854	3.2135607			
0.001	0.4274084	23156.1826	0.02495516	0.046424671	2550888.59	260.65499	263.7107257	4.32438575			
0.0011	0.47014924	25471.8009	0.02438425	0.055584632	3043892.23	311.031106	314.0979565	5.66571115			
0.0012	0.51289008	27787.4191	0.02388046	0.065531533	3580153.1	365.827333	368.9062725	7.2592862			
0.0013	0.55563092	30103.0374	0.02343111	0.076260801	4159671.2	425.043673	428.1356692	9.12686018			
0.0014	0.59837176	32418.6557	0.02302667	0.087768338	4782446.54	488.680125	491.7861424	11.2901823			
0.0015	0.6411126	34734.2739	0.02265982	0.100050439	5448479.11	556.736689	559.8576885	13.7710019			
0.0016	0.68385344	37049.8922	0.02232485	0.11310373	6157768.91	629.213365	632.3503041	16.5910682			
0.0017	0.72659428	39365.5105	0.02201719	0.126925122	6910315.94	706.110153	709.2639862	19.7721303			
0.0018	0.76933512	41681.1287	0.02173317	0.141511767	7706120.21	787.427053	790.5987318	23.3359374			
0.0019	0.81207596	43996.747	0.02146977	0.15686103	8545181.71	873.164065	876.3545383	27.3042388			
0.002	0.85481681	46312.3652	0.02122451	0.172970462	9427500.44	963.32119	966.5314033	31.6987837			
0.000973333	0.41601085	22538.6844	0.02512082	0.044115562	2426726.62	247.967867	251.0208037	4			



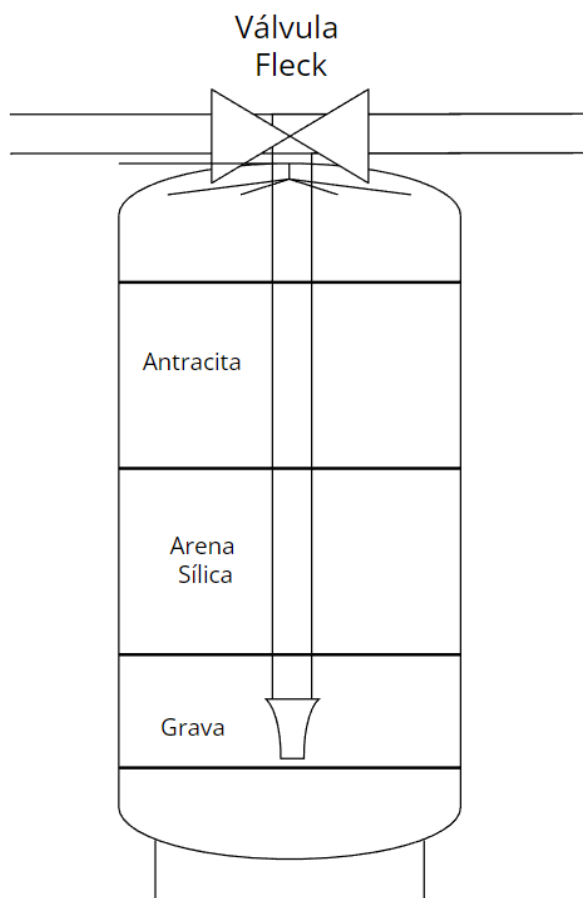
EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Figura 28 Gráfico de Caudal Q Vs Potencia para la bomba 3**Tanque de tratamiento primario.****Figura 29** Esquema del tanque de tratamiento primario

Nota. Realizado en Visual Paradigm Online

Filtro.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Figura 30 Esquema del filtro

Nota. Realizado en Visual Paradigm Online

Tabla 30 Datos del material filtrante.

Material	Tamaño partícula (mm)	Esfericidad	Porosidad	Gravedad específica
Arena sílica	0,48	0,86	0,35	2,55
Antracita	0,6	0,7	0,5	1,69
Grava sílica	0,96	0,75	0,55	2,55

Nota. Adaptado de (Sanders, 1998)

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Figura 31 Ficha técnica del filtro escogido

Filtros manuales											
Código	Tamaño del tanque (in)	Volumen de cama (ft ³)	Flujo de serv. normal		Flujo de serv. máximo		Flujo de retrolavado		Válvula	Conexiones	
			lpm	gpm	lpm	gpm	lpm	gpm		Manual Purago	Entrada/Salida
P_611001	8*44	0.75	9	2.5	13.2	3.5	26.50	7.00	F1	1"	1"
P_611002	9*48	1.00	12	3.1	16.7	4.4	34.07	9.00	F1	1"	1"
P_611003	10*54	1.50	15	3.9	20.8	5.5	37.85	10.00	F1	1"	1"
P_611004	12*52	2.00	21	5.5	29.9	7.9	56.78	15.00	F1	1"	1"
P_611005	13*54	2.50	24	6.4	34.8	9.2	71.92	19.00	F1	1"	1"
P_611006	14*65	3.00	28	7.5	40.5	10.7	83.27	22.00	F2	2"	2"
P_611007	16*65	4.00	37	9.8	53.0	14.0	109.77	29.00	F2	2"	2"
P_611008	18*65	5.00	47	12.4	67.0	17.7	140.05	37.00	F2	2"	2"
P_611009	21*62	7.00	64	16.9	91.2	24.1	166.54	44.00	F2	2"	2"

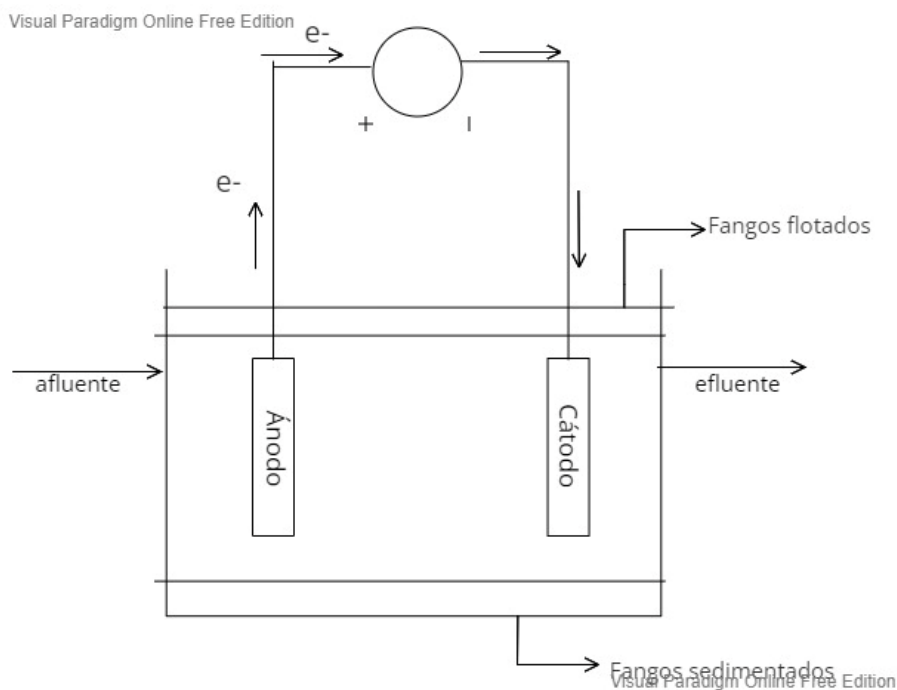
Tabla 31 Dimensiones del filtro

Dimensiones del Filtro	
Altura, in	52
Diámetro, in	12
Flujo de servicio máximo, l/min	29,9
Conexiones entrada/salida, in	1
Flujo retro lavado, l/min	58,4
Presión de operación, psi	90,2
Lecho filtrante	
Volumen, ft ³	2
Largo, in	30,6
Diámetro, in	12
Diámetro partícula promedio, mm	0,78
Esfericidad promedio, mm	0,77
Porosidad promedio, mm	0,47

Nota. Extraído de (Carbotecnia, n.d.). Los valores originales están expresados en unidades del sistema inglés.

Dimensionamiento del sistema electroquímico.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Figura 32 Esquema del reactor electroquímico

Nota. Realizado en Visual Paradigm Online

A continuación, se muestran las especificaciones más relevantes de la fuente de poder:

Tabla 32 Propiedades generales fuente de poder de alta potencia.

Fuente de poder 615-PVS60085MR	
Voltaje de entrada [VAC]	170 - 265
Numero de salidas	1
Voltaje de salida-canal 1 [VDC]	0 - 600
Corriente de salida-canal 1 [A]	0 - 8,5
Potencia de salida [Kw]	3
Tipo de pantalla	VFD
Voltaje de suministro de CA [VAC]	170 a 265

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Marca	B&K Precision
Tipo de cable	North American Power Cord Included
Serie	PVS

Nota. Adaptado de (Arango Gómez et al., 2008)

Tiempo de Funcionamiento de las Celdas.

En la tabla se muestran los valores de los cambios de concentración de algunas propiedades los cuales fueron adaptados del ensayo a escala de laboratorio realizado por Sebastián Arango Gómez y Andrés López Gutiérrez en un taller automotriz de lavado de autopartes en la ciudad de Medellín, los cuales aplicaron un tratamiento electroquímico a una muestra de agua residual de 2 litros, utilizando 6 electrodos de aluminio, induciendo un voltaje de 10 Voltios y un amperaje de 1 amperio, los resultados fueron publicados en el documento titulado “Tratamiento de aguas residuales del proceso de desengrase de autopartes con fines de re uso” el tiempo de aplicación de la corriente eléctrica se determinó utilizando los valores máximos admisibles por la autoridad ambiental.

Tabla 33 Resultados de remoción obtenidos por (Arango Gómez et al., 2008)

Tiempo [min]	DQO [mg/L]	Remoción [%]	DBO [mg/L]	Remoción [%]	Concentración de grasas y aceites [mg/L]	Remoción [%]
0	900	0	1100	0	179	0
30	643,23	28,53	848,21	22,89	39,6306	77,86
90	552,06	38,66	728,97	33,73	27,0648	84,88
120	444,33	50,63	649,44	40,96	17,2735	90,35
180	303,57	66,27	437,36	60,24	9,0395	94,95

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

240	228,96	74,56	331,32	69,88	-	-
320	187,56	79,16	291,61	73,49	-	-
360	150,3	83,3	238,59	78,31	-	-
420	113,04	87,44	198,77	81,93	-	-
480	66,6	92,6	70,4	93,6	-	-

Nota. Adaptado de(Arango Gómez et al., 2008)

Tabla 34 Resultados remoción de Aceites y grasas

Tiempo [min]	Concentración de grasas [mg/L]	% Remoción
0	832	0
30	184,2	77,86
90	125,8	84,88
7120	80,25	90,35
180	41,9	94,95

Tabla 35 Resultados remoción de DQO

Tiempo [min]	DQO [mg/L]	% Remoción
0	5432	0
30	3882	28,53
90	3332	38,66
120	2682	50,63
180	1832	66,27

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

240	1382	74,56
320	1132	79,16
360	907	83,3
420	682	87,44
480	547	92,6

Tabla 36 Remoción de DBO

Tiempo [min]	DBO [mg/L]	% Remoción
0	4150	0
30	3200	22,89
90	2750	33,73
120	2450	40,96
180	1650	60,24
240	1250	69,88
320	1110	73,49
360	900	78,31
420	750	81,93
480	265	93,6

A continuación, se muestra la tabla con las concentraciones máximas admisibles para el vertimiento del agua contaminada producida en el taller Mazda Servi y su respectivo tiempo necesario de aplicación de energía eléctrica para alcanzar estos valores máximos admisibles.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Tabla 37 *Tiempo necesario para alcanzar los valores óptimos.*

Parámetro	Valor máximo admisible [mg/L]	Tiempo de funcionamiento [min]
Grasas y aceites	15	145
DQO	75	470
DBO	225	376

Nota. Ya que no se tienen valores de tiempo para esas concentraciones, se decidió realizar una interpolación lineal para encontrar el tiempo ideal de funcionamiento.

Según los resultados obtenidos el tiempo ideal para el funcionamiento del sistema es de 470 minutos o 8 horas, precisamente porque en este tiempo se alcanza una concentración de DQO de 75 mg/L la cual es la que más tarda en alcanzarse. Las concentraciones finales con 470 minutos de aplicación de corriente eléctrica serán:

Tabla 38 *Concentración final estimada.*

Parámetro	Valor final [mg/L]
Grasas y aceites	2
DQO	75
DBO	101,5

Consumo y potencia eléctrica:

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Basándonos en los valores de voltaje y amperaje aplicados a los 2 litros de agua residual, se calculó la densidad de energía por metro cubico necesaria para alcanzar los valores de porcentaje de remisión necesarios.

Tabla 39 Datos de la fuente de poder

Fuente de poder 615-PVS60085MR	
Voltaje de entrada [VAC]	170 - 265
Numero de salidas	1
Voltaje de salida-canal 1 [VDC]	0 – 600
Corriente de salida-canal 1 [A]	0 - 8,5
Potencia de salida [kW]	3
Tipo de pantalla	VFD
Voltaje de suministro de CA [VCA]	170 – 265
Marca	B&K Precision
Tipo de cable	North American Power Cord Included
Serie	PVS

Nota. Adaptado de (Arango Gómez et al., 2008)

Tabla 40 Dimensiones del tanque de almacenamiento final

Dimensiones del tanque de almacenamiento final	
Caudal de diseño [m3/s]	0,0004556
Volumen teórico [m3]	1,73
Volumen (tanque disponible) [m3]	2
Altura (H) [m]	1,55
Diámetro (D) [m]	1,52
Tiempo de llenado [min]	49

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Apéndice D Evaluación económica

Tabla 41 Ahorro en \$ pesos m.c del servicio de agua

Consumo total anual sin tratamiento	Consumo total anual con tratamiento
\$2'956.439	\$995.073

Determinación del CAPEX o costos de inversión

El Capital Expenditure o costos de capital corresponde a los costos de inversión de la infraestructura, las conexiones hidráulicas, equipos eléctricos y mecánicos. Para el cálculo del CAPEX se tuvo en cuenta la tasa de depreciación y la vida útil de cada componente.

Tabla 42 *Resumen de inversiones Alternativa 1*

Resumen de inversiones alternativa 1		
Descripción	Valor	Porcentaje [%]
Inversión fija	\$ 7,131,163	68.10
Inversión diferida	\$ 2,340,000	22.35
Capital de operación	\$ 1,000,000	9.55
Total	\$ 10,471,163	100.00

Tabla 43 *Resumen de inversiones Alternativa 2*

Resumen de inversiones alternativa 2		
Descripción	Valor	Porcentaje [%]
Inversión fija	\$ 28,551,010	88.83
Inversión diferida	\$ 2,590,000	8
Capital de operación	\$ 1,000,000	3.11
Total	\$ 32,141,010	100.00

Descripción de la inversión fija.**Tabla 44** *Inversiones fijas Alternativa 1*

Inversión fija alternativa 1		
Descripción	Valor	Porcentaje [%]
Equipos	\$6,701,163	93.97
Construcciones y obras civiles	\$430,000	6.00
Total	\$ 7,131,163.00	100.00

Tabla 45 *Inversiones fijas Alternativa 2*

Inversión fija alternativa 2		
Descripción	Valor	Porcentaje [%]
Equipos	\$ 28,121,010	98.49
Construcciones y obras civiles	\$ 430,000	1.51
Total	\$ 28,551,010.00	100.00

Descripción de la inversión diferida.**Tabla 46** *Inversión diferida Alternativa 1*

Inversión diferida alternativa 1		
Descripción	valor	Porcentaje
Montaje de equipos	\$ 640,000	27.35%
Estudios	\$ 1,700,000	72.65%
Total	\$ 2,340,000	100.00%

Tabla 47 *Inversión diferida Alternativa 2*

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Inversión diferida alternativa 2		
Descripción	Valor	Porcentaje
Montaje de equipos	\$ 890,000	34.36%
Estudios	\$ 1,700,000	65.64%
Total	\$ 2,590,000	100.00%

Descripción de los equipos requeridos:**Tabla 48** Descripción de equipos Alternativa 1

Equipos requeridos alternativa 1					
Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Vida útil años	Costo de depreciación
Rejilla de acero inoxidable	1	150,000	\$ 150,000	60	\$ 2,500
Tanque plástico	1	727,700	\$ 727,700	10	\$ 72,770
Filtro	1	1,700,000	\$ 1,700,000	10	\$ 170,000
Mezclador mecánico	1	1,200,000	\$ 1,200,000	15	\$ 80,000
Válvula de globo	5	\$ 20,000	\$ 100,000	25	\$ 4,000
Válvula de 1"	2	\$ 5,000	\$ 10,000	25	\$ 400
Codos	20	\$ 1,000	\$ 20,000	25	\$ 800
Tuberías	40	\$ 5,000	\$ 200,000	25	\$ 8,000
Accesorios PVC de 1/2" y 1"	15	\$ 1,000	\$ 15,000	25	\$ 600
Bomba sumergible	1	\$1,474,410	\$ 1,474,410	25	\$ 58,976
Bomba centrífuga 2	1	\$ 574,770	\$ 574,770	25	\$ 22,991
Bomba centrífuga	1	\$ 1,000,000	\$ 1,000,000	25	\$ 40,000
Total			\$ 7,171,880	25	\$ 286,875

Tabla 49 Descripción de equipos Alternativa 2

Equipos requeridos alternativa 2					
Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Vida útil	Costo de depreciación
Rejilla de acero inoxidable	1	\$ 150,000	\$ 150,000	60	\$ 2,500
Planchas de acrílico	6	\$ 138,600	\$ 831,600	10	\$ 83,160
Soportes para electrodos	4	\$ 5,000	\$ 20,000	10	\$ 2,000

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Fuente de poder	1	\$ 21,500,000	\$ 21,500,000	15	\$ 1,433,333
Filtro	1	\$ 1,700,000	\$ 1,700,000	10	\$ 170,000
Cableado	10	\$ 5,000	\$ 50,000	10	\$ 5,000
Plancha de aluminio	2	\$ 50,000	\$ 100,000	80	\$ 1,250
Válvula de globo	5	\$ 20,000	\$ 100,000	25	\$ 4,000
Válvula de 1"	2	\$ 5,000	\$ 10,000	25	\$ 400
Codos	20	\$ 1,000	\$ 20,000	25	\$ 800
Tuberías	40	\$ 5,000	\$ 200,000	25	\$ 8,000
Accesorios PVC de 1/2" y 1"	15	\$ 1,000	\$ 15,000	25	\$ 600
Bomba sumergible	1	1474410	\$ 1,474,410	25	\$ 58,976
Bomba centrífuga 2	1	\$ 950,000	\$ 950,000	25	\$ 38,000
Bomba centrífuga	1	\$1,000,000	\$ 1,000,000	25	\$ 40,000
Total			\$ 28,121,010		\$ 1,848,020

Costos de montaje y obras civiles requeridos.**Tabla 50** *Costos de montaje Alternativa*

Costos de montaje alternativa 1		
Descripción	Mano de obra	Material
Rejillas	\$20,000	\$20,000
Tubería tramo 1	\$50,000	\$5,000
Bomba 1	\$50,000	\$0
Tubería tramo 2	\$30,000	\$10,000
Reactor coagulación química	\$50,000	\$0
Bomba 2	\$50,000	\$0
Tubería tramo 3	\$50,000	\$5,000
Filtro	\$50,000	\$0
Tanque almacenamiento final	\$50,000	\$10,000
Tubería tramo 4	\$100,000	\$30,000
Tubería retro lavado	\$50,000	\$10,000
Subtotal	\$550,000	\$90,000
Total		\$640,000
Costos de obras civiles alternativa 1		
Descripción	Mano de obra	Material
Tanque almacenamiento 1	\$150,000	\$200,000
Canal para rejillas	\$80,000	\$0
Subtotal	\$230,000	\$200,000
Total		\$430,000

Tabla 51 *Costos de montaje Alternativa 2*

Costos de montaje alternativa 2		
Descripción	Mano de obra	Material
Rejillas	\$20,000	\$20,000
Tubería tramo 1	\$50,000	\$5,000
Bomba 1	\$50,000	\$0
Tubería tramo 2	\$30,000	\$10,000
Reactor electrocoagulación	\$200,000	\$100,000
Bomba 2	\$50,000	\$0
Tubería tramo 3	\$50,000	\$5,000
Filtro	\$50,000	\$0
Tanque almacenamiento final	\$50,000	\$10,000
Tubería tramo 4	\$100,000	\$30,000
Tubería retro lavado	\$50,000	\$10,000
Subtotal	\$700,000	\$190,000
Total	\$890,000	
Costos de obras civiles alternativa 2		
Descripción	Mano de obra	Material
Tanque almacenamiento 1	\$150,000	\$200,000
Canal para rejillas	\$80,000	\$0
Subtotal	\$230,000	\$200,000
Total	\$430,000	

Descripción de los costos de operación OPEX:**Tabla 52** *Costos de operación OPEX Alternativa 1*

Costos de operación Alternativa 1		
Descripción	Valor	Porcentaje [%]
Costos operativos	\$65,606	12
Consumo de energía	\$60,307	11
Gastos de mantenimiento	\$420,000	77
Total	\$545,914	100

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Tabla 55 *Costos de operación OPEX Alternativa 2*

Costos de operación Alternativa 1		
Descripción	Valor	Porcentaje [%]
Costos operativos	\$ 0.00	0.00
Consumo de energía	\$ 11,489,460	96
Gastos de mantenimiento	\$ 520,000	4
Total	\$ 12,009,460	100

Costos de mantenimiento.**Tabla 53** *Tabla 56 Costos de mantenimiento Alternativa 1*

Costos de mantenimiento Alternativa 1			
Descripción	Periodo	Costo trimestral	Costo anual
Disposición de lodos	Trimestral	\$ 80,000	\$ 320,000
Cambio lecho filtrante	Anual	\$ 100,000	\$ 100,000
Total			\$ 420,000

Tabla 54 *Costos de mantenimiento Alternativa 2*

Costos de mantenimiento Alternativa 2			
Descripción	Periodo	Costo semestral	Costo anual
Reemplazo de electrodos	Anual	\$ 100,000	\$ 100,000
Cambio lecho filtrante	Anual	\$ 100,000	\$ 100,000
Disposición de lodos	Trimestral	\$ 80,000	\$ 320,000
Total			\$ 520,000

Cálculo de la tasa de descuento WACC.

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Tabla 55 Cálculo de la tasa de descuento para la Alternativa 1

Cálculo del WACC Alternativa 1		
Inversión inicial requerida		Rubros
Inversión fija		\$ 7.131.163
Capital de operación		\$ 1.000.000
Total, financiamiento		\$ 8.131.163
Condición financiamiento		Rubros
Deuda largo plazo		60%
Capital		40%
Estructura de capital	Tasa	Rubros
Deuda largo plazo	15%	\$ 4.878.698
Capital		\$ 3.252.465
Total		\$ 8,131,163
Wacc = (wd*kd*(1-t)) + (we*rp)		Rubros
Wd =		60%
Kd (tasa de financiamiento 1) =		10.5%
T* =		0%
We =		40%
Rp = tasa mínima atractiva de retorno		15.5%
Wacc =		.5%

Tabla 56 Calculo de la tasa de descuento para la Alternativa 2

Cálculo del WACC Alternativa 2	
Inversión inicial requerida	Rubros
Inversión fija	\$ 28,551,010
Capital de operación	\$ 1,000,000
Total, financiamiento	\$ 29,551,010
Condición financiamiento	Rubros
Deuda largo plazo	80%
Capital	20%

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Estructura de capital	Tasa	Rubros
Deuda largo plazo	10.5%	\$ 23,640,808
Capital		5,910,202
Total		29,551,010
Wacc = (wd*kd*(1-t)) + (we*rp)		Rubros
Wd =		80%
Kd (tasa de financiamiento 1) =		10.5%
T* =		0%
We =		20%
Rp = tasa mínima atractiva de retorno		15.5%
Wacc =		11.5%

Financiamiento:**Tabla 57** Resumen financiero para las alternativas propuestas

Resumen financiamiento bancario		
Descripción	Alternativa 1	Alternativa 2
Monto de préstamo	\$ 6.282.698	\$ 25,712,808
Periodo de pago	Semestral	Semestral
Periodos	10	20
Periodos por año	2	2
Tasa de interés	10,5%	10,5%
Pago	-\$ 1.044.545	-\$ 3.123.933

Tabla 58 Amortización anual Alternativa 1

Amortización anual Alternativa 1			
Año	Intereses	Amortización	Cuota
1	\$1.278.956	\$810.133	\$2.089.089
2	\$1.099.896	\$989.193	\$2.089.089
3	881.260	\$1.207.829	\$2.089.089

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

4	\$614.300	\$1.474.789	\$2.089.089
5	\$288.335	\$1.800.754	\$2.089.089

Tabla 59 Amortización anual Alternativa 2

Amortización anual Alternativa 2			
Año	Intereses	Amortización	Cuota
1	\$ 5.355.160	\$ 892.706	\$ 6.247.866
2	\$ 5.157.850	\$ 1.090.016	\$ 6.247.866
3	\$ 4.916.929	\$ 1.330.937	\$ 6.247.866
4	\$ 4.622.759	\$ 1.625.107	\$ 6.247.866
5	\$ 4.263.570	\$ 1.984.296	\$ 6.247.866
6	\$ 3.824.991	\$ 2.422.875	\$ 6.247.866
7	\$ 3.289.475	\$ 2.958.391	\$ 6.247.866
8	\$ 2.635.597	\$ 3.612.269	\$ 6.247.866
9	\$ 1.837.195	\$ 4.410.671	\$ 6.247.866
10	\$ 862.326	\$ 5.385.540	\$ 6.247.866

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Flujos de caja:*Tabla 60 Flujo de caja para la alternativa 1*

Año	Flujo de caja Alternativa 1										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consumo de agua con planta		\$2.956.43	\$3.252.08	\$3.577.29	\$3.935.02	\$4.328.52	\$4.761.37	\$5.237.51	\$5.761.26	\$6.337.38	\$6.971.1
		9	2	1	0	2	4	1	2	9	28
Consumo de agua sin planta		\$995.073	\$1.094.58	\$1.204.03	\$1.324.44	\$1.456.88	\$1.602.57	\$1.762.83	\$1.939.11	\$2.133.02	\$2.346.3
			1	9	3	7	6	3	7	8	31
Ahorro Bruto		\$1.961.36	\$2.157.50	\$2.373.25	\$2.610.57	\$2.871.63	\$3.158.79	\$3.474.67	\$3.822.14	\$4.204.36	\$4.624.7
		5	2	2	7	5	8	8	6	0	96
Egresos											
Costos de operación		\$607.518	\$629.996	\$653.306	\$677.478	\$702.545	\$728.539	\$755.495	\$783.448	\$812.436	\$842.49
											6
Gastos financieros		\$2.089.08	\$2.089.08	\$2.089.08	\$2.089.08	\$2.089.08					
		9	9	9	9	9					

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Financiamiento	\$6.282.69											
(60% de la inversión)	8											
Ahorro neto	-\$4.188.465	-\$735.242	-\$561.583	-\$369.143	-\$155.990	\$80.001	\$2.430.25	\$2.719.18	\$3.038.69	\$3.391.92	\$6.030.80	
							9	3	7	4	8	

Tabla 61 Flujo de caja para la alternativa 2

Año	Flujo de caja Alternativa 2										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consumo de agua con planta		\$2.956.439	\$3.252.082	\$3.577.291	\$3.935.020	\$4.328.522	\$4.761.374	\$5.237.511	\$5.761.262	\$6.337.389	\$6.971.128
Consumo de agua sin planta	\$995.073,46	\$1.094.580,81	\$1.204.038,89	\$1.324.442,78	\$1.456.887,05	\$1.602.575,76	\$1.762.833,33	\$1.939.116,67	\$2.133.028,33	\$2.346.331,17	

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Valores de
rescate y capital

\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$9.384.813
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------------

Inversión
inicial

-\$32.141.010

Financiamiento
(80% de la inversión)

\$25.712.808

-\$6.428.202	-\$16.295.960	\$16.544.174	\$16.789.215	\$17.029.730	\$17.264.192	\$17.490.883	\$17.707.871	\$17.912.986	\$18.103.801	-\$8.892.783
--------------	---------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Análisis de sensibilidad del precio del m³ de agua potable:*Tabla 62 Sensibilidad del precio del agua potable para la alternativa 1*

Sensibilidad Alternativa 1		
Variación precio de agua potable	VPN	TIR
0%	\$1.009.625	14,94%
50%	\$10.483.819	37,28%
100%	\$16.799.949	52,56%
150%	\$26.274.143	76,76%
200%	\$32.590.272	93,67%
250%	\$38.906.401	111,06%

Tabla 63 Sensibilidad del precio del agua potable para la alternativa 2

Sensibilidad Alternativa 2		
Variación precio de agua potable	VPN	TIR
0%	-102155386,4	#¡NUM!
100%	-\$85.592.258,66	#¡NUM!
200%	-\$69.029.130,92	#¡NUM!
300%	-\$52.466.003,19	#¡NUM!
400%	-\$35.902.875,46	#¡NUM!
500%	-\$19.339.747,72	-8%
600%	-\$2.776.619,99	9%
700%	\$13.786.507,75	25%
800%	\$30.349.635,48	43%
900%	\$46.912.763,22	63%
1000%	\$63.475.890,95	86%
1050%	\$71.757.454,82	99%

Sensibilidad Alternativa 1

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA

Variación precio de energía, kW/h	VPN	TIR
-50%	\$1.603.231	16,38%
-40%	\$1.567.583	16,29%
-30%	\$1.531.935	16,21%
-20%	\$1.496.287	16,12%
-10%	\$1.460.639	16,03%
0%	\$1.424.992	15,95%
10%	\$1.389.344	15,86%
20%	\$1.353.696	15,77%

Sensibilidad Alternativa 2

Variación precio de energía, kW/h	VPN
-80%	-\$41.375.052,21
-70%	-\$48.972.593,99
-60%	-\$56.570.135,76
-50%	-\$64.167.677,53
-40%	-\$71.765.219,30
-30%	-\$79.362.761,08
-20%	-\$86.960.302,85
-10%	-\$94.557.844,62
0%	-\$102.155.386,39
10%	-\$109.752.928,17

Tabla 64 Parámetros y concentraciones de efluentes brutos de revisiones de motores.

Parámetro	Unidad	Valor
DQO	mg/L	3418
Fosforo	mg/L	2.08
Aceites y Grasas	mg/L	401
Sólidos suspendidos totales	mg/L	714
Surfactantes	mg/L	1.95
pH	-	9.2
Temperatura	°C	19.66
Turbidez	NTU	650

Nota. Adaptado de (Dalabona, 2012)