

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

Diseño y Prototipado de un Interceptor Hidromecánico de Aceites y Grasas para los Efluentes Generados de los Laboratorios del CHAT de la Universidad San Francisco de Quito

Verónica Anahí Urquiza Méndez

Ingeniería Ambiental

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
INGENIERA AMBIENTAL

Quito, 22 de diciembre de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Diseño y Prototipado de un Interceptor Hidromecánico de Aceites
y Grasas para los Efluentes Generados por los Lavabos de los
Laboratorios del Colegio de Hospitalidad, Arte Culinario y
Turismo (CHAT) de la Universidad San Francisco de Quito
(USFQ)**

Verónica Anahí Urquizo Méndez

Nombre del profesor, Título académico

Fernando Nicolás Vela, PhD.

Quito, 22 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

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

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

Nombres y apellidos: Verónica Anahí Urquizo Méndez

Código: 00205451

Cédula de identidad: 1720842762

Lugar y fecha: Quito, 22 de diciembre de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

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

UNPUBLISHED DOCUMENT

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

RESUMEN

La industria restaurantera está en crecimiento y con ella el uso de aceites y grasas en la preparación de alimentos, un litro de aceite usado es capaz de contaminar 40 000 litros de agua. En Ecuador, aproximadamente, solo el 12% de las aguas residuales son tratadas dejando el 88% de estas libres a la descarga en ríos y quebradas, causando alteraciones en el ciclo del agua y consecuentemente en la relación simbiótica del ecosistema acuático. El presente trabajo tiene como objetivo determinar la viabilidad técnica y prototipado de un dispositivo de remoción hidromecánica de aceites y grasas de volumen reducido, para combatir la polución de estas. Se propuso una reducción del 50% de volumen de un dispositivo convencional y distintas mejoras mecánicas: filtro de mallado 300, filtro de carbón activado e inducción de aire. Todo con el fin de tratar los efluentes generados por los lavabos de los laboratorios del Colegio de Hospitalidad, Arte Culinario y Turismo (CHAT) de la Universidad San Francisco de Quito (USFQ), ya que las trampas de grasa implementadas no cumplían con su objetivo al tener una remoción del 79.22% de aceites y grasas. Se determinaron dimensiones para el dispositivo de 0.90 x 0.55 x 0.50 m, y dos caudales: 0.3 y 0.6 Ls-1. Se construyó un prototipo de acrílico de 6 mm de espesor y se implementaron las mejoras en distintas pruebas para analizar el impacto en la eficiencia por cada una. De igual manera, se realizó un análisis tecno-económico del tratamiento de un m³ de agua residual con el dispositivo. Tras el análisis de eficiencias, se estableció que la mejor configuración del dispositivo, con una eficiencia de remoción de 99.91% de aceites y grasas, fue la prueba experimental que incluía la implementación de aireación, filtro de malla y el filtro de carbón activado con el caudal mínimo. Por otro lado, el precio de venta mínimo, para obtener ganancias, sería de 0.80 dólares por cada m³ de agua residual tratado. Con base en los resultados obtenidos, se determinó de manera eficaz la viabilidad técnica de un dispositivo hidromecánico de aceites y grasas de volumen reducido, al

igual que la construcción del prototipo para el mismo, que pueda de manera precisa y efectiva combatir la contaminación hídrica de aceites y grasas.

Palabras clave: aceites y grasas, agua residual, interceptor hidromecánico, contaminación hídrica, prototipo, aireación, filtro mallado, filtro de carbón activado, eficiencia, remoción, análisis técnico económico

ABSTRACT

The restaurant industry is growing and with it, the use of oils and greases in food preparation, one liter of used oil can contaminate 40,000 liters of water. In Ecuador, approximately, only 12% of wastewater is treated, leaving the 88% for free discharge into rivers and streams, causing alterations in the water cycle and consequently in the symbiotic relationship of the aquatic ecosystem. The objective of this work is to determine the technical feasibility and prototyping of a device for the hydromechanical removal of oils and greases of reduced volume, to combat their pollution. A 50% volume reduction of a conventional device was proposed as well as different mechanical improvements: 300 mesh filter, activated carbon filter, and air induction. Everything to treat the effluents generated by the sinks in the laboratories of the Colegio de Hospitalidad, Arte culinario y Turismo (CHAT) of the Universidad San Francisco de Quito (USFQ), since the grease traps implemented did not meet their objective by having a removal efficiency of 79.22% of oils and greases. Dimensions of 0.90 x 0.55 x 0.50 m were determined for the device, and two flow rates: 0.3 and 0.6 Ls⁻¹. A 6 mm thick acrylic prototype was built, and the improvements were implemented in different tests to analyze the impact on efficiency for each one. Likewise, a techno-economic analysis of the treatment of one m³ of wastewater with the device was carried out. After the analysis of the efficiencies, it was established that the best configuration of the device, with a removal efficiency of 99.91% of oils and greases, was the experimental test that included the implementation of aeration, the mesh filter, and the activated carbon filter with the minimum flow. On the other hand, the minimum sale price, to obtain profits, would be 0.80 dollars for each m³ of wastewater treated. Based on the results obtained, the technical feasibility of a small-volume hydromechanical device for oils and greases was effectively determined, as well as the construction of its prototype, which can accurately and effectively combat water pollution from oils and greases.

Keywords: oils and greases, hydromechanical interceptor, wastewater, water pollution, prototype, aeration, mesh filter, activated carbon filter, efficiency, removal, techno-economic analysis

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Antecedentes.....	14
1.2 Justificación.....	16
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo general.....	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
2. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	19
2.1 Criterios de diseño.....	22
2.1.1 Cámaras.....	22
2.1.2 Nivel freático.....	23
2.1.3 Tiempo de retención.....	23
2.1.4 Caudal.....	24
2.1.5 Velocidad de separación.....	25
2.1.6 Turbulencia.....	26
2.2 Diseño experimental.....	27
2.3 Dimensionamiento y configuración del dispositivo.....	29
2.3.1 Dimensiones del dispositivo.....	29
2.3.2 Depósito de grasa.....	29
2.3.3 Volumen Útil.....	30
2.3.4 Configuración del dispositivo.....	30
2.4 Prototipado y construcción.....	33
2.5 Pruebas experimentales.....	39
2.5.1 Características químicas de aguas residuales.....	39
2.5.2 Características físicas de aguas residuales.....	41
2.5.3 Análisis de laboratorio.....	41
2.5.4 Eficiencia.....	45
2.6 Análisis tecno-económico.....	47
2.6.1 Valoración económica.....	47
2.6.2 Análisis de sensibilidad económica.....	48
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
3.1 Variables de diseño.....	52
3.2 Análisis de pruebas experimentales.....	56
3.2.1 Parámetros iniciales del afluente.....	57

3.2.2	Parámetros del efluente tratado.....	60
3.2.3	Eficiencias.....	62
3.3	Análisis tecno-económico.....	64
3.3.1	Valoración económica.....	64
3.3.2	Sensibilidad económica.....	66
4.	Conclusiones.....	74
5.	Referencias.....	78
6.	ANEXOS.....	86
6.1	Anexo A: Construcción del dispositivo.....	86
6.2	Anexo B. Análisis trampa de grasa de las cocinas del CHAT.....	92
6.3	Anexo C: Preparación y análisis muestras del dispositivo.....	96
6.4	Anexo D: Cálculos.....	98
6.5	Anexo E: Resultados del análisis de laboratorio.....	100
6.6	Anexo F: Análisis tecno-económico.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de las variables independientes.....	28
Tabla 2. Pruebas experimentales.....	28
Tabla 3 Materiales empleados en la construcción.	37
Tabla 4. Volumen de la muestra a usar para determinar DBO ₅	44
Tabla 5. Equipos necesarios.....	47
Tabla 6. Empleados necesarios.....	48
Tabla 7. Materiales necesarios.....	48
Tabla 8. Tipos de plantas y sus factores de Lang.....	49
Tabla 9. Interpretación valor VAN.....	51
Tabla 10. Interpretación valor TIR.....	52
Tabla 11. Resumen Resultados Variables de Diseño.....	52
Tabla 12. Tiempo de retención obtenido.....	55
Tabla 13. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público establecidos por el TULSMA.....	57
Tabla 14. Resultados del análisis de los parámetros en la muestra de la trampa de aceites y grasas del CHAT.....	57
Tabla 15. Resultados de DQO del agua residual sintética.....	60
Tabla 16. Resultados de DQO del efluente tratado en cada prueba experimental.....	61
Tabla 17. Eficiencia de remoción de la trampa de aceites y grasas del CHAT.....	62
Tabla 18. Eficiencia de remoción del dispositivo.....	63
Tabla 19. Equipos necesarios.....	65
Tabla 20. Empleados necesarios y sus jornadas anuales.....	65
Tabla 21. Materiales necesarios.....	65
Tabla 22. Precio total de la construcción.....	66
Tabla 23. Inversión total de la construcción del dispositivo.....	67
Tabla 24. Costos operativos anuales.....	68
Tabla 25. Costo de los materiales variables.....	70
Tabla 26. Costo total variable por metro cubico tratado.....	70
Tabla 27. Valores para utilizarse.....	71
Tabla 28. Precio de Venta Mínimo.....	71
Tabla 29. Valores obtenidos del VAN y TIR con PVM de 0.21.....	71
Tabla 30. Flujo de caja y plazo de recuperación.....	71
Tabla 31. Determinación del plazo de recuperación.....	72
Tabla 32. Precio de Venta Mínimo.....	73
Tabla 33. Valores obtenidos del VAN y TIR con PVM de 0.23.....	73
Tabla 34. Flujo de caja y plazo de recuperación.....	73
Tabla 35. Determinación del plazo de recuperación.....	73
Tabla 36. Curva de calibración DQO.....	100
Tabla 37. Parámetros de linealización.....	101
Tabla 38. Curva de calibración DQO.....	101
Tabla 39. Parámetros de linealización.....	102
Tabla 40. Resultados de parámetros en interceptor del CHAT.....	102
Tabla 41. Resultados caracterización de agua residual sintética.....	103
Tabla 42. Resultados caracterización muestras de las pruebas experimentales.....	103
Tabla 43. Flujo de caja de 5 años con PVM: 0.21.....	105

Tabla 44. Flujo de caja de 5 años con PVM: 0.22	105
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapeo de fuentes de generación de aceites y grasas.....	20
Figura 2. Metodología general del proyecto.	21
Figura 3. Diseño convencional simple de un interceptor hidromecánico de aceites y grasas .	22
Figura 4. Configuración de los lavabos del CHAT.....	25
Figura 5. Modelo del diseño del dispositivo visto desde esquina inferior lateral.....	29
Figura 6 Curva de calibración de la bomba de aire	31
Figura 7. Modelo del diseño del dispositivo visto de frente	33
Figura 8. Dimensiones de las paredes del diseño	34
Figura 9. DBO5 de las muestras de la trampa de aceites y grasas convencional del CHAT...	59
Figura 10. Resultados de DQO del efluente tratado en cada prueba experimental	61
Figura 11. Eficiencia de remoción de la trampa de aceites y grasas del CHAT	63
Figura 12. Eficiencia de remoción del dispositivo.....	64
Figura 13. Corte de piezas	86
Figura 14. Construcción del esqueleto de acrílico	87
Figura 15. Corte, pegado y ensamblaje de tuberías	88
Figura 16. Construcción de la estructura de acero	88
Figura 17. Preparación de mangueras para el sistema de aireación.....	89
Figura 18. Sistema de aireación	90
Figura 19. Preparación filtro carbón activado.....	90
Figura 20. Filtro de malla 300.....	91
Figura 21. Dispositivo terminado	92
Figura 22. Trampa de grasa de las cocinas de la USFQ	93
Figura 23. Toma de muestras de las cocinas de la USFQ y determinación del caudal	94
Figura 24. Determinación DBO5 con el equipo OxiTop	94
Figura 25. Determinación de DQO de las distintas muestras	95
Figura 26. Análisis por decantación de las muestras de la trampa de grasa del CHAT	95
Figura 27. Preparación muestras de aceites y grasas para las pruebas experimentales	96
Figura 28. Funcionamiento del dispositivo.....	97
Figura 29. Análisis por decantación de las muestras del dispositivo.....	98
Figura 30. Curva de calibración DQO	101
Figura 31. Curva de calibración DQO	102

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La calidad de los cuerpos hídricos se ve afectada por la contaminación de sustancias y efluentes producidos por el aumento de la urbanización, uno de estos contaminantes son los aceites y grasas usados de cocina [1]. Estos subproductos son generados principalmente en la industria de procesamiento de alimentos, servicio de alimentación y en menor cantidad de forma doméstica. Los aceites y grasas son lípidos que se componen de ácidos grasos, triacilgliceroles, hidrocarburos liposolubles, cantidades menores de ácidos libres, carotenoides, tocotrienoles, tocoferoles, acilgliceroles parciales, fosfátidos, hidrocarburos, esteroides y metales traza, formados principalmente por cadenas de carbohidratos [2][3]. Estos compuestos tienen la característica de ser solubles en solventes orgánicos y ser hidrófobos ya que están formados por moléculas no polares, es decir, moléculas que no tienen cargas como las tiene el agua [4].

Se han establecido equipos, procesos y dispositivos de control preventivo para las fuentes de aceites y grasa residuales, que incluyen los sistemas de captura hidromecánica, el uso de solventes químicos y tratamientos biológicos [5]. Los principales mecanismos para la remoción de aceites y grasas residuales son los interceptores hidromecánicos, también conocidos como trampas de aceites y grasa. Estos dispositivos separan los aceites y grasas del agua mediante flotación dada su diferencia en densidad de manera mecánica y generalmente cuentan con dos o más cámaras dónde ocurre la separación [2]. Dado que es usado ampliamente como mecanismo para remover y reducir la concentración de estos contaminantes, se han llevado a cabo varios estudios para mejorar la eficiencia a través de la implementación de filtros de distintos materiales y flotación con aire. Por otro lado, los sistemas que emplean solventes químicos como emulsiones y enzimas libres descomponen a los aceites y grasas, sin embargo, permiten que éstos se vuelvan a formar en el alcantarillado [6]. En cuanto a tratamientos biológicos, se ha evaluado el uso de aditivos microbianos para degradarlos mediante la

hidrólisis de enlaces éster que es llevada a cabo por la enzima lipasa, sin embargo, el proceso es extenso en términos de tiempo [5].

En cuanto a tratamientos biológicos, se han aplicado biofiltros de lombrices para tratar los efluentes de las trampas de aceites y grasa, con un tiempo de retención de catorce horas, obteniendo una remoción del 87% [5]. Por otra parte, se ha estudiado el grosor óptimo de filtros de carbón activado de cáscara de coco; contenidos en un tubo PVC de 20 centímetros de largo para tratar aguas residuales provenientes de la industria textil en Indonesia. Los resultados mostraron una remoción del 89% cuando el grosor del filtro fue de 30 cm, 62% con 20 cm y 49% con 10 cm [7]. Adicionalmente, se ha comparado materiales para filtros que tratan aguas residuales de la industria de automóviles en Nigeria, resultando en una remoción del 43.2% cuando se usa carbón activado de cáscara de arroz, 31% con cáscara de arroz y 28.6% con carbón activado granular de grava de río [8]. Además, se ha analizado la remoción de aceites y grasas de agua residual municipal con un filtro de conchas de palmiste, obteniendo un 99.89% de remoción con un tiempo de retención de 6 horas [9]. En Indonesia, se ha estudiado la aplicación de semillas de moringa oleífera como filtro, siendo las últimas más eficientes en la remoción de aceites, grasas y DBO_5 con una altura absorbente de 15 cm, la unidad de absorción se colocó después de la trampa de grasas [10].

Asimismo, se ha evaluado el uso de filtros de malla de acero inoxidable, demostrándose su eficiencia, misma que incrementa cuando el tamaño del poro es reducido y aumenta aún más cuando se recubre con dióxido de titanio (TiO_2). El resultado más favorable fue con un filtro de mallado 300 y con 14 capas de dióxido de titanio ya que el ángulo de contacto fue de 122.32° entrando en la categoría de superficie hidrofóbica, reteniendo aceites y grasas [11].

Por otro lado, se han propuesto mejoras en las trampas de grasa con la implementación de flotación por aire inducido [12]. Se ha estudiado la remoción mediante este método a través

de una turbina abierta axial de seis cuchillas, se obtuvo una remoción del 89% con un tiempo de retención de 20 minutos y 1400 revoluciones por minuto [5].

Una de las variables de diseño más representativa es el tiempo de retención del interceptor hidromecánico, que afecta de manera significativa el rendimiento [13]. Con métodos más eficientes, el tiempo de retención puede disminuir al incrementar la velocidad de separación de aceites y grasas del agua. Este estudio emplea fundamentos teóricos de manera práctica para evaluar la viabilidad del diseño del interceptor hidromecánico de aceites y grasas y lograr reducir la contaminación.

1.2 Justificación

La contaminación ambiental ha llegado a un momento crítico y este sigue empeorando con el tiempo. Se entiende como contaminación ambiental a la presencia de componentes nocivos; ya sean químicos, físicos o biológicos en el ambiente, que representan una amenaza para los seres vivos que lo habitan [14]. La mayoría de las fuentes de contaminación provienen de actividades antropogénicas, las cuales afectan tanto al aire, suelo y agua [15]. La contaminación hídrica ocurre cuando uno de estos componentes entra en contacto con un arroyo, río, lago, océano, acuífero u otro cuerpo de agua [16]. Uno de los principales contaminantes, son las aguas residuales no tratadas. Según un estudio de la UNESCO, en 2017, el 80% de las aguas residuales vuelven al ecosistema sin ser previamente tratadas o reutilizadas [17]. En Ecuador, aproximadamente, el 12% de las aguas residuales domésticas son tratadas dejando el 88% de estas libres a la descarga en ríos y quebradas [18]. Esta contaminación se traduce en la degradación de la calidad de agua causando problemas ambientales, sociales y económicos.

Un contaminante presente tanto en aguas residuales domésticas e industriales, son los aceites y grasas. Estos tienen una carga contaminante significativa; por ejemplo, un litro de

aceite usado en la preparación de alimentos es capaz de contaminar 40 000 litros de agua, equivalente al consumo de agua anual de una persona en su domicilio [19]. De igual manera, dado el crecimiento poblacional, la producción de aceites y grasas ha aumentado en los últimos años y consecuentemente, los residuos generados por su consumo. A partir del 2019, la producción de aceites alcanzó más de 200 millones de toneladas [20]. Se estima que el consumo per cápita en países en desarrollo es de 20 kilogramos al año y la generación en forma de aceites y grasas usados de cocina es del 20 al 32% del consumo total [2]. La generación global de estos contaminantes es de al menos 42 millones de toneladas al año [21]. Al ser parte de la dieta de los seres humanos a nivel mundial, los aceites provenientes de la industria de servicios de alimentación presentan una alta concentración convirtiéndose en un problema ambiental en ascenso [11]. Asimismo, la preocupación pública ha incrementado por la descarga de estos efluentes en el sistema de alcantarillado y la implementación de trampas de aceites y grasas se ha vuelto la respuesta habitual a este problema [22].

Algunas de las afectaciones de los efluentes con aceites y grasas al entrar en contacto con cuerpos de agua, sin tratamiento previo; son la alteración del ciclo del agua por su distinta polaridad y baja densidad. Esto causa que estos contaminantes floten sobre el agua creando una película en la superficie que dificulta la difusión de oxígeno al igual que el paso de luz. Todo esto perjudica a la flora de los ecosistemas por sus efectos adversos a la fotosíntesis, lo que resulta en menor crecimiento y menor floración [23]. De la misma manera, cuando la fauna acuática entra en contacto con estos contaminantes, estos cubren su piel y branquias generando asfixia y muerte [24]. Estos cambios en los ecosistemas afectan la relación simbiótica entre los seres vivos.

Por otro lado, los aceites y grasas al pasar por las tuberías del sistema de alcantarillado; se adhieren a las paredes causando problemas como taponamientos y desbordamientos ya que el flujo podría llegar a detenerse [25]. Se informa de desbordamientos sanitarios por

taponamiento del sistema de alcantarillado constantemente, en Estados Unidos se reportan el 47% de los casos, Reino unido 50% y en Malasia el 70%, lo que implica constantes mantenimientos de las tuberías y representan altos costos operativos [13]. Asimismo, los aceites y las grasas que se adhieren en las paredes de las tuberías generan procesos anaerobios corrosivos y la formación de sulfuro de hidrogeno, los cuales afectan a la resistencia de los materiales [13]. Todos estos problemas resultan en malos olores e incluso infestaciones de insectos y animales generando vectores de infección. Por esto, controlar la concentración de contaminantes antes de la descarga al alcantarillado es indispensable.

En un estudio en Ecuador, se determinó que el 69% de establecimientos, dedicados a la industria de servicios de alimentación, desean o necesitan adquirir una trampa de aceites y grasas para reducir los impactos ambientales de sus actividades. Se identificó que la demanda estos dispositivos incrementará anualmente debido al crecimiento poblacional y la legislación del país, ya que son un requisito para el funcionamiento de establecimientos que desechen estos contaminantes [26]. En la legislación ambiental consta la prohibición de descargas de efluentes con altas concentraciones de aceites y grasas tanto al alcantarillado como directamente a cuerpos de agua [27]. Sin embargo, no se ha observado una auditoría constante de aguas residuales provenientes de actividades económicas relacionadas al servicio, elaboración y procesamiento de alimentos de consumo humano. Con excepción de la provincia del Guayas, que las realiza gracias a la Resolución No.074; por esta razón y con base en la experiencia de la industria, el control de la concentración de aceites y grasas de los efluentes en el resto del país es muy limitado [28].

Finalmente, gracias a que el crecimiento poblacional y el proceso de urbanización en Ecuador ha sido acelerado, la demanda de suministros y energía ha aumentado especialmente en los comercios, incrementado la generación de residuos y empeorando la contaminación hídrica. Esto ha llevado a establecimientos restauraneros a reducir su tamaño limitando el

espacio para sus cocinas y buscando instrumentos con mayor rendimiento [14]. Por esto, la combinación de métodos y materiales, al igual que la compactación de los instrumentos, se vuelve una innovación necesaria para reducir los impactos ambientales de las aguas residuales provenientes de la industria de servicios de alimentación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Determinar la viabilidad técnica y prototipado de un dispositivo de remoción hidromecánica de aceites y grasas de volumen reducido para combatir la polución de aceites y grasas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las variables de diseño óptimas para el funcionamiento del interceptor hidromecánico.
- Evaluar el rendimiento del dispositivo hidromecánico en la remoción de agentes contaminantes.
- Análisis tecno-económico de la producción y operación del dispositivo hidromecánico.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

En esta sección se describen de forma exhaustiva y sistemática los métodos y procedimientos aplicados durante la investigación. El método científico fue el de la investigación aplicada cuyo objetivo es la resolución de un planteamiento específico o determinado problema, usando los principios de ingeniería, ciencias y matemáticas en la consolidación del conocimiento. En este sentido, se propuso tratar las descargas con altas concentraciones de aceites y grasas que se generan en los laboratorios del Colegio de Hospitalidad, Arte Culinario y Turismo (CHAT) de la Universidad San Francisco de Quito

(USFQ), diseñando e implementando un interceptor hidromecánico, desde ahora se menciona como el dispositivo. Adicionalmente, se realizó un mapeo de las fuentes de generación de estos contaminantes dentro de la USFQ que se muestra en la Figura 1, a) es el mapeo en el Campus principal donde se consideran los laboratorios del CHAT y los restaurantes ubicados en esta área y b) es el mapeo en el edificio Hayek donde se identificó un solo restaurante.

Para el diseño, las variables fueron determinadas a través del método sintético y analítico, es decir, recopilando y analizando la información y datos técnicos disponibles. Adicionalmente, el método experimental fue implementado para la evaluación de las variables dado que estas fueron controladas para generar nuevos datos e información que corresponden a un enfoque cuantitativo. Para responder a los objetivos propuestos se planteó el método mostrado en la Figura 2.

a)



b)



Figura 1. Mapeo de fuentes de generación de aceites y grasas

Fuente: Elaboración propia en QGIS®.

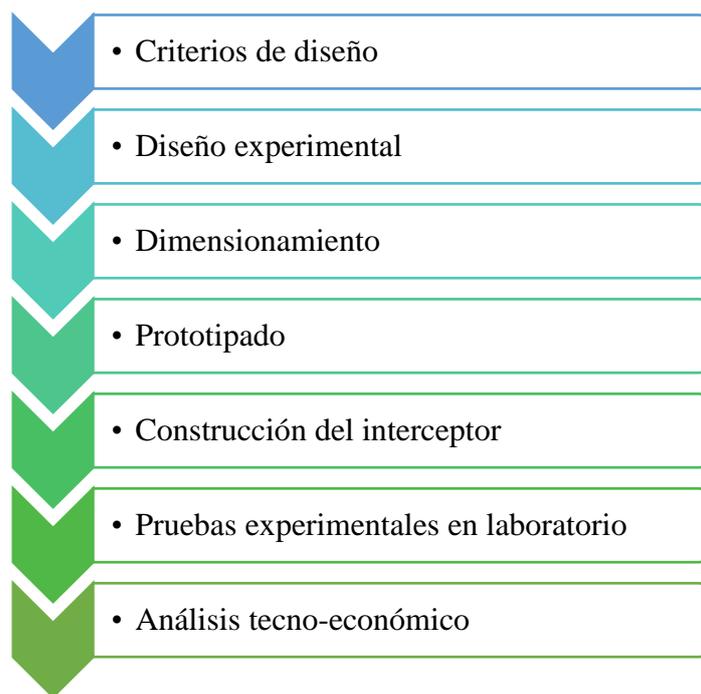


Figura 2. Metodología general del proyecto.

El dispositivo representa una solución práctica a la contaminación del agua con aceites y grasas producto principalmente del lavado de la indumentaria usada en los laboratorios del CHAT, ya que es un dispositivo que permite la separación de los fluidos por gravedad, aprovechando la diferencia de densidad. La presente investigación planteó un rediseño de un dispositivo convencional para incrementar el rendimiento de manera innovadora, además de, responder a las necesidades específicas del CHAT. Para lo cual, se determinaron las variables de diseño mediante una exhaustiva revisión bibliográfica, además de parámetros técnicos con lo cual se calculó el dimensionamiento del dispositivo. Una vez analizadas las variables y cálculos de diseño, se procedió con la construcción del prototipo y se llevaron a cabo las pruebas y análisis experimentales en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental (LIA) de la USFQ. Finalmente, se procesaron e interpretaron los resultados y se realizó un análisis tecno-económico.

2.1 Criterios de diseño

Los criterios de diseño se determinaron a través del método sintético, el cual es una forma de razonamiento científico para resumir los aspectos más relevantes de un proceso, y por el método analítico, proceso que descompone un todo en sus elementos básicos [29]. Al conjugar los métodos antes mencionados, se pudo establecer la dinámica entre los criterios de diseño y el efecto que estos tienen en el rendimiento del dispositivo. Las fuentes bibliográficas fueron académicas, y con bases tangibles que aporten hacia la conceptualización del diseño. En la Figura 3 se representa un diseño convencional de este tipo de dispositivos.

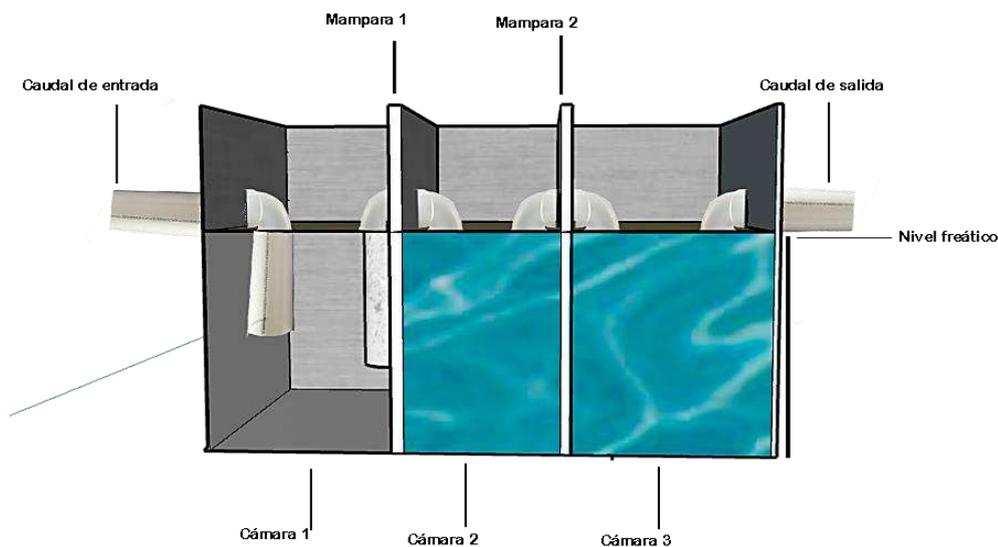


Figura 3. Diseño convencional simple de un interceptor hidromecánico de aceites y grasas

Fuente: Elaboración propia en Sketch Up[®], basada en la norma técnica de la Organización Panamericana de la Salud

2.1.1 Cámaras

Las cámaras en este tipo de dispositivos son compartimientos al interior que almacenan momentáneamente el fluido incrementando la eficiencia de la remoción [30]. Tradicionalmente, estos dispositivos se diseñan con tres cámaras separadas por mamparas,

estas se encuentran representadas en la Figura 3. La cámara de entrada, de separación y de salida, se distribuyen con el objetivo de permitir la separación de los fluidos a través de la flotación de las fracciones más ligeras. Para el diseño del dispositivo de este proyecto se optó por eliminar una de las cámaras para maximizar su capacidad de implementación. Adicionalmente, la ubicación de la mampara de separación se determinó para alcanzar la mayor uniformidad de flujo posible, por esto, la segunda cámara debe estar ubicada a una distancia del 75% al 80% del largo total [19] [31].

2.1.2 Nivel freático

El nivel freático, que se describe como el nivel superior del agua, superficie en la cual la presión atmosférica y la del agua son equivalentes [32]. Se calculó con base en la altura del dispositivo, ya que se dejó un espacio libre desde la parte superior del mismo. Esto permitió la aeración, previno posibles desbordamientos, y evitó que el nivel de aceites y grasas se acerque al borde superior. Según la norma técnica de la Organización Panamericana de la Salud para estos dispositivos, se sugiere un nivel freático mayor a 10 cm desde el borde superior del dispositivo, sin embargo, dadas las mejoras e innovaciones, incluyendo una reducción en el volumen, se determinó que 10 cm ofrecieron los mismos resultados, en la Figura 3 se puede identificar a este parámetro como “Nivel freático” [19]. Por otra parte, para conectar las cámaras del dispositivo, las tuberías de paso de la cámara uno hacia la cámara dos, y la tubería para la salida del efluente, se fijaron a 35 centímetros por encima del borde inferior del dispositivo. Esto incrementó la capacidad de retención del dispositivo hasta que este desfogue por la tubería de salida.

2.1.3 Tiempo de retención

El tiempo de retención hidráulico es el tiempo que le toma al fluido atravesar el dispositivo [33]. Puede ser estimado como se muestra, en la Ecuación 1.

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

Ecuación 1

Dónde V es el volumen y Q es el caudal. Según los diseños convencionales, mientras mayor sea el tiempo de retención, mayor será la separación incrementando la remoción de aceites y grasas. La norma técnica de la Organización Panamericana de la Salud para la construcción de estos dispositivos propone un valor máximo de 45 minutos. El tiempo de retención del dispositivo se midió con un cronómetro en las distintas pruebas experimentales [19].

2.1.4 Caudal

El caudal es la tasa a la cual ingresa el afluente, es importante para el diseño ya que el tiempo de retención será dependiente e inversamente proporcional a este criterio, descrito por la Ecuación 1. La relación entre el tiempo de retención y la remoción se comporta de manera proporcional, afectando directamente a la eficiencia, es decir que, a mayor caudal, menor tiempo de retención y menor remoción de los aceites y grasas ya que existe menos tiempo para lograr esta separación con el agua. El caudal se calculó empleando la Ecuación 2.

Para determinar el tiempo de llenado del dispositivo se usó un contenedor de 1 litro y un cronómetro con el que se procedió a medir el tiempo de llenado, lo que se llevó a cabo en los laboratorios del CHAT, con el propósito de identificar la demanda que el dispositivo debe suplir. Se debe mencionar que los fregaderos del CHAT cuentan con dos grifos cada lavabo, por lo que en los cálculos se asumió el doble del caudal como valor máximo y solo un solo grifo como valor mínimo. En la Figura 4 se presenta la configuración de los lavabos de un laboratorio del CHAT.

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{T}$$

Ecuación 2

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo de llenado}}$$

Ecuación 3

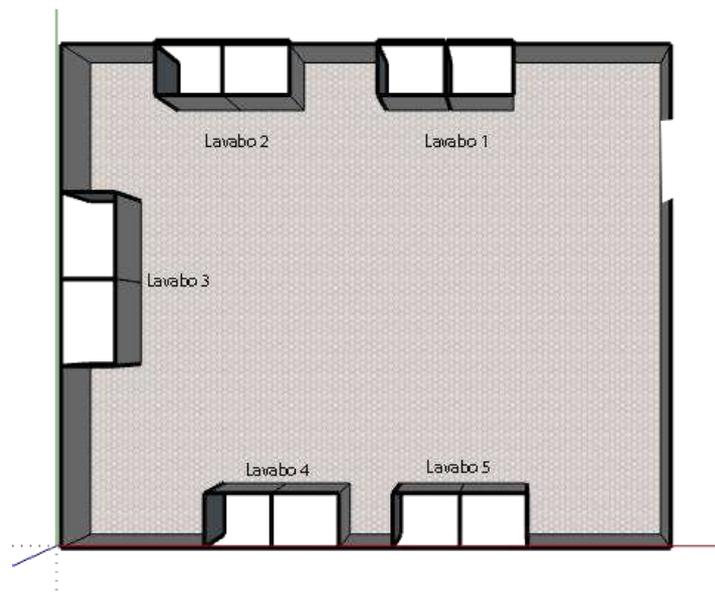


Figura 4. Configuración de los lavabos del CHAT

Fuente: Elaboración propia en Sketch Up.

2.1.5 Velocidad de separación

La velocidad de separación de fluidos (aceites, grasa y agua) se debe, entre otros factores, a la diferencia de la polaridad entre las moléculas. Los aceites y grasas por su menor densidad tienden a flotar. La velocidad a la que sucede esta separación se puede calcular mediante pruebas físicas en el laboratorio o con el principio de la Ley de Stoke [13].

Según la ley de Stoke, la flotación de aceites y grasas es causada, por el equilibrio de fuerzas que actúan en la partícula (fricción y la fuerza impulsora), ya que a partir de ese momento la partícula puede flotar o sedimentarse, como se muestra en la Ecuación 4.

$$V_s = \frac{g (\rho_s - \rho) d^2}{18\mu}$$

Ecuación 4

Dónde V_s es la velocidad de sedimentación, ρ_s es la densidad de la partícula, ρ es la densidad del fluido, d es el diámetro de la partícula, g es la gravedad y μ es la viscosidad absoluta del fluido. Cuando la velocidad de sedimentación es positiva la partícula sedimenta y cuando es negativa, asciende [13].

En este proyecto, los datos de velocidad de separación se obtuvieron mediante una investigación experimental y de observación ya que se implementó aireación, deflectores de turbulencia, y filtros por lo que este criterio fue afectado.

2.1.6 Turbulencia

La variable de turbulencia puede ser descrita como el caos de la característica de velocidad y presión al interior del flujo [33]. El flujo requerido es de tipo laminar. Este criterio se determina a mediante el número de Reynolds, descrito en la Ecuación 5.

$$Re = \frac{\rho \times \bar{v} \times d}{\mu}$$

Ecuación 5

Dónde ρ es la densidad del fluido, \bar{v} es la velocidad media del fluido, d es el diámetro hidráulico de la tubería y μ es la viscosidad dinámica del fluido. Si el número de Reynolds es menor a 2000 el flujo es laminar y si es mayor a 3000 el flujo es turbulento [33].

Para garantizar la homogeneidad del flujo, se implementaron deflectores para reducir la turbulencia y direccionarlo, ubicados en la entrada del dispositivo. La posición de estos deflectores se definió de manera empírica y se mantiene constante.

2.2 Diseño experimental

En este apartado se describe el diseño planteado para este trabajo. El mismo que fue base para conducir las pruebas y análisis en el LIA. El diseño experimental es una técnica estadística que consiste en la manipulación intencional de las variables independientes de un modelo y cuantificar sus efectos en la variable dependiente. Además de determinar el escenario con mayor eficiencia de remoción, se implementará aireación, un filtro de malla de acero inoxidable de mallado 300 y un filtro de carbón activado. Por lo tanto, se evaluó la remoción sin filtros de ningún tipo y posteriormente las pruebas se llevan a cabo con la implementación de estos filtros como una constante.

Las variables dependientes del modelo que se identificaron fueron:

VD1: Remoción de aceites y grasas.

VD2: Tiempo de retención.

Por otra parte, las variables independientes fueron determinadas como:

VI1: Aireación.

VI2: Caudal.

VI3: Implementación de filtros.

A continuación, en la Tabla 1, se muestran los niveles de las variables independientes.

Tabla 1. Niveles de las variables independientes

Variable independiente	Nivel	
	1°	2°
Aireación (L/min)	0	12.8
Caudal (L/s)	0.3	0.6
Configuración del dispositivo	Sin mejoras	Con mejoras

En la configuración del dispositivo, las mejoras implementadas son la aireación, el filtro de acero inoxidable mallado 300 y el filtro de carbón activado.

En la Tabla 2 se muestran las pruebas experimentales que se realizarán, con variaciones de las distintas variables.

Tabla 2. Pruebas experimentales

N° de prueba experimental	Variables independientes			Variables dependientes	
	Aireación (unidad)	Caudal (L/s)	Configuración del dispositivo (implementación de mejoras)	Eficiencia de remoción (%)	Tiempo de retención (min)
1	-	0.3	No	Y_1	Z_1
2	-	0.6	No	Y_2	Z_2
3	0	0.3	Sí	Y_3	Z_3
4	12.8	0.3	Sí	Y_4	Z_4
5	12.8	0.6	Sí	Y_5	Z_5
6	0	0.6	Sí	Y_6	Z_6

2.3 Dimensionamiento y configuración del dispositivo

2.3.1 Dimensiones del dispositivo

Los requerimientos para el diseño del dispositivo suponen una reducción del 50% del volumen con respecto a un dispositivo convencional. En este sentido, se eligieron las dimensiones para el largo, ancho y alto, correspondientemente como eje x, eje y, y eje z, los siguientes valores: 0.90 metros de longitud, 0.55 metros de altura, y 0.50 metros de ancho, como se puede ver en la Figura 5.

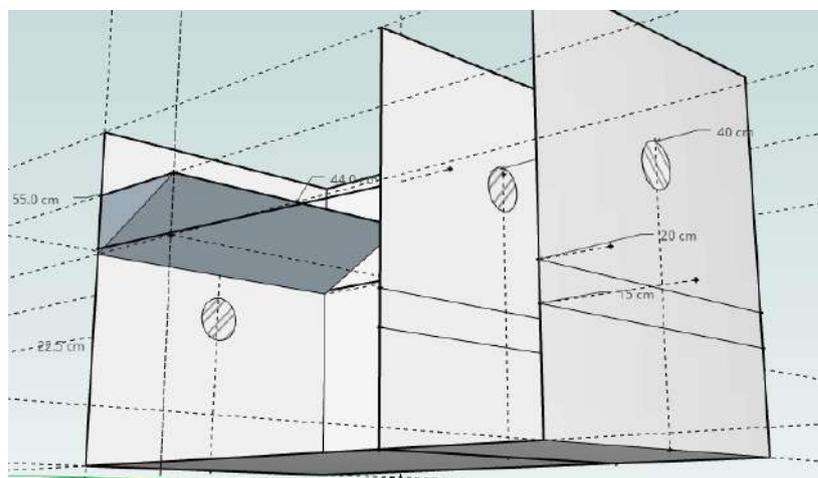


Figura 5. Modelo del diseño del dispositivo visto desde esquina inferior lateral.

Fuente: Elaboración propia en Sketch Up®.

2.3.2 Depósito de grasa

Se implementó un depósito de grasa, cuya función es facilitar la expulsión de las grasas removidas. El volumen del depósito de grasa se calculó con un 4.0% del volumen total del dispositivo, y por ende tendrá las siguientes dimensiones: 10cm de altura, 20cm de largo, y 50cm de ancho. El depósito de grasa se construyó con una pendiente de 30° para disminuir la fuerza de fricción entre el acero y los aceites y grasas, lo que permitirá un deslizamiento más eficiente y una remoción más fácil y eficaz en el sumidero. Además, la altura del depósito se

fijó con 5 cm por encima del nivel del agua, para permitir que la capa aceites y grasas pueda separarse y depositarse en el depósito. El mismo se situó en la parte superior izquierda de la primera cámara, donde la mayor concentración de grasas se acumuló, debido a las características de la turbulencia y posición del afluente.

2.3.3 Volumen Útil

Tal como se mencionó en el apartado 2.3.1, el volumen elegido para el diseño del dispositivo fue el 50% del volumen de un dispositivo convencional de un establecimiento de comida con un flujo significativo de desechos en forma de aceites y grasas. La capacidad es de alrededor de 500 L de volumen. Con base en un estudio realizado en la industria restaurantera, la capacidad volumétrica de una trampa de grasa debería basarse en la cantidad de lavabos, usando una cantidad de 100 L por lavabo para un dispositivo de trampa de grasa [34]. El volumen útil se definió como el volumen de la cantidad de agua hasta el nivel freático, añadiendo el nivel de aceites y grasas después de su separación. Este cálculo se definió con la Ecuación 6.

$$V = L \times A \times H$$

Ecuación 6

Dónde L es la longitud del dispositivo, A es el ancho y H es la altura del nivel freático.

2.3.4 Configuración del dispositivo

En este proyecto, la separación de los aceites y grasas con el agua fue influenciada por la adición de aireación y filtros.

- Inducción de aire

Se inyectó aire directamente al fluido mediante mangueras con agujeros que permiten la salida del gas. Las partículas de aceite y grasa se adhieren a las burbujas de aire, y este aglomerado, aire-aceites y grasas, asciende a la superficie [35]. La cantidad de aire mecánicamente inducido por un compresor se suministró de manera constante y uniforme, y se evaluó el tiempo de separación entre el agua y el aceite y grasa.

Para lograrlo, se utilizó una bomba de aire con un control electrónico de la relación de entrada para obtener mayor eficiencia y un bajo consumo de energía. Para las pruebas experimentales se utilizó la aireación máxima dada por la presión máxima de operación de la bomba, esta fue de 0.016 MPa y un flujo de aire de 12.8 Lmin^{-1} , el caudal de ingreso de aire se obtuvo mediante la curva especificada por el proveedor de la bomba en la Figura 6.



Figura 6 Curva de calibración de la bomba de aire

Fuente: proporcionada por el proveedor.

Las burbujas de aire tienen un efecto en la flotación de las partículas de aceite y grasa si hay adherencia entre ellas. Para que exista una eliminación efectiva por flotación, el diámetro de la burbuja debe ser menor al de las partículas. Se estima que el sistema de flotación por aire inducido produce burbujas de diámetros entre $100\text{-}500 \mu\text{m}$ [12].

- Filtro de malla de acero inoxidable mallado 300

El uso de filtros de malla de cobre y/o acero inoxidable incrementa la tasa de separación de aceites y grasas [10]. Adicionalmente, las propiedades de adhesión y cohesión del agua, al igual que la naturaleza hidrofílica de metales como el acero inoxidable causan que el agua que entra al dispositivo tienda a adherirse al filtro, y dado el incremento del área de superficie del mallado 300, el agua tendrá más área para que estos fenómenos sucedan [11]. Además, la malla creará una barrera natural contra sólidos, y aceites y grasas con un tamaño mayor al de sus poros. En este proyecto se implementó un filtro de malla de acero inoxidable de mallado 300 para incrementar la eficiencia de separación, la posición de la malla y sus dimensiones se determinaron con el método empírico y fueron constantes durante todas las pruebas experimentales.

- Filtro de carbón activado

El carbón activado es un material que, debido a su estructura y propiedades adsorbentes, se emplea como filtro para reducir la concentración de contaminantes en agua [7]. Se implementó un filtro de carbón activado comercial en la segunda cámara, por lo que sus dimensiones corresponden a esta ubicación, 50cm x 30cm x 10 cm. El espesor se estableció en base a la literatura, ya que un filtro con espesor de 10cm tiene un porcentaje de remoción de casi el 50% [7].

El uso de este filtro puede retener al fluido, por lo que no se saturaron los 10 cm de espesor con carbón activado, así que estuvo al 50% de su capacidad, por esta razón, la cantidad de carbón activado usado fue de 2.5 kg para cada prueba experimental. Para el diseño del filtro se utilizó un recipiente fabricado de malla con las dimensiones mencionadas, con poros de 3 mm para facilitar el cambio del carbón activado cuando este alcance su capacidad máxima de remoción. El carbón activado usado es a base del cuesco de palma africana y es activado a altas temperaturas y presiones para incrementar su porosidad y por lo tanto su adsorción [36]. Se

debe recalcar, que este perderá su eficiencia después de cierto tiempo. Este tiempo dependerá de la cantidad de grasas y aceites que pasen por la trampa, al igual que la cantidad de agua que pase por la misma. Debido a las grandes cantidades de agua que se filtrarán, se planteó un cambio mensual, para evitar que las propiedades de adsorción del carbón activado sean vean afectadas disminuyendo la eficiencia de remoción.

2.4 Prototipado y construcción

Para la construcción del prototipo primero se consideraron los cálculos y medidas de los criterios de diseño. Se realizó un modelo en función del diseño y configuración planteados en la aplicación Sketch Up[®] mostrado en la Figura 5 y 7, y se obtuvo un bosquejo de las dimensiones como se muestra a continuación en la Figura 8.

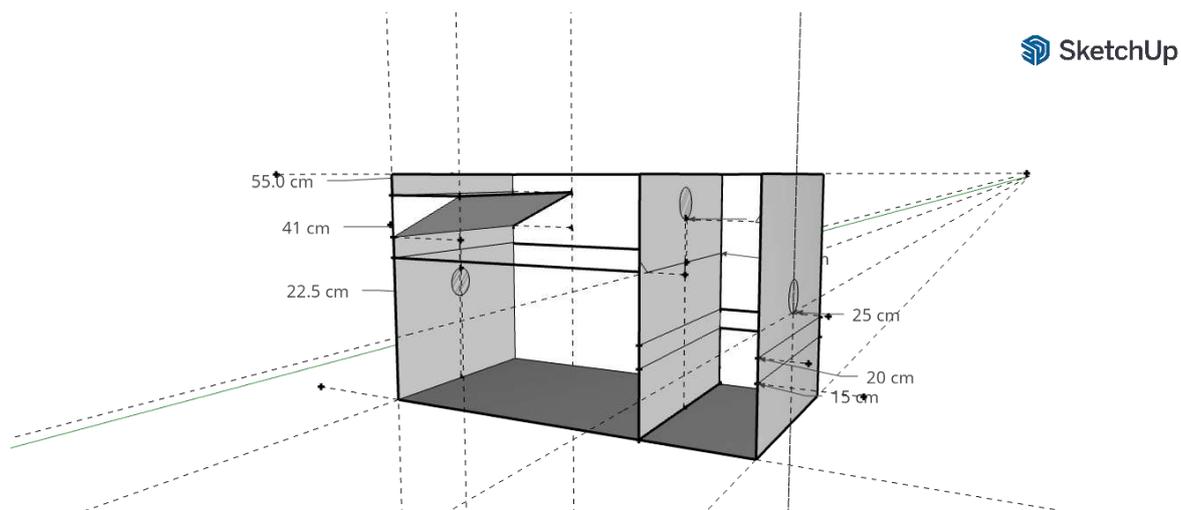


Figura 7. Modelo del diseño del dispositivo visto de frente

Fuente: Elaboración propia en Sketch Up[®].

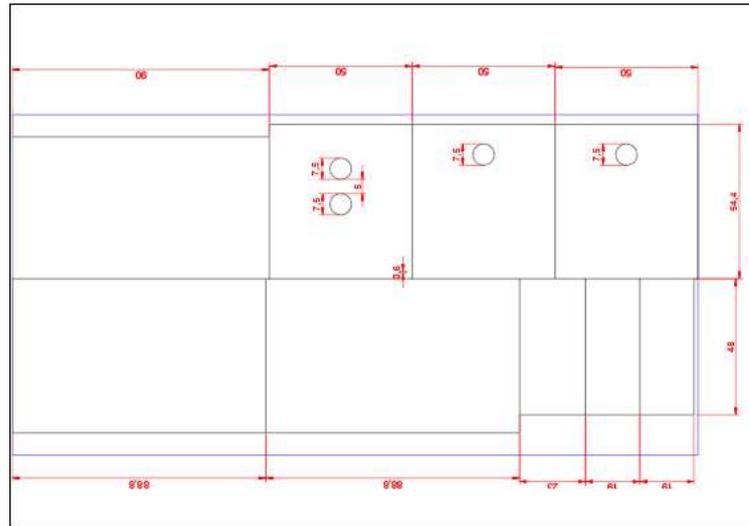


Figura 8. Dimensiones de las paredes del diseño

Fuente: Elaboración propia en AutoCAD.

El interceptor hidromecánico se construyó con piezas de acrílico para poder observar la separación del aceite y grasa del agua, éstas se adhirieron con un pegamento especial para el material, llamado pegamento acrílico, que funciona a base de solventes haciendo que las piezas se unan químicamente. Dadas las propiedades tóxicas del pegamento, se utilizó guantes de nitrilo para su aplicación, de igual manera, se construyó el dispositivo en un lugar ventilado, para evitar la inhalación de gases. El acrílico se escogió debido a su flexibilidad y dureza, en contra de otro material transparente como el vidrio o el plástico. En específico, dada la presión que ejerce el agua contra las paredes del dispositivo, el vidrio no era un material adecuado, por su rigidez y falta de elasticidad. Por otro lado, el plástico no podía ser un material adecuado por su falta de rigidez en comparación al acrílico, sin embargo, cabe recalcar que el acrílico fue un material más costoso que los previamente mencionados.

El acrílico elegido tuvo un espesor de 6mm, una medida intermedia entre los posibles espesores de acrílico, dado el balance que tiene entre dureza y flexibilidad. Un espesor mayor a 6mm hubiera tenido una rigidez mayor a la deseada, y un espesor menor hubiera tenido una

dureza menor a la necesaria, que pudiera haber causado una ruptura del dispositivo por la presión del agua. Las dimensiones de las piezas se determinaron con base en el grosor del acrílico ya que todas las paredes se acoplaron encima de la base para que el prototipo sea más resistente. Estas se cortaron a laser para obtener piezas exactas.

Para asegurar que el prototipo resista la presión del agua, se colocó una estructura de dos ángulos de acero de 30x30x3mm para reforzar el dispositivo y que funcione como soporte adicional. Esta estructura fue realizada tomando en cuenta las dimensiones del prototipo, al igual que los agujeros de salida por donde pasarían las tuberías. El ensamblado fue a través de soldadura con el método MIG, por sus siglas en inglés (Metal Inert Gas), ya que es la mejor manera de unir el acero y la más común [37]. Asimismo, se aseguró la unión entre el acero con pernos de 5/16 x 3/4 pulgadas ubicados en las esquinas del segundo ángulo para evitar que esta ceda con la alta presión del agua. Finalmente, por estética, la estructura fue pintada de color blanco y aluminio. Esta estructura se colocó en forma de un rectángulo a lo largo del perímetro del dispositivo, con los primeros ángulos de acero a una altura de 10cm desde la base de esta, y los segundos ángulos a una altura de 30cm.

En cuanto a la distribución de las paredes del prototipo; la pared de separación entre la primera y segunda recámara se ubicó al 77.77% de la longitud total del dispositivo, valor que entra en el rango de mayor uniformidad de flujo, que va desde 75 a 80% [31]. El depósito de grasa se construyó con una pieza de acrílico orientada en 30°, el primer y segundo deflector también se construyeron de acrílico, el primero se colocó a la entrada del dispositivo a 90° para que reduzca la turbulencia y guíe al fluido, y el segundo se colocó en la base con un ángulo de 90° para que restrinja el paso de los sólidos sedimentables.

Adicionalmente, para el diseño de las piezas del dispositivo, se consideraron los agujeros para el ingreso de las tuberías de PVC, que funcionan para el ingreso del agua

contaminada, el traspaso entre la primera y segunda cámara, la salida del agua tratada, y la salida del exceso de aceites y grasas del depósito de grasas. Las tuberías que se eligieron fueron LASCO, de tres pulgadas de diámetro, dado el hecho que el agua pudiera entrar al dispositivo presión, y las tuberías de PVC regulares no son aptas para este tipo de procesos. En total, el dispositivo conto con cuatro agujeros para tuberías LASCO, que se colocaron al final de la construcción de este, y se adhirieron con pegamento especial para PVC. La tubería fue colocada a la entrada, salida y entre las cámaras del dispositivo, sección en la que se conectó con 2 tees de PVC. En la entrada se colocó el tubo con una válvula de bola para regular el caudal. La tubería de PVC se adhirió a las tees y a los codos con pegamento especial para PVC.

El siguiente paso se basó en sellar las uniones de las piezas de acrílico, para evitar fugas de agua en el dispositivo. Para este paso se utilizó un pegamento especial llamado Pegatanke, que cuenta con propiedades resistentes al agua, y de rápido secado, sin embargo, después del tiempo de curado del pegamento, de ocho horas, se halló que este pegamento era demasiado rígido, y dada la presión del agua y el movimiento del acrílico, no iba a funcionar efectivamente para sellar herméticamente el dispositivo, por lo que se removió todo el Pegatanke con espátulas metálicas, y se prosiguió a colocar sellador de acrílico.

El sellador de acrílico tiene un tiempo de curado mucho más largo al Pegatanke, de aproximadamente 24 horas, sin embargo, tiene propiedades elásticas e impermeables, y funciono de manera eficaz para evitar fugas de agua en el dispositivo. El sellador se colocó a lo largo de todas las uniones de las placas de acrílicos exteriores, en todos los vértices, y en las uniones de la placa central de separación de las cámaras. De igual manera, se colocó el sellador entre los agujeros y los tubos o tees de PVC con una pistola de silicona. Por último, para terminar de sellar el prototipo se aplicó silicona entre la estructura y el acrílico asegurando su unión y la estructura soporte a las paredes de acrílico.

Finalmente, el filtro de malla de acero inoxidable mallado 300 se colocó en el centro de la primera cámara del interceptor hidromecánico con un ángulo de 60° y se sostuvo con topes hechos con silicona en las paredes. El filtro de carbón activado fue colocado en la segunda cámara, separado en dos contenedores metálicos, creados con una malla de aluminio de 3mm de porosidad, para posteriormente ser cortados con las dimensiones de la segunda recámara con tijeras para metal, llenados del carbón activado granulado, y colocados. El uso de los contenedores metálicos se aplicó para la fácil remoción del filtro de carbón activado, para ser reemplazado por carbón activado nuevo.

Para la construcción del dispositivo se utilizaron los materiales descritos en la Tabla 3.

Tabla 3 Materiales empleados en la construcción.

N°	Material	Unidad	Cantidad	Espesor (mm)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Tamaño de poro (mm)	Potencia (W)
1	Plancha de acrílico	uni	1	6	-	240	120	-	-
2	Pega acrílico	kg	1	-	-	-	-	-	-
3	Soldadura en frío Pegatanke	uni	4	-	-	-	-	-	-
4	Tubo PVC Tubytex C- 40 3"	uni	1	-	7.5	100	-	-	-
5	Tee PVC 3" LASCO	uni	2	-	-	-	-	-	-

6	Codo PVC 3" LASCO	uni	3	-	-	-	-	-	-
7	Válvula de bola PVC 3"	uni	1	-	-	-	-	-	-
8	Polilimpia 125CC	uni	1	-	-	-	-	-	-
9	Pega CPVC tomate	ml	237	-	-	-	-	-	-
10	Malla de acero tejida 1/8"	uni	1	-	-	57	48	3	-
11	Carbón activado granular 4x8 mesh(cuesco de palma)	kg	25	-	-	-	-	-	-
12	Ángulo de acero 30x30x3mm	m		3	-	-	-	-	-
13	Perno hexágono C/Tuerca y Anillo Plano	uni	4	-	-	-	-	-	-
14	Bomba de aire	uni	1	-	-	-	-	-	9

15	Manguera acuaria air tube LY- AT50	m		-	0.6	-	-	-	-
14	Malla de aluminio	uni	2	-	10	10	10	3	-

El registro fotográfico del proceso de construcción se encuentra el Anexo A.

2.5 Pruebas experimentales

Para determinar el rendimiento y eficiencia del dispositivo se procedió con la caracterización de las aguas residuales a tratar y el efluente tratado, considerando los parámetros fisicoquímicos descritos a continuación. De acuerdo con el alcance propuesto en esta investigación se han cuantificado los parámetros fisicoquímicos de DQO, DBO y concentración de aceites y grasas. Las pruebas experimentales se realizaron por triplicado y cada muestra resultante también se analizó por triplicado, obteniendo un resultado más confiable.

2.5.1 Características químicas de aguas residuales

- Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una muestra en función del número de oxígenos presentes. Las aguas residuales suelen contener un pH ácido, es decir menor a 7, sin embargo, en el caso de la industria de servicios de alimentos el pH tiende a ser de neutro a básico ya que existe presencia de tensoactivos provenientes del jabón [38].

- Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es la concentración de oxígeno presente en solución con el agua. Este parámetro es principal indicador de la calidad del agua ya que permite el desarrollo de la vida en un ecosistema acuático. Usualmente el oxígeno disuelto en agua residual es menor ya que la degradación de los contaminantes se da naturalmente por oxidación por lo que agota la concentración de oxígeno de la muestra. Los valores óptimos de este parámetro varían de 8 a 10 mgL^{-1} . En las aguas residuales de este tipo de industrias los valores no superan los mgL^{-1} [38].

- Aceites y Grasas

Los aceites y las grasas también son un indicador de la calidad del agua, ya que alteran las propiedades del agua como el olor, color y la solubilidad del oxígeno. Las concentraciones en este tipo de aguas residuales varían depende del tipo de restaurante, pero se han reportado estudios en los que han alcanzado los 1000 mgL^{-1} [39].

- Demanda química de oxígeno (DQO)

El DQO es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica [33]. La concentración en estas aguas residuales está influenciada por la presencia de los aceites y grasas, y los sólidos provenientes de la actividad de esta industria. Los valores de DQO suelen variar de 1000 a 4000 mgL^{-1} , y puede ser una medida indirecta de los aceites y grasas, determinado al ser dividido por un factor de 2.88 [38][39].

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El DBO es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno que requieren los organismos vivos para oxidar la materia orgánica [33]. Las concentraciones en aguas residuales de restaurantes pueden llegar a superar los 9000 mgL^{-1} dependiendo del tipo de restaurante [38]. De acuerdo con el alcance propuesto en esta investigación se han cuantificado los parámetros fisicoquímicos de DQO, DBO y concentración de aceites y grasas.

2.5.2 Características físicas de aguas residuales

- Temperatura

La temperatura tiene un papel fundamental en la calidad del agua ya que a mayores temperaturas el oxígeno disuelto se reduce y a bajas temperaturas la solubilidad del oxígeno incrementa. La temperatura de las aguas residuales de restaurantes suele variar de la temperatura ambiente hasta 60°C ya que muchos establecimientos lavan su vajilla con agua caliente [33][38].

- Color

El color del agua es un parámetro indicador de su calidad ya que si el agua es transparente se puede decir que su contaminación es nula o baja, por otro lado, cuando el agua está más turbia se torna de un color gris. El color de este tipo de agua residual está determinado por el tipo de alimentos que se preparen, los sólidos y los aceites y grasas que tornan a un color amarillento [33][39].

- Olor

El olor en este tipo de aguas residuales suele estar determinado por la descomposición de materia orgánica y de los aceites y grasas.

- Sólidos

El material sólido se encuentra suspendido. En este tipo de industrias el agua residual contiene sólidos provenientes de los residuos de alimentos.

2.5.3 Análisis de laboratorio

Se analizaron por triplicado los parámetros iniciales de las muestras de la trampa de grasas y aceites instalada en el laboratorio de cocina del CHAT y del agua residual sintética elaborada

en el LIA, con el fin de comparar estos resultados. Por otro lado, las pruebas experimentales se realizaron por triplicado y cada muestra resultante, también, se analizó por triplicado.

- Agua residual sintética

Para realizar las pruebas experimentales en el dispositivo se produjo un agua residual sintética que emulase la concentración de aceites y grasas de un establecimiento de servicios de comida. Para calcular la concentración se investigaron distintas fuentes bibliográficas, asumiendo la máxima que depende de la hora y tipo de restaurante, por lo que se estableció un valor de 1000 mgL^{-1} . Esta concentración se estableció en base a otros estudios donde se han determinado la presencia de aceites y grasas en restaurantes universitarios, valores que varían entre los 253 mgL^{-1} a 1067 mgL^{-1} , por lo que se eligió como base la concentración máxima de este parámetro ya que si existe una alta remoción en este escenario, el dispositivo funcionará para un rango amplio de concentraciones [38]. Para la elaboración del agua residual sintética se consideró una relación entre los aceites y las grasas presentes en la mezcla, se agregó una concentración de 548 mgL^{-1} de aceite vegetal a base de palma africana y 452 mgL^{-1} de grasa en forma de margarina vegetal de palma africana en el volumen de 202.5 L [40].

- Protocolo de muestreo

Para la toma de muestras y resultados de cada prueba, se ingresó el caudal de agua residual sintética de manera constante correspondiente a cada número de prueba experimental después de que se mezcló el aceite y la grasa completamente durante 30 minutos y a una temperatura de 200°C . Se tomó 250ml de efluente por cada triplicado para su respectivo análisis. Cada alícuota para el análisis se tomó de las muestras en constante agitación a 500rpm durante 30 minutos para obtener homogeneidad.

Adicionalmente, se tomaron muestras de una trampa de aceites y grasas instalada en el CHAT para la comparación de eficiencias. El periodo de limpieza de las trampas de grasas de

los laboratorios del CHAT es semanal por lo que, se optó por recolectar las muestras poco antes del lavado. Para que sea significativa, en términos cuantitativos, se agitó el contenido bajo el sobrenadante y se extrajeron 250mL de la primera y segunda cámara, para posteriormente ser caracterizada en el LIA. Para los análisis de DQO de las muestras del dispositivo convencional, se realizó una dilución de 1:10 y cada alícuota se tomó en constante agitación a 8rpm durante 10 minutos para obtener homogeneidad en la dilución.

- Caracterización del agua residual

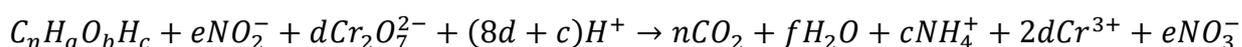
El proceso de caracterización en el LIA por cada parámetro se menciona a continuación.

- Aceites y grasas

Se determinó por medio de la decantación que consiste en la separación de dos líquidos de diferente densidad. La determinación de aceite y grasas se realizó colocando la muestra de agua residual en el embudo de decantación durante 1 hora. Se eliminó el agua y se pesó la capa superior que corresponde a los aceites y grasas. Finalmente se dividió el peso obtenido para el volumen de la muestra [41].

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Este análisis oxida a la muestra en una solución ácida, generalmente ácido sulfúrico H_2SO_4 en presencia de un catalizador que es sulfato de plata Ag_2SO_4 , con dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$ que representa a la materia orgánica, y con la adición de la solución de digestión [42][43]. La reacción química de este proceso es la siguiente:



Para obtener los resultados, se generó una curva de calibración con estándares que fueron preparados a partir de una solución madre de $K_2Cr_2O_7$. En tubos de ensayo especiales para DQO, se agregó 2.5 mL de cada estándar, 1.5 mL de solución de digestión y 3.5 mL de la

solución ácida de H_2SO_4 con Ag_2SO_4 , se generó un blanco en el que se colocó 2.5 mL de agua destilada en lugar de estándar, y en el caso de las muestras se agregó 2.5 mL de muestra. Se dejó en el horno a $150^\circ C$ durante 2 horas. Finalmente se midió la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 600 nm, y con la ecuación de la curva de calibración se determinó la concentración de cada muestra. Para el análisis de las muestras extraídas de la trampa de aceites y grasas del CHAT y para la muestra residual sintética, se realizó una dilución de 1:10 ya que se predijo que la concentración sería mayor a la del estándar más concentrado.

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

El resultado del análisis de DBO es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos presentes en el agua para oxidar la materia orgánica. Se determinó el DBO₅, es decir, a los 5 días. Para este análisis, se multiplicó la concentración de DQO por un factor de 0.8 para obtener el DBO esperado, con este valor se determinó el volumen necesario de muestra de acuerdo con la Tabla 4.

Tabla 4. Volumen de la muestra a usar para determinar DBO₅

DBO₅ Esperado [mg/L]	Volumen de muestra [mL]	Factor
0-40	432	1
0-80	365	2
0-200	250	5
0-400	164	10
0-800	97	20.1
0-2000	43.5	50.3
0-4000	22.7	100.5

Fuente: manual de laboratorio, INA USFQ.

Posteriormente, se colocó el volumen en una botella ámbar y se añadieron 3 gotas de inhibidor NH_3 para evitar interferencias por compuestos de nitrógeno. Luego, se añadió un imán agitador a la botella y se colocó un contenedor plástico en la boquilla con 2 pastillas de NaOH . Se procedió a cerrar la botella con el equipo OxiTop, se encendió y se colocó en la incubadora. Finalmente, al cabo de 5 días se monitorean los valores obtenidos, los que son multiplicados por el factor correspondiente de la Tabla 4.

- Sólidos suspendidos totales SST

Los SST son las partículas compuestas de materia volátil y no volátil presentes en solución que no sedimentan. La concentración de SST es un indicador de sedimentos y de turbidez del agua [44]. Se empleó el método gravimétrico para determinarlos en cada muestra. Se procesaron 20 mL de la muestra con un equipo de filtración empleando un filtro Whatman de $0.45 \mu\text{m}$. Posteriormente, se colocó el filtro en un pesamuestras y se llevó al horno a 105°C por 8 horas. Después, se llevaron las muestras al desecador por 2 horas y se pesaron. Una vez secas las muestras a la mufla a 550°C durante 3 horas. Finalmente, se pesan las muestras procesadas después de enfriarse. La expresión usada para calcular los SST, se muestra en la Ecuación 7.

$$SST = \frac{Me - FP}{V}$$

Ecuación 7

Dónde Me es el peso del filtro y muestra después del horno, FP es el peso del filtro con el pesamuestras vacío y V es el volumen de la muestra.

2.5.4 Eficiencia

Después de correr las pruebas experimentales y obtener resultados de los análisis por triplicado se aplicó un método estadístico basado en el promedio y la desviación estándar para

determinar un resultado final único. El promedio y la desviación estándar se calcularon con las Ecuaciones 8 y 9, respectivamente a través de una hoja de cálculo en Excel[®]. La desviación estándar validó el promedio obtenido ya que es usada para comparar variables correlacionadas estadísticamente.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

Ecuación 8

Dónde \bar{x} es el promedio, N es la cantidad de observaciones y X_1, X_2, \dots, X_N es el conjunto de observaciones.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Ecuación 9

Dónde s es la desviación estándar, \bar{x} es el promedio, N es la cantidad de observaciones y X_1, X_2, \dots, X_N es el conjunto de observaciones.

Con el único resultado de cada prueba experimental se determinó la eficiencia a partir de la diferencia en la concentración de los parámetros en del afluente y del efluente. Para obtener la eficiencia de remoción se empleó la ecuación 10.

$$Eficiencia = \left(\frac{X_i - X_f}{X_i} \right) \times 100$$

Ecuación 10

Dónde X_i es la concentración inicial del parámetro y X_f es la concentración final del mismo parámetro. Se compararon las eficiencias obtenidas entre las diferentes pruebas experimentales, y la eficiencia mayor se comparó con la eficiencia de un dispositivo

convencional de uno de los laboratorios del CHAT. Adicionalmente, se comparó las concentraciones finales obtenidas con la norma ambiental vigente en el Ecuador que establece los Límites Máximos Permisibles para descargas en el alcantarillado presentados en el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA).

2.6 Análisis tecno-económico

2.6.1 Valoración económica

Para obtener un análisis tecno-económico más acertado, se analizó el tratamiento de la concentración de aceites y grasas por m³ de agua residual, como un giro de negocio. Es decir, se consideró una planta de tratamiento del contenido de aceites y grasas de aguas residuales utilizando el dispositivo. Para identificar el costo del tratamiento se identificaron los costos fijos y variables. Los costos fijos son aquellos independientes de la producción, es decir, se mantienen constantes a cierto nivel de actividad. Por otro lado, los costos variables son aquellos que varían dependiendo del nivel de actividad, estos incrementan mientras la producción aumenta. Tener clara la diferencia entre estos costos ayuda a tener una proyección de inversión más acertada [45].

Los costos fijos están definidos por los materiales y equipos necesarios para el tratamiento de los aceites y grasas de las aguas residuales, de igual manera, la cantidad de empleados necesarios. A continuación, en la Tabla 5 se detallan los equipos necesarios.

Tabla 5. Equipos necesarios

Equipos
Interceptor hidromecánico de aceites y grasas

De igual manera, se detalló en la Tabla 6 la lista de empleados necesarios para el tratamiento de los aceites y grasas de las aguas residuales.

Tabla 6. Empleados necesarios

Empleado
Ing. Ambiental
Técnico de instalación y mantenimiento

Para poder cuantificar la cantidad de trabajo de cada empleado, en el caso de los ingenieros ambientales, estos estarían encargados de la manufactura del dispositivo por lo que su jornada de trabajo está regida al tiempo que les toma armarlo. El técnico de instalación y mantenimiento estaría disponible durante el primer año de uso del dispositivo ya que estos servicios se los consideró dentro de la garantía ofrecida.

Como se detalló previamente, los costos variables dependen del nivel de producción, en este caso, dependerán de la cantidad de agua residual que será tratada por el dispositivo. En la tabla 7, se detallan los materiales necesarios.

Tabla 7. Materiales necesarios

Material
Carbón activado
Electricidad

2.6.2 Análisis de sensibilidad económica

Tras la identificación de los costos fijos y variables, se calculó la inversión total de la planta a través del método de Lang. Este método consiste en el cálculo de la inversión total de

la planta a través de la estimación de las inversiones individuales de cada equipo. En este caso, se analizó la inversión de la construcción del dispositivo. El método está diseñado para el cálculo de inversiones fijas y totales en plantas de procesos sólidos, solido-líquidos y líquidos.

El cálculo de la inversión esta dado por la multiplicación del costo del equipo por el factor de Lang (fL). Este factor considera los costos asociados del equipo, es un único factor con base en el tipo de planta en la que se encuentra. En este caso, se calculó la inversión total de una planta de procesos líquidos ya que se trata agua residual [46]. En la tabla 4 se detallan los valores del factor de Lang para cada caso.

Tabla 8. Tipos de plantas y sus factores de Lang

Tipo de planta	fL inversión fija	fL inversión total
Procesos solidos	3.9	4.6
Procesos solido-líquidos	4.1	4.9
Procesos líquidos	4.8	5.7

Fuente: [36]

A pesar de que en la Tabla 8 se detallan los factores de Lang para cada caso, se escogió un factor de Lang de 2. Esto fue determinado con base en el método experimental, ya que tras la construcción del prototipo y considerando que el proceso a realizarse no es complejo, los factores de Lang previamente detallados no serían realistas ni acertados al caso.

Con el fin de calcular el costo de inversión del equipo necesario para el tratamiento del agua residual, se calculó el costo neto de la construcción del dispositivo con base en los insumos necesarios, se tomaron en cuenta en los precios actuales obtenidos en la etapa de construcción y las cantidades necesarias de cada material. Una vez que se obtuvo el costo neto se lo multiplicó por el factor de Lang y así se determinó la inversión total del equipo para el tratamiento del agua residual.

Tras determinar el costo del dispositivo, se definió el sueldo de cada empleado para la construcción del dispositivo, su instalación y el mantenimiento de un año. Se considero que los sueldos de los ingenieros ambientales serian de solamente un mes ya que eso es lo que tomó construir la trampa; sin embargo, ya que se hizo un análisis anual, se considera el proporcional de este sueldo en todo el año, así de determino el costo fijo de operación. Finalmente, se definieron los costos variables con base de 1 m³ de agua residual tratada, es decir, el costo variable unitario considerando las materias primas previamente detalladas.

Tras el cálculo de estos costos, se definió la cantidad de materia prima que sería tratada anualmente y qué porcentaje de esta seria tratada exitosamente, en otras palabras, cuanto de ésta se perdería en el tratamiento. En este caso, se determinó que el total de materia prima que ingresa es tratado, es decir, no hay perdidas ya que el dispositivo no tiene fugas. Esta cantidad fue definida a partir de los datos obtenidos de la determinación del caudal, el tiempo que los lavabos estarían en uso diariamente; que fue determinado a través de investigación experimental y de observación en los laboratorios del CHAT. Se asumió un tiempo de 3 horas, basándose en el razonamiento de que los lavabos son utilizados por 20 minutos después de cada sesión de clase del CHAT, 8h30 a 17h30, es decir, 6 sesiones. Tras este cálculo se determinó cual es la generación de aguas residuales anualmente considerando los días laborables del año, ya que el funcionamiento considera los días vacacionales de la Universidad San Francisco de Quito. De igual manera, se determinó cual sería la vida útil del dispositivo considerando el material de este, su uso y las concentraciones de aceites y grasas que trataría. Este tiempo fue de 5 años, dicho de otra manera, tras el paso de 5 años desde su instalación y primer uso, este debería ser reemplazado, dadas las inmensas cantidades de agua que dispositivo trata.

Se determinó la tasa de descuento que indica cuál es el valor actual de un pago que se recibirá a futuro, es decir, esta tasa indica el porcentaje de perdida entre el dinero actual y el

dinero que se recibirá en un futuro, en Ecuador es utilizada como una constante de 12% [47]. Se calculó la viabilidad de la inversión con los métodos de cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). El VAN consiste en determinar si es que la inversión es rentable o no, y si es que cumple con maximizar la inversión del proyecto [48]. Este método está definido por la ecuación 11.

$$VAN = -I + \frac{FNE}{(1+i)^n}$$

Ecuación 11

Donde $-I$ es la inversión total inicial, FNE son los flujos netos de efectivo y $(1+i)^n$ es la tasa de descuento. La manera de interpretar el VAN está definida en la Tabla 9 con la que se concluyó qué decisión tomar.

Tabla 9. Interpretación valor VAN

Valor	Interpretación
$VAN > 0$	La inversión generara ganancias
$VAN < 0$	La inversión producirá pérdidas
$VAN = 0$	La inversión no producirá ni pérdidas ni ganancias

Fuente: [48]

Por otro lado, el TIR indica cual es el porcentaje de pérdida o de beneficio de una inversión, determina que tan rentable y viable es un proyecto considerando el flujo de caja y la inversión total. Esta es la medida interna o intrínseca del dinero invertido en el proyecto, es decir, que tan efectiva es la inversión [48]. Este método está definido por la Ecuación 12.

$$TIR = i_1 + \frac{[(i_2 - i_1)(VAN_1)]}{[|VAN_2 - VAN_1|]}$$

Ecuación 12

Donde i_1 es la tasa de interés con VAN positivo, i_2 es la tasa de interés con VAN negativo, VAN_1 es el VAN positivo y VAN_2 es el VAN negativo. La manera de interpretación del TIR esta detallado en la Tabla 10. Con base en esta Tabla se concluyó qué decisión tomar.

Tabla 10. Interpretación valor TIR

Valor	Interpretación
TIR > 0	La inversión generara ganancias
TIR < 0	La inversión producirá perdidas
TIR = 0	La inversión no producirá ni perdidas ni ganancias

Fuente: [48]

Con base en los flujos de caja de los 5 años de vida útil del dispositivo, se calculó cuál debe ser el Precio de Venta Mínimo (PVM) a través del método de análisis de hipótesis de Excel. Este método se aplicó para obtener un VAN favorable, es decir, mayor a cero, que indica que la inversión en el proyecto genera beneficios al igual que un TIR mayor a cero.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Variables de diseño

Tabla 11. Resumen Resultados Variables de Diseño

Variable de Diseño	Unidad	Resultado
Dimensiones (largo, altura, ancho)	m	0.90 x 0.55 x 0.50
Nivel freático	m	0.45
Volumen depósito de grasa	m ³	0.01
Volumen	L	247.5
Volumen útil	L	202.5

Caudal mínimo	Ls^{-1}	0.3
Caudal máximo	Ls^{-1}	0.6
Inducción de aire	$L_{aire} s^{-1}$	12.8
Tiempo de retención hídrico	min	Tabla 12

Las dimensiones del dispositivo fueron 0.90 m de longitud, 0.55 m de altura, y 0.50 m de ancho. Estas dimensiones supusieron una reducción del 60% en comparación con las especificaciones técnicas para el diseño de trampas de aceites y grasas de la Organización Panamericana de la Salud. El ancho del dispositivo tuvo una relación entre 2:1 a 3:2, y una altura no menor a 0.80 m, por lo que se propuso un ancho de 0.50 m, y una profundidad de 0.55m. Aunque las dimensiones no cumplieron los parámetros propuestos por la norma técnica, se los escogió para poder reducir las dimensiones del dispositivo, en base a las innovaciones planteadas de la aeración, filtro de malla, y filtro de carbón, ya que la eficiencia se hipotetizaba que aumentaría.

Se fijó un nivel freático de 0.45 m de altura, 0.10 m por debajo del borde superior del mismo. Con base en a la norma técnica de la Organización Panamericana de la Salud, no cumple con el parámetro sugerido, sin embargo, se tomó este valor para poder reducir las dimensiones del dispositivo y considerando las innovaciones planteadas, por lo que el funcionamiento no se vio afectado.

El depósito de aceites y grasas del dispositivo conto con un volumen del 4.0% del volumen total del dispositivo, y por ende resulto en las siguientes dimensiones: 10cm de altura, 20cm de largo, y 50cm de ancho. Con base en las “ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE TRAMPA DE GRASA” de la Organización Panamericana de la Salud, se sugiere que el volumen no sobrepase un 33% del volumen total de la misma. De igual manera, con base al mismo estudio, este deberá estar a 0.05 metros por encima del nivel freático, sin embargo, el resultado fue de 0.03 metros por encima del mismo, dadas que las innovaciones planteadas no permitieron que las grasas se acumulen por más de 0.03 metros por encima del

susodicho. El volumen del dispositivo considerando sus dimensiones fue de 247.5 L. Dados los 10 lavabos en las cocinas del CHAT, el dispositivo para este debería tener una capacidad de 1000 L, sin embargo, dadas las innovaciones planteadas el volumen de 247.5 L se mantuvo como el valor ideal. El volumen útil consideró el nivel freático como punto máximo de altura, obteniendo un valor de 202.5 L. Se logró la reducción de más del 50% del volumen de una trampa de aceites y grasas convencional. Añadiendo a esto, el resultado del caudal se obtuvo a través del método experimental para un valor de 0.3 L s^{-1} .

La velocidad de separación no fue un valor que pudo ser calculado experimental o teóricamente, sin embargo, en base a las innovaciones utilizadas en el dispositivo, y los resultados positivos en concentraciones del efluente, se pudo concluir que este factor fue más alto que el de un dispositivo convencional. Si los resultados obtenidos no hubieran mostrado un factor de remoción de aceites y grasas tan elevado, se hubiera concluido que la velocidad de separación no fue la óptima, ya que este factor influencia de manera significativa las concentraciones en efluentes. Si los aceites y grasas no pueden separarse rápidamente el uno del otro, estos pasarían a través de las recamaras del dispositivo a medida que más agua entra por el influente, dando altas concentraciones al momento de su salida.

Las mangueras para la inducción de aire se colocaron en el parte inferior del dispositivo con cinta adhesiva impermeable para mantenerla pegada al fondo de esta, tomando en cuenta que esta no tapone los huecos para la aeración. Esta se colocó a lo largo y ancho de toda la primera recamara del dispositivo, donde se encontraba la mayor concentración de aceites y grasas, para que pueda tener el mayor efecto posible en la velocidad de separación de estas. Se asume un beneficio extra aparte de la mejora en eficiencia de remoción de aceites y grasas, de la aeración es la ayuda en los olores provenientes del dispositivo por descomposición de materia orgánica. Al tener aeración constante, los gases que causan los malos olores no podrán

acumularse en el dispositivo, y de igual manera, esta evita que el agua dentro del dispositivo se estanque.

A continuación, se pudo observar que el filtro de malla funciona de manera efectiva para prevenir que las grasas pasen a través de este, que causo que estas no pueden moverse de manera completamente libre hacia las partes finales de la primera recámara, y, por ende, que no puedan efectivamente moverse hacia la tubería que une las dos recámaras. Añadiendo a esto, el segundo filtro, de carbón activado, se colocó en la segunda cámara del dispositivo, para tratar cualquier aceite o grasa que haya pasado desde la primera. Se lo colocó en ambos lados de la tubería, en la parte inferior para garantizar el tiempo de contacto con el fluido proveniente de la primera cámara. Por su posicionamiento, todo el fluido tuvo que pasar a través del filtro, un resultado esperado para mejorar la eficacia del dispositivo. Durante el primer llenado, se observó como el carbón en polvo y parte de los gránulos de carbón activado se separaron y flotaron a la parte superior de la segunda cámara.

Por el otro lado, utilizando la ecuación para el tiempo de retención hídrica, los caudales teóricos se pueden ver en la segunda columna de la Tabla 11, y los tiempos de retención experimentales se pueden observar en la tercera columna. Cabe recalcar, que el tiempo de retención experimental se promedió entre las 3 pruebas experimentales hechas por cada tipo de parámetro, ya que los filtros y aeración no afectarían en el tiempo de retención hídrico, ya que este solo se basa en caudal y volumen.

Tabla 12. Tiempo de retención obtenido

Tipo de Parámetro	Caudal [Ls^{-1}]	Tiempo de Retención Teórico [min]	Tiempo de Retención Experimental Promedio [min]
-------------------	----------------------	-----------------------------------	---

Sin filtros ni aeración	0.3	11.25	13.08
Sin filtros ni aeración	0.6	5.63	7.22
Filtros sin aeración	0.3	11.25	13.45
Filtros sin aeración	0.6	5.63	7.43
Filtros con aeración	0.3	11.25	13.48
Filtros con aeración	0.6	5.63	7.41

Como se puede apreciar en la Tabla 12, el tiempo de retención hídrico teórico vs experimental promedio vario en cada una de las pruebas. Este fue un resultado esperado debido a la acumulación de aceites y grasas en la válvula de bola, las diferencias de volumen que los filtros (malla y carbón) crean en la trampa, inconsistencias en la presión de agua del grifo utilizado para las pruebas, y los deflectores de turbulencia que crean un tope en el influente. Sin embargo, la diferencia de los tiempos de retención no fue significativa, y se puede concluir que el caudal se mantuvo en el rango de error. En el Anexo A, Figura 21, se puede observar al dispositivo terminado.

3.2 Análisis de pruebas experimentales

Se presentan los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales y análisis efectuados en el LIA. Además, se comparan con los valores establecidos como límites máximos permisibles en la categoría de descargas líquidas al sistema de alcantarillado, Tabla 13, presentados en el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) donde se establecen las políticas ambientales básicas que rigen en Ecuador.

Tabla 13. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público establecidos por el TULSMA

Parámetro	Unidades	Límite Máximo Permisible
Aceites y Grasas	mgL ⁻¹	100
DQO	mgL ⁻¹	500
DBO5	mgL ⁻¹	250
SST	mgL ⁻¹	220

Fuente: [27]

3.2.1 Parámetros iniciales del afluente

- **Análisis de muestras de la trama de aceites y grasas del CHAT.**

Los resultados del análisis de la cámara 1 y cámara 2 de la trampa de aceites y grasas del CHAT con sus respectivas desviaciones estándar se detallan, en la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados del análisis de los parámetros en la muestra de la trampa de aceites y grasas del CHAT

	Aceites y grasas [mgL ⁻¹]	DQO [mgL ⁻¹]	DBO [mgL ⁻¹]	SST [mgL ⁻¹]
Cámara 1	888.59 ± 40.27	2205.13 ± 38.39	1877.87 ± 29.04	1.68 ± 0.81
Cámara 2	184.61 ± 45.85	1886.27 ± 24.08	0 ± 0	1.06 ± 0.19

Se determinó la masa de aceites y grasas presentes por medio de la decantación obteniendo resultados para la cámara 1 y para la cámara 2 de 888.59 ± 40.27 mgL⁻¹ y 184.61 ± 45.85 mgL⁻¹ respectivamente. Estos resultados se encuentran dentro de la concentración

media en efluentes de restaurantes ubicados en campus universitarios, 253 mgL^{-1} a los 1067 mgL^{-1} [38]. La concentración en la cámara 2 es la que se descarga al sistema de alcantarillado público por lo que se está incumpliendo con los límites máximos permisibles declarados en el TULSMA. La descarga del efluente obtenido supera al valor establecido por $84.59 \pm 40.27 \text{ mgL}^{-1}$ por lo que la eficiencia de remoción no es suficiente [27].

El DQO obtenido en la cámara 1 y en la cámara 2 de la trampa de aceites y grasas convencional fue de $2205.13 \pm 38.39 \text{ mgL}^{-1}$ y de $1886.27 \pm 24.08 \text{ mgL}^{-1}$ respectivamente. Los resultados son similares a los obtenidos de un estudio del agua residual proveniente de un restaurante de un campus universitario, que varían de 1482 mgL^{-1} hasta los 5636 mgL^{-1} [38]. Por lo tanto, se observó que no existe una remoción significativa en la cámara 2 del dispositivo convencional ya que la concentración sigue en el rango inicial establecido por el estudio previo. Según el TULSMA, no se podría descargar el efluente de la cámara 2 directamente al alcantarillado sin un tratamiento adicional ya que el límite máximo permisible establecido para este parámetro es de 500 mgL^{-1} .

El DBO_5 obtenido en la cámara 1 del dispositivo del CHAT fue de $1877.87 \pm 29.04 \text{ mgL}^{-1}$ y en la cámara 2 fue de 0 ya que estuvo debajo del umbral que el equipo "OxiTop" mide. El resultado de la cámara 1 se encuentra dentro de la concentración media en cafeterías universitarias que varía entre 1193 a 2247 mgL^{-1} [38]. Se evidenció que existe una alta remoción la cámara 1 y la cámara 2, ya que la mayor parte de la materia orgánica se sedimenta en la primera cámara, el BOD de la cámara 2 no incrementó en ninguno de los 5 días, como se detalla en la Figura 9.

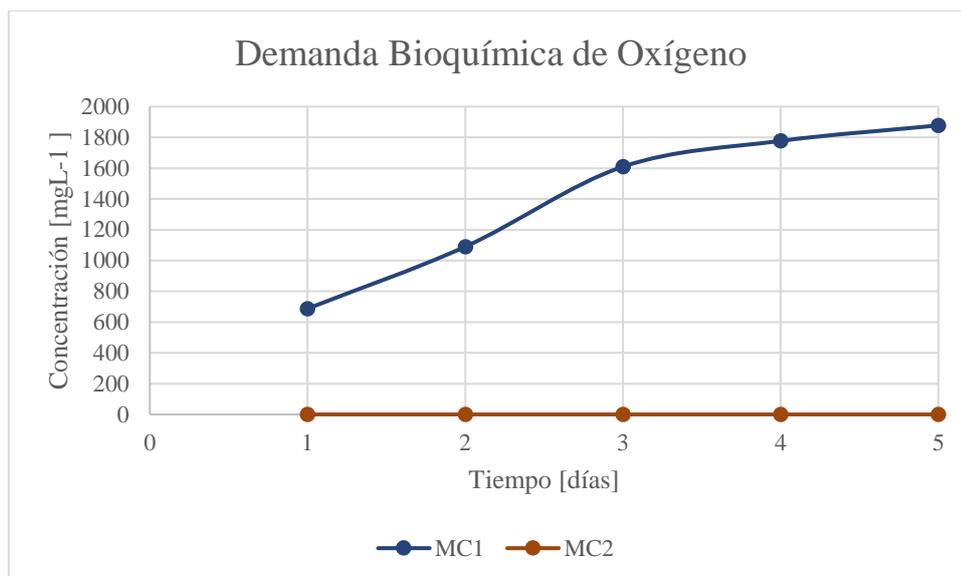


Figura 9. DBO5 de las muestras de la trampa de aceites y grasas convencional del CHAT

Los SST obtenidos en la cámara 1 y en la cámara 2 fueron de $1.68 \pm 0.81 \text{ mgL}^{-1}$ y de $1.06 \pm 0.19 \text{ mgL}^{-1}$ respectivamente. Los valores iniciales descritos en un estudio de caracterización de un restaurante de un campus universitario se encuentran en un rango 217 mgL^{-1} a 1067 mgL^{-1} , y de 210 mgL^{-1} a 360 mgL^{-1} en un estudio de aguas residuales alimentarias [38], [49]. Los valores determinados en el LIA no son similares a los obtenidos en otros estudios, ya que en la cámara 1 del dispositivo del CHAT se encuentra ubicada una malla que retiene a la mayoría de SST. Por lo tanto, en este parámetro se cumple con el valor establecido por el TULSMA de límite máximo permisible para la descarga al alcantarillado, que es de 220 mgL^{-1} .

- Agua residual sintética

Como se mencionó, el agua residual sintética tuvo una concentración de 1000 mgL^{-1} , este valor se encuentra dentro de los valores medios para el agua residual de restaurantes de 800 a 1067 mgL^{-1} [38], [50]. Los resultados obtenidos sirvieron para establecer el punto referencial de partida y determinar la remoción de los agentes contaminantes en función de

este parámetro. Los resultados del análisis del agua residual sintética con sus respectivas desviaciones estándar se detallan, en la Tabla 15.

Tabla 15. Resultados de DQO del agua residual sintética

	DQO [mgL ⁻¹]		
Agua Residual Sintética	1861.03	±	36.71

El DQO del agua sintética fue de $1861.03 \pm 36.71 \text{ mgL}^{-1}$; este valor fue más bajo que el resultado de las muestras de la trampa de aceites y grasas del CHAT ya que no se consideraron sólidos y tensoactivos presentes en las muestras de las cocinas del CHAT, sin embargo, varía en un rango similar. Para el caso del agua sintética los análisis el DBO y los SST se omitieron ya que el alcance del proyecto fue la determinación de la remoción de aceites y grasas.

3.2.2 Parámetros del efluente tratado

Después de llevar a cabo las pruebas experimentales se analizó cada muestra resultante. Los resultados de concentración de aceites y grasas de cada prueba experimental no alcanzaron el umbral del método de decantación, ya que se formaron pequeñas gotas en la superficie del agua al ser decantada por lo que su medición mediante el método gravimétrico no es significativa. Por lo tanto, este resultado fundamenta el funcionamiento altamente eficiente que tuvo el dispositivo con respecto a la separación de aceites y grasas. Adicionalmente, para una determinación exacta de este parámetro en las muestras tratadas se debe utilizar un método químico con un umbral más bajo y preciso. En comparación al agua tratada por el dispositivo convencional se pudo observar que existe deferencia en la remoción ya que, en este caso, se pudo observar y medir gravimétricamente la capa de grasas que se formó en el decantador.

Los resultados de DQO con sus desviaciones estándar correspondientes se detallan en la Tabla 16 y se muestran en la Figura 10.

Tabla 16. Resultados de DQO del efluente tratado en cada prueba experimental

Nº de prueba experimental	DQO		
1	7.04	±	3.96
2	10.99	±	1.98
3	5.06	±	1.98
4	1.76	±	1.14
5	2.42	±	1.14
6	4.40	±	1.14

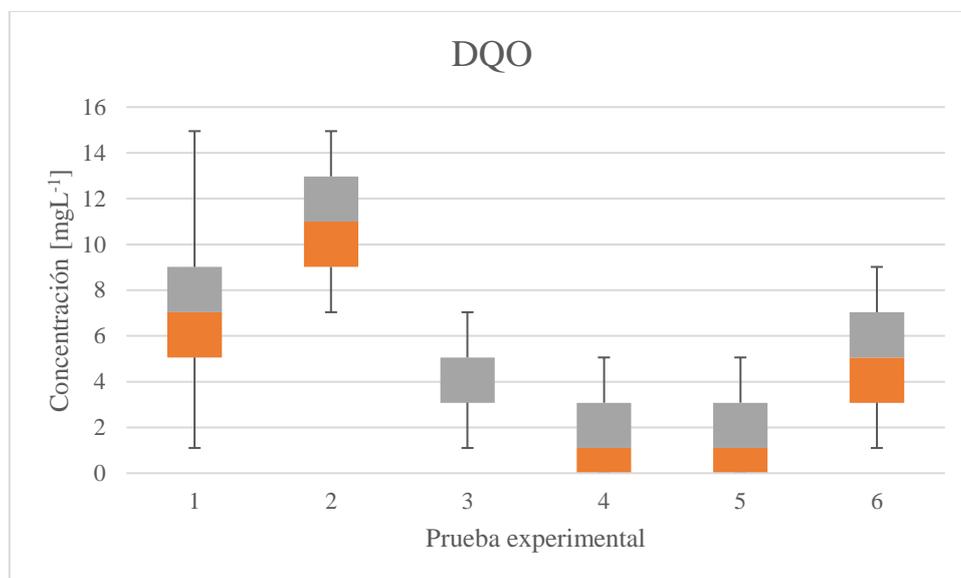


Figura 10. Resultados de DQO del efluente tratado en cada prueba experimental

Se observó que con la configuración de la prueba experimental 4, filtro de malla de acero inoxidable mallado 300, filtro de carbón activado y aireación de 12.80 Lmin^{-1} y con el caudal mínimo de 0.30 Ls^{-1} los resultados de DQO fueron menores ya que contó con la totalidad

de las mejoras en el dispositivo. La prueba 5 cuenta con la misma configuración exceptuando al caudal máximo de 0.60 Ls^{-1} ; el resultado obtenido fue similar al de la prueba 4, sin embargo, la diferencia radica en el caudal, ya que se observó que a menor caudal existe mayor remoción debido a que el tiempo de retención incrementa por lo que aumenta la separación entre los aceites y grasas, y el agua. La implementación de filtros redujo la concentración en el efluente, ya que en las pruebas 3, 4, 5 y 6 se obtuvo valores menores comparados con las primeras pruebas.

En cuanto a la diferencia de remoción con respecto a los caudales, se comparó la prueba 1 y 2, en las cuales no se implementaron los filtros ni la aireación, en la prueba 1, que empleó el caudal mínimo, se obtuvo una menor concentración en el efluente en comparación a la prueba 2. En las pruebas 3 y 6 que mantienen la misma configuración, pero diferente caudal, se observó que la concentración del efluente es menor en la prueba 3 que empleó el caudal menor.

Por otro lado, los resultados obtenidos en las 6 pruebas experimentales cumplen con los límites máximos de descarga al alcantarillado establecidos por el TULSMA, de 500 mgL^{-1} , por lo tanto, el nuevo diseño del dispositivo ha contribuido a reducir la contaminación.

3.2.3 Eficiencias

Se obtuvieron resultados de las eficiencias de remoción por cada parámetro analizado de la trampa de aceites y grasas instalado en el CHAT. Estos valores se presentan en la Tabla 17 y en la Figura 11.

Tabla 17. Eficiencia de remoción de la trampa de aceites y grasas del CHAT

Parámetro	Eficiencia [%]
Aceites y Grasas [mgL^{-1}]	79.22
DQO	14.46

DBO	100.00
SST	36.81

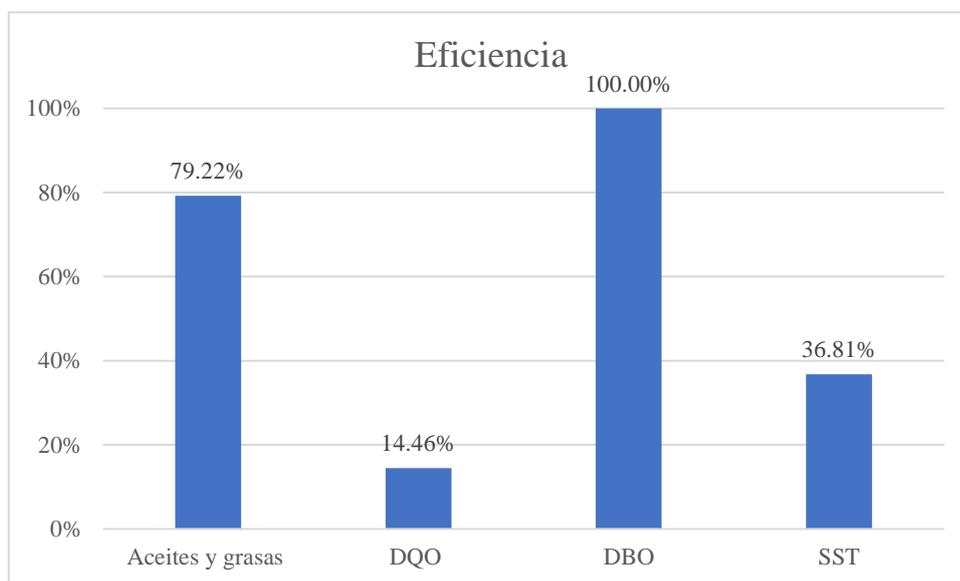


Figura 11. Eficiencia de remoción de la trampa de aceites y grasas del CHAT

Se dirigió un mayor enfoque a la eficiencia de remoción de aceites y grasas debido al alcance del proyecto. Para evaluar la eficiencia del nuevo diseño se consideró la remoción de DQO como medida indirecta de remoción de aceites y grasas. Los valores de eficiencia por cada prueba experimental se presentan en la Tabla 18 y en la Figura 12.

Tabla 18. Eficiencia de remoción del dispositivo

N° de prueba experimental	Eficiencia de remoción (%)
1	99.62%
2	99.41%
3	99.73%
4	99.91%
5	99.87%

6	99.76%
----------	--------

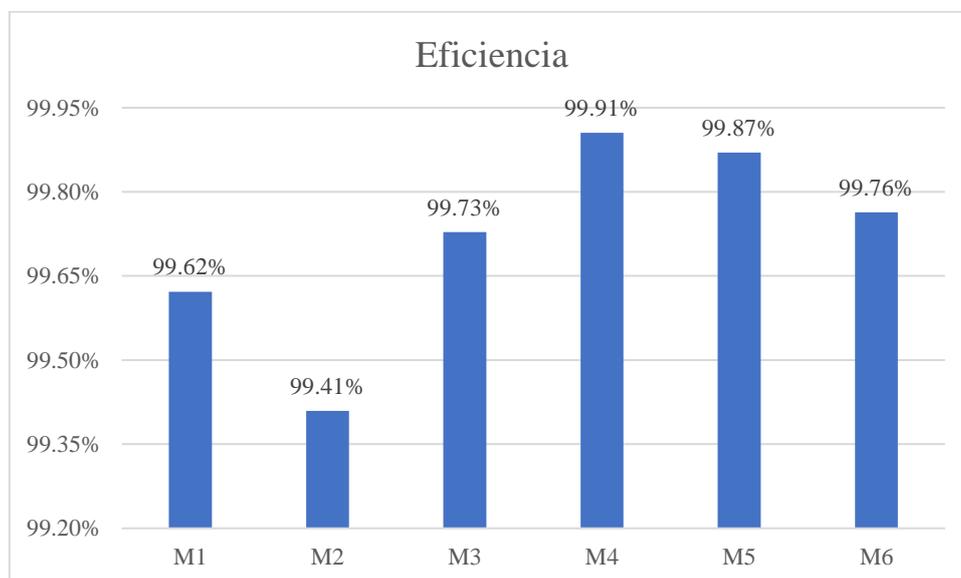


Figura 12. Eficiencia de remoción del dispositivo

Se evidenció que la prueba 4 fue la que contó con un alto porcentaje de remoción. La configuración de esta prueba fue el caudal mínimo, filtro de acero inoxidable mallado 300 y filtro de carbón activado, sin embargo, todas las pruebas resultaron en remociones de más del 99%.

3.3 Análisis tecno-económico

3.3.1 Valoración económica

Una vez definidos cuales son los costos fijos y variables, se determinó cual sería la cantidad de cada uno necesario para el tratamiento de 1 m³ de agua residual. A continuación, en la Tabla 19, se define la cantidad de interceptores hidromecánicos necesarios para el tratamiento de las aguas residuales de los laboratorios del CHAT.

Tabla 19. Equipos necesarios

Equipos	Cantidad
Dispositivo	1

De igual manera, se definió en la Tabla 20 el número de empleados necesarios para la construcción y diseño del dispositivo, al igual que su correcto funcionamiento, y su jornada anual, en meses. Como se explicó previamente los ingenieros ambientales prestarían su servicio solamente una vez al año por lo que su jornada esta expresada en el proporcional de un mes en el año.

Tabla 20. Empleados necesarios y sus jornadas anuales

Empleado	Cantidad	Jornada [meses]
Ing. Ambiental	3	1
Técnico de instalación y mantenimiento	1	12

Finalmente, se definió la cantidad de materiales para el funcionamiento del dispositivo. Esto fuera de la etapa de construcción, estos pasan a ser los costos variables ya que dependen de la cantidad de agua que se vaya a tratar, la cantidad de cada uno se detallaron en la Tabla 21. La base de cálculo fue del tratamiento de un metro cubico de agua residual.

Tabla 21. Materiales necesarios

Material	Cantidad
Carbón activado	1.3 g
Electricidad	0.22 kWh

3.3.2 Sensibilidad económica

Para empezar a analizar la sensibilidad económica, se calculó el costo de la construcción del dispositivo con los precios actuales de proveedores varios. En la Tabla 22 están detallados los materiales, la cantidad necesaria, el precio unitario, el precio total sin IVA; que consiste en la multiplicación de la cantidad por el precio unitario y finalmente el precio total con IVA. Como se detalló previamente, el IVA, es decir, el impuesto sobre el valor añadido en Ecuador es del 12%. Al final de la Tabla 22 se muestra el total de la suma de todos estos precios, lo que indica cual sería el costo total con base en los materiales necesarios para la construcción del dispositivo.

Tabla 22. Precio total de la construcción

Materiales	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio total sin IVA	Precio total con IVA
Lisa 1.20 x 2.40m x 6mm cristal	uni	1	\$178.23	\$178.23	\$199.62
Corte laser por minuto	min	30	\$0.60	\$18.00	\$20.16
Codo PVC 3" x 90 LASCO	uni	3	\$7.80	\$23.40	\$26.21
TEE PVCP 3" LASCO	uni	2	\$14.72	\$29.44	\$32.97
Valv. Bola PVC Pegable 3" Naranja	uni	1	\$42.75	\$42.75	\$47.88
Pega 1/4 LT CPVC Tomate 237 ml arrow	uni	1	\$11.19	\$11.19	\$12.53
Polilimpia 125 cc	uni	1	\$3.89	\$3.89	\$4.36
Pega acrilica liquida	kg	1	\$20.00	\$20.00	\$22.40
Malla tejida 1/8" alto= 90cm, c/m	uni	1	\$8.21	\$8.21	\$9.20
Perno hexagon C/Tuerca y Anillo Plano 4U	uni	1	\$0.97	\$0.97	\$1.09
JAD Oxigenador 4 salidas con regulador S-4008	uni	1	\$43.30	\$43.30	\$48.50

Manguera acuario air tube LY-AT50	uni	9	\$2.23	\$20.07	\$22.48
Angulo de acero (30x30x3mm) para refuerzo	uni	2	\$11.00	\$22.00	\$24.64
Total			\$ 344.90	\$ 421.46	\$472.03

Los valores obtenidos del precio total con IVA, se los multiplicaron por el factor de Lang, previamente definido como 2. De esta manera, se obtuvo la Tabla 23 donde se muestra la inversión total de cada material y finalmente, de la construcción de todo el equipo considerando los costos intrínsecos del ensamblado, pegado y funcionamiento del dispositivo.

Tabla 23. Inversión total de la construcción del dispositivo

Equipos	Precio total con IVA	IT (\$)
Lisa 1.20 x 2.40m x 6mm cristal	\$199.62	\$399.24
Corte laser por minuto	\$20.16	\$40.32
Codo PVC 3" x 90 LASCO	\$26.21	\$52.42
TEE PVCP 3" LASCO	\$32.97	\$65.95
Valv. Bola PVC Pegable 3" Naranja	\$47.88	\$95.76
Pega 1/4 LT CPVC Tomate 237 ml arrow	\$12.53	\$25.07
Polilimpia 125 cc	\$4.36	\$8.71
Pega acrilica liquida	\$22.40	\$44.80
Malla tejida 1/8" alto= 90cm, c/m	\$9.20	\$18.40
Perno hexagon C/Tuerca y Anillo Plano 4U	\$1.09	\$2.18
JAD Oxigenador 4 salidas con regulador S-4008	\$48.50	\$96.99
Manguera acuario air tube LY-AT50	\$22.48	\$44.96

Angulo de acero (30x30x3mm) para refuerzo	\$24.64	\$49.28
Total	\$472.03	\$944.06

Así, se obtuvo que la inversión total de materiales necesarios para la construcción del dispositivo es de 944.06 dólares. En un análisis similar sobre el diseño y construcción de interceptor hidromecánico, se determinó que el costo total de la producción de un dispositivo era de 618 dólares. Este valor no considera el factor de Lang o costos intrínsecos que se generan en la producción por lo que, en comparación con el valor obtenido previo a la multiplicación con el factor de Lang, de 472.03 dólares, es menor. Esto indica que los materiales propuestos y la cantidad de estos en este proyecto fueron más eficientes y, en comparación con una situación similar, este proyecto sería más económico. Sin embargo, se realizaron el resto de los análisis con base en el valor obtenido después del cálculo con el método del factor de Lang debido a los costos intrínsecos que se presentaron en la etapa de construcción.

Una vez calculada la inversión total, se procedió a calcular los costos operativos. Se determinaron los sueldos de cada técnico y considerando cuantos meses trabajarían anualmente, al igual que los beneficios de ley; en Ecuador es del 30% del sueldo. Se determinó, asimismo, el proporcional del trabajo anual del técnico de instalación y mantenimiento con base en su sueldo, ya que este solo visitaría el dispositivo una vez al mes por tres horas. De esta manera, en la Tabla 24 se calculó cual sería el total de costos fijos operativos

Tabla 24. Costos operativos anuales

Empleado	Cantidad	Jornada anual [meses]	Sueldo mensual	Pago neto anual	Beneficio de ley	Costo anual a la empresa
Técnicos	3	1	\$1,000.00	\$3,000.00	\$900.00	\$3,900.00

Técnico de instalación y mantenimiento	1	12	\$9.38	\$112.50	\$33.75	\$146.25
Costos fijos operativos anuales totales						\$4,046.25

Se obtuvo que el total de costos fijos operativos anuales es de \$4,046.25 dólares, esto quiere decir que para que el dispositivo sea construido y funcione por un año, esta es la cantidad de inversión total, sin contar los materiales para la construcción. En un estudio del análisis del costo de producción de una trampa de grasa, la inversión de costos fijos de la producción es de alrededor de \$24,470; esto considerando solamente los sueldos de los empleados involucrados. Claramente este valor es mayor al calculado en la Tabla 24, ya que en este análisis se consideraron más empleados como contadores y vendedores. Los valores de la Tabla 23 y 24, son los costos fijos del tratamiento de m^3 de aguas residuales.

Considerando que el valor calculado es realista, se procedió a calcular los costos variables considerando los materiales detallados en la Tabla 21. Como se mencionó previamente, estos costos dependen de la cantidad de agua tratada así que se calculó esta cantidad. En el apartado 2.6.2, se describió el método empleado para realizar este cálculo. A continuación, se muestra el cálculo del caudal de agua residual que se tratará en el dispositivo, a partir del caudal máximo analizado.

$$0.6 \frac{L}{s \text{ lavabo}} \times 10 \text{ lavabo} = 6 \frac{L}{s} \text{ caudal total}$$

$$6 \frac{L}{s} \times 3600 \frac{s}{h} \times 3 \frac{h}{d} = 648\,000 \frac{L}{d} = 64.8 \frac{m^3}{d}$$

Considerando este valor diario, se calculó el caudal total por hora y anual

$$64.8 \frac{m^3}{d} \times \frac{1 d}{24 h} = 2.7 \frac{m^3}{h}$$

$$64.8 \frac{m^3}{d} \times \frac{350 d}{1 \text{ año}} = 22\,680 \frac{m^3}{\text{año}}$$

Con este valor, se determinó que 2.7 m³ de agua residual sería tratada por hora. Este valor pasa a ser la materia prima que entra al dispositivo, y la misma cantidad que sale de este después del tratamiento ya que no hay fugas en el proceso.

Se identificaron los precios de cada uno de los materiales; para así poder identificar cual sería el costo variable, en termino de materiales, del tratamiento de un metro cubico de agua residual. En la Tabla 25 se detalló este costo.

Tabla 25. Costo de los materiales variables

Material	Costo
Carbón Activado	2,800 \$/t
Electricidad	0.092 \$/kWh

Considerando las Tablas 21, 25, y el valor de aguas residuales tratadas en una hora, se calculó el costo por material por el tratamiento de un m³. De igual manera, se destinaron \$0.02 para el mantenimiento por cada m³. La suma de estos valores son el costo total variable por m³. En la Tabla 26 están definidos los valores calculados.

Tabla 26. Costo total variable por metro cubico tratado

Material	Costo (\$/m³)
Carbón activado	0.00135
Electricidad	0.0000074
Mantenimiento	0.02
Total	0.01954

Con el fin de resumir los datos obtenidos, en la Tabla 27 se describió los valores que serán utilizados en el método del cálculo del VAN, TIR y PVM previamente detallado. En la Tabla 28, 29 y 30 se mostraron los resultados obtenidos de este cálculo. En el Anexo F se muestran detalladamente los cálculos de flujo de caja.

Tabla 27. Valores para utilizarse

Coste variable unitario (\$/m³)	0.01954
Costes fijos de operación \$	\$4,046.25
Inversión \$	\$944.06
Vida útil del dispositivo (años)	5
Días laborales	350
Tasa de descuento	12.00%

Tabla 28. Precio de Venta Mínimo

PVM (\$/m³)	PVM (\$/L)
0.21	0.00021

Tabla 29. Valores obtenidos del VAN y TIR con PVM de 0.21

VAN	\$0.00
TIR	12%

Tabla 30. Flujo de caja y plazo de recuperación

	Desembolso inicial	1	2	3	4	5
Flujos de caja	-\$944.06	\$261.89	\$261.89	\$261.89	\$261.89	\$261.89

Plazo de recuperación	-\$944.06	-\$682.17	-\$420.28	-\$158.39	\$103.51	\$365.40
-----------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------	----------

Tabla 31. Determinación del plazo de recuperación

Último año en negativo	3
Valor absoluto del año	\$158.39
Flujo de caja del siguiente año	\$103.51
VA último año negativo/Flujo de caja del siguiente	1.53
Plazo de recuperación (años)	4.53

Como se observa en las Tablas descritas anteriormente, el precio de venta mínimo del tratamiento de agua es de \$0.21 por cada m³ de agua residual tratado. Este valor es el precio en el cual se tiene un VAN de cero y un TIR del 12%. Esto quiere decir que, con base en la Tabla 9, la inversión no produciría ni pérdidas ni ganancias. Sin embargo, con un TIR mayor a cero, se sabe que la inversión generaría ganancias eventualmente. Esto indica que cada año solamente el 12% de las ganancias obtenidas serían reinvertidas. Por esto, se debe buscar un TIR con mayor porcentaje y un VAN mayor a cero para asegurar que el proyecto es rentable.

De igual manera, en la Tabla 31, se muestra el plazo de recuperación de la inversión, es decir, el plazo en el que la inversión se recupera y se empieza a tener ganancias. Este es de 4.53 años el cual se aproxima al tiempo de vida del dispositivo por lo que no se vuelve rentable que se recupere la inversión tan cerca del periodo de reemplazo del dispositivo.

Es por esto por lo que se analizó el aumento del precio de venta mínimo en dos céntimos de dólar, es decir, el nuevo PVM, que ahora se lo denomina PVP (Precio de Venta al Público), fue de 0.23 dólares. En la Tabla 32, 33, 34 y 35. Se detallaron los cambios que este aumento ocasionó.

Tabla 32. Precio de Venta Mínimo

PVM (\$/m ³)	PVM (\$/L)
0.23	0.00023

Tabla 33. Valores obtenidos del VAN y TIR con PVM de 0.23

VAN	\$1,443.93
TIR	64%

Tabla 34. Flujo de caja y plazo de recuperación

	Desembolso inicial	1	2	3	4	5
Flujos de caja	-\$944.06	\$662.45	\$662.45	\$662.45	\$662.45	\$662.45
Plazo de recuperación	-\$944.06	-\$281.61	\$380.84	\$1,043.29	\$1,705.74	\$2,368.20

Tabla 35. Determinación del plazo de recuperación

ltimo año en negativo	1
Valor absoluto del año	\$281.61
Flujo de caja del siguiente año	\$380.84
VA último año negativo/Flujo de caja del siguiente	0.74
Plazo de recuperación (años)	1.74

En este caso, como se observa, el VAN y TIR son sumamente altos en comparación con el valor obtenido anteriormente. Esto se debe a que, al tratar altas cantidades de agua

residual, el subirle dos céntimos de dólar tiene un gran efecto en estos valores. Por esto, se obtuvo en el segundo caso un VAN de \$1,4453.93 y un TIR de 64%; ambos positivos por lo que, con base en la Tabla 9, estos generarían ganancias y el porcentaje de retorno de la inversión inicial es más de la mitad. Asimismo, el plazo de retorno de la inversión es de 1.74 años, 2.79 años más corto que el primer escenario lo cual es favorable para el giro de negocio. Con base en estos resultados obtenidos, se propuso que el valor de venta al público para el tratamiento de aguas residuales del CHAT es de \$0.23 por m³.

El costo total del tratamiento del agua residual del CHAT anual para la USFQ, considerando el PVP establecido y la cantidad de agua residual a tratarse anualmente, es de \$5,216.4. Este valor puede ser asumido por la universidad como tal o se puede asumir de manera compartida con los estudiantes. Con base en el reporte del 2020, la universidad constaba con 10,742 estudiantes por lo que, si se divide el costo anual para esta cantidad de estudiantes, se obtiene que el aumento en el pago de la colegiatura anual aumentaría en \$0.49 dólares, esto quiere decir que semestralmente aumentaría en \$0.24 por estudiante.

4. Conclusiones

Al ver los resultados de la remoción de grasas y aceites con el caudal máximo de 0.6 Ls⁻¹, se puede concluir que las dimensiones del dispositivo pudieran reducirse sin tener un impacto significativo en su eficiencia. Esto se debe por el hecho que las pruebas se hicieron con un caudal extremadamente grande, para tener los resultados más confiables posibles. En otras palabras, este caudal no va a ser encontrado en la gran parte de lavabos y grifería, por lo que las dimensiones de la trampa se pudieran reducir. Al tener un caudal menor, el tiempo de retención aumentara, lo que permitirá una separación de las grasas y aceites incluso mejor a la encontrada en nuestras mediciones, y por este factor, se pudiera reducir las dimensiones de la trampa, que en cambio causaría un efecto inverso a la del caudal reducido, efectos que se

contrarrestan para tener la misma eficiencia que en nuestras pruebas. Cabe recalcar que, si se decidiera reducir el tamaño del dispositivo, los factores adicionales para el tratamiento, es decir, el filtro de malla, el filtro de carbón activado, y la aeración no pudieran ser removido, ya que esto si afectaría de manera negativa a la eficiencia. Adicionalmente, si no se varia las dimensiones del dispositivo, este de igual manera funcionara efectivamente para cualquier caudal por debajo de 0.6 Ls^{-1} , por las razones mencionadas previamente.

Dados los resultados positivos que se encontró durante las pruebas experimentales del dispositivo, se pudo con certeza afirmar que éste estaría listo para ser instalado en las cocinas del CHAT. Además, dado que las pruebas con el caudal máximo, de 0.6 Ls^{-1} , fueron positivas para una excelente remoción de los aceites y grasas, de más del 99%, se puede concluir que el dispositivo pudiera servir para más de un lavabo, es decir, que varios lavabos pudieran conectarse al dispositivo para el tratamiento de las aguas residuales. Para la medición precisa de la cantidad de aceites y grasas en el efluente de nuestras pruebas experimentales, se necesitarían métodos más específicos que tengan un umbral más bajo de medición, que permitan medir concentraciones traza.

Tras las pruebas de DQO realizadas de la segunda cámara de la trampa de grasa del CHAT, se puede concluir que el agua no cumple con los límites máximos permisibles de descarga al sistema de alcantarillado público del Ecuador. Por otro lado, tras las pruebas de DBO realizadas de la primera y segunda recamara de la trampa de grasa del CHAT, se puede concluir que esta agua si cumple con los límites máximos permisibles, ya que el resultado fue de 0 en la segunda recamara. De igual manera, los sólidos suspendidos totales de la trampa de grasa del CHAT si cumplen con los límites máximos permisibles, por el uso de una malla en el ingreso de su trampa.

Al haber analizado las trampas de grasa del CHAT, se pudo verificar que el diseño de estas no es el ideal, ni el óptimo para la remoción de aceites y grasas. La tubería de salida del efluente se encuentra en la parte inferior de la segunda cámara, lo que causa que esta sea prácticamente inservible para la remoción, ya que apenas el agua pasa de la primera cámara hacia la segunda, esta saldrá por la tubería sin haber tenido tiempo para la separación, como se observa en el Anexo B. Añadiendo a esto, las trampas de grasa del CHAT son el diseño más simple y convencional que se puede tener, diseños que se deberían tratar como obsoletos si se aplican en cocinas de alto uso.

Las dimensiones del dispositivo, al igual que las innovaciones incluidas, aeración inducida, filtro de malla, y filtro de carbón activado, efectivamente mejoraron la tasa de remoción de aceites y grasas. Adicionalmente, se logró reducir en un 50% el volumen del dispositivo al ser comparado con una trampa de grasa convencional, mejorando significativamente la remoción de aceites y grasas.

La turbulencia de un fluido, en este caso el agua, se puede ver como la cantidad cambios bruscos, o la tasa de variaciones en la presión y velocidad de esta. Un flujo laminar provee de la menor cantidad de turbulencia posible en un fluido líquido, y a su vez, el flujo laminar crea las mejores condiciones para una separación rápida y eficaz de los aceites y grasas con el agua. Los deflectores colocados sirvieron de manera eficaz para destruir el flujo turbulento proveniente de las tuberías del influente.

El proyecto sería económicamente viable y beneficioso si es que se aplica un precio de venta al público, tras la consideración de los costos fijos y variables, de \$0.23 dólares por cada m^3 de agua residual que se trate. Este precio significa un VAR de \$1,443.93 y un TIR de 64% siendo dos valores que aseguran la recuperación de la inversión y generación de ganancias. El regreso de la inversión sería en 1.74 años, el cual es menos de la mitad del tiempo de vida del

dispositivo garantizando la viabilidad económica del mismo. De igual manera, el costo total de la inversión, de ser asumido de manera compartida entre la administración de la universidad y los estudiantes, significaría en un aumento del costo semestral de la colegiatura de \$0.23 por estudiante.

Finalmente, para el objetivo primario de este estudio, se puede concluir con certeza que se determinó de manera eficaz la viabilidad técnica para un dispositivo hidromecánico de aceites y grasas de volumen reducido, al igual que la construcción del prototipo para el mismo, que pueda de manera precisa y efectiva combatir la contaminación hídrica de aceites y grasas.

5. Referencias

- [1] I. Priyadarshini, A. Alkhayyat, A. J. Obaid, and R. Sharma, “Water pollution reduction for sustainable urban development using machine learning techniques,” *Cities*, vol. 130, p. 103970, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.CITIES.2022.103970.
- [2] T. Wallace, D. Gibbons, M. O’Dwyer, and T. P. Curran, “International evolution of fat, oil and grease (FOG) waste management – A review,” *J. Environ. Manage.*, vol. 187, pp. 424–435, Feb. 2017, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2016.11.003.
- [3] J. Cárdenas, A. Orjuela, D. L. Sánchez, P. C. Narváez, B. Katryniok, and J. Clark, “Pre-treatment of used cooking oils for the production of green chemicals: A review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 289, p. 125129, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.125129.
- [4] N. Sultana, F. Roddick, L. Gao, M. Guo, and B. K. Pramanik, “Understanding the properties of fat, oil, and grease and their removal using grease interceptors,” *Water Res.*, p. 119141, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.WATRES.2022.119141.
- [5] M. Cabrera, L. Montenegro, and J. Andrea, “Análisis de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de una Industria de Embutidos,” *Rev. Politécnica*, vol. 49, no. 2, pp. 47–54, Mar. 2022, doi: 10.33333/RP.VOL49N2.05.
- [6] E. S. Salama, S. Saha, M. B. Kurade, S. Dev, S. W. Chang, and B. H. Jeon, “Recent trends in anaerobic co-digestion: Fat, oil, and grease (FOG) for enhanced biomethanation,” *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 70, pp. 22–42, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.PECS.2018.08.002.
- [7] E. Fikri, D. Hanifati, and N. Hidayah, “Differences in thickness variations of activated carbon in decreasing oil and grease levels using modified grease trap on the canteen

- wastewater,” *Sci. Rev. Eng. Environ. Sci.*, vol. 30, no. 1, pp. 106–116, 2021, doi: 10.22630/PNIKS.2021.30.1.10.
- [8] C. O. Ataguba and I. Brink, “A comparison of oil and grease removal from automobile workshop stormwater runoff using gravel, granular activated carbon, rice husk and conventional oil and grease (O&G) trap,” *Water SA*, vol. 48, no. 1, pp. 50–55, Jan. 2022, doi: 10.17159/wsa/2022.v48.i1.3926.
- [9] R. Chaudhary *et al.*, “Removal of Oil and Grease in Wastewater using Palm Kernel Shell Activated Carbon,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 549, no. 1, p. 012064, Aug. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/549/1/012064.
- [10] N. Hendrasarie and S. H. Maria, “Combining grease trap and Moringa Oleifera as adsorbent to treat wastewater restaurant,” *South African J. Chem. Eng.*, vol. 37, pp. 196–205, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.SAJCE.2021.05.004.
- [11] Mohamed Saiful Firdaus Hussin *et al.*, “Effect of Pore Size and Hydrophobic Coating on Oil-Water Separation System for Grease Trap,” *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 97, no. 1, pp. 119–126, Aug. 2022, doi: 10.37934/arfmts.97.1.119126.
- [12] M. S. Romero-Güiza, R. Asiain-Mira, M. Alves, and J. Palatsi, “Induced Air Flotation for Fog Recovery in Urban Wastewater: A Proposed Methodology for System Optimization and Case Study,” *SSRN Electron. J.*, Apr. 2022, doi: 10.2139/SSRN.4085482.
- [13] I. Ahmad *et al.*, “The role of restaurant wastewater for producing bioenergy towards a circular bioeconomy: A review on composition, environmental impacts, and sustainable integrated management,” *Environ. Res.*, vol. 214, p. 113854, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.ENVRES.2022.113854.

- [14] M. Á. Pico Zamora, “PLAN DE MANEJO PARA RECOLECCIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS QUE SE GENERAN EN LAS TRAMPAS DE GRASAS DE LOS RESTAURANTES DEL SECTOR PLAYITA MÍA, CIUDAD DE MANTA 2017.,” UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABI , Manabí, 2018.
- [15] N. H. Tran, L. Fu, and D. M. Boehe, “How does urban air pollution affect corporate environmental performance?,” *J. Clean. Prod.*, vol. 383, p. 135443, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.135443.
- [16] F. B. Elehinafe, O. Agboola, A. D. Vershima, and G. O. Bamigboye, “Insights on the advanced separation processes in water pollution analyses and wastewater treatment – A review,” *South African J. Chem. Eng.*, vol. 42, pp. 188–200, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.SAJCE.2022.08.004.
- [17] UNESCO, “Informe Mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos de las Naciones Unidas 2017: Las aguas residuales: el recurso desaprovechado, cifras y datos,” 2017, Accessed: Dec. 08, 2022. [Online]. Available: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247553_spa.
- [18] J. González and E. Ramírez, “Implementación de la *Eichhornia crassipes*, como alternativa biorremediadora en el tratamiento de aguas residuales en el cantón El Pangui - Ecuador,” *Univ. Estatal Amaz.*, vol. 3, pp. 334–347, 2021, Accessed: Dec. 08, 2022. [Online]. Available: www.uea.edu.ec.
- [19] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, “ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE TRAMPA DE GRASA Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental Organización Panamericana de la Salud Oficina Sanitaria Panamericana-Oficina Regional de la Organización Mundial de la

- Salud Auspiciado por: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación,” 2003.
- [20] J.-L. Salager and A. Forgiarini De Guedez, “LABORATORIO DE FORMULACION, INTERFASES REOLOGIA Y PROCESOS CUADERNO FIRP S335-A CUADERNO FIRP S335-A en español FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA,” 2007.
- [21] A. M. Tamothran, K. Bhubalan, S. T. Anuar, and J. M. Curtis, “The degradation and toxicity of commercially traded vegetable oils following spills in aquatic environment,” *Environ. Res.*, vol. 214, p. 113985, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.ENVRES.2022.113985.
- [22] J. D. Iza Garnica, “Creación de una empresa de fabricación de interceptores ecológicos de grasa que contribuya al pre tratamiento de desechos industriales en la ciudad de Ambato, Provincia del Tungurahua en el 2016,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato, 2017.
- [23] I. González, “ACEITES USADOS DE COCINA. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL, INCIDENCIAS EN REDES DE SANEAMIENTO Y COSTE DEL TRATAMIENTO EN DEPURADORAS,” Accessed: Sep. 30, 2022. [Online]. Available: <http://www.rafrinor.com>.
- [24] A. Rial, “Plantas acuáticas: aspectos sobre su distribución geográfica, condición de maleza y usos Resumen,” *Biota Colomb.*, vol. 14, no. 2, p. 2013.
- [25] X. He, F. L. de los Reyes, and J. J. Ducoste, “A critical review of fat, oil, and grease (FOG) in sewer collection systems: Challenges and control,” <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1382282>, vol. 47, no. 13, pp. 1191–1217, Jul. 2017, doi: 10.1080/10643389.2017.1382282.

- [26] C. del R. Montero Calderón and J. A. Gallegos Sánchez, “Caracterización físicoquímica y energética de los lodos presentes en las trampas de grasa provenientes de la industria alimentaria,” Quito: UCE, Quito, 2018.
- [27] L. . TULSMA, *TULSMA Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente*. 2017.
- [28] Registro Oficial Órgano del Gobierno del Ecuador, *Registro Oficial No. 704*. 2016.
- [29] A. R. Jiménez and A. O. P. Jacinto, “Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento,” *Rev. Esc. Adm. Negocios*, no. 82, pp. 175–195, Jul. 2017, doi: 10.21158/01208160.N82.2017.1647.
- [30] N. Shakourifar, D. Krisa, and C. Eskicioglu, “Anaerobic co-digestion of municipal waste sludge with grease trap waste mixture: Point of process failure determination,” *Renew. Energy*, vol. 154, pp. 117–127, Jul. 2020, doi: 10.1016/J.RENENE.2020.03.009.
- [31] H. A. Hussein, R. Abdullah, S. Harun, and M. Abdulkhaleq, “Numerical model of baffle location effect on flow pattern in oil and water gravity separator tanks,” *World Appl. Sci. J.*, vol. 26, no. 10, pp. 1351–1356, 2013, doi: 10.5829/IDOSI.WASJ.2013.26.10.1239.
- [32] W. C. Condori, “Evaluación del nivel freático de las aguas subsuperficiales en la parte baja del municipio de Umala provincia Aroma del departamento de La Paz: Walter Castro Condori,” *Rev. Estud. AGRO-VET*, vol. 1, no. 1, pp. 41–53, Nov. 2017, Accessed: Dec. 18, 2022. [Online]. Available: <https://agrovet.umsa.bo/index.php/AGV/article/view/76>.
- [33] Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery*, 5th ed.

- New York, NY: McGraw-Hill, 2014.
- [34] B. Mahmood and R. Bogati, "ASSESSMENT OF GREASE TRAPS USED IN THE SMALL-SCALE FOOD INDUSTRY: A PILOT STUDY ," *Unitec Res. Symp. Proc.* 2020, pp. 6–21, 2020, Accessed: Dec. 17, 2022. [Online]. Available: www.unitec.ac.nz/epress/.
- [35] M. Romero-Güiza, R. Asiain-Mira, M. Alves, and J. Palatsi, "Induced air flotation for fat, oil, and grease recovery in urban wastewater: A proposed methodology for system optimization and case study," *J. Water Process Eng.*, vol. 50, p. 103201, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.JWPE.2022.103201.
- [36] N. A. Rashidi and S. Yusuf, "Revisión sobre avances tecnológicos recientes en la producción de carbón activado a partir de residuos de la palma de aceite," *Palmas*, vol. 38, no. 2, pp. 86–118, Jul. 2017, Accessed: Dec. 09, 2022. [Online]. Available: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12126>.
- [37] J. C. Javier Cervantes *et al.*, "Desarrollo de un proceso de manufactura aditiva (AM) de metal y determinación de propiedades de las piezas obtenidas," 2018.
- [38] C. Gurd, B. Jefferson, and R. Villa, "Characterisation of food service establishment wastewater and its implication for treatment," *J. Environ. Manage.*, vol. 252, p. 109657, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2019.109657.
- [39] C. Gurd, R. Villa, and B. Jefferson, "Understanding why fat, oil and grease (FOG) bioremediation can be unsuccessful," *J. Environ. Manage.*, vol. 267, no. October 2019, p. 110647, 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110647.
- [40] J. B. Williams, C. Clarkson, C. Mant, A. Drinkwater, and E. May, "Fat, oil and grease deposits in sewers: Characterisation of deposits and formation mechanisms," *Water*

- Res.*, vol. 46, no. 19, pp. 6319–6328, 2012, doi: 10.1016/j.watres.2012.09.002.
- [41] Y.-H. Yau, V. Rudolph, C. Chui-Man Lo, and K.-C. Wu, “Restaurant oil and grease management in Hong Kong,” doi: 10.1007/s11356-018-2474-4/Published.
- [42] R. Mayta and J. Mayta, “Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación,” *Rev. la Soc. Química del Perú*, vol. 83, no. 3, pp. 331–340, 2017, Accessed: Nov. 09, 2022. [Online]. Available: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=en.
- [43] J. C. Morales-Mejía, “La demanda química de oxígeno con el procedimiento APHA/AWWA/WEF 5220 D para rango alto adaptado a microescala,” *Tecnol. y Ciencias del Agua*, 2021, Accessed: Nov. 09, 2022. [Online]. Available: <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/2151/2285>.
- [44] X. Tan, B. Sun, G. Wang, T. Cheng, K. Huang, and F. Shen, “Consecutive retrieval of aerosol optical depth and total suspended solid concentration in turbid coastal water of Eastern China,” *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, vol. 287, p. 108231, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.JQSRT.2022.108231.
- [45] A. Cristobal and B. Franco, “Costos fijos y variables para la generación de rentabilidad en las Pyme’s,” *La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena*, 2022, 2022.
- [46] D. Moya Rodriguez, “PRESENTATION OF GRADE WORK DEVELOPMENT OF A PROCESS FOR THE APPROVAL OF WASTE FROM THE MANGO PULP INDUSTRY,” *Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá*, 2017.
- [47] J. G. Castillo and D. Zhangallimbay, “La tasa social de descuento en la evaluación de

proyectos de inversión: una aplicación para el Ecuador 1.”

- [48] É. P. Simisterra Quiñonez, R. A. Rosa Monserrate, and S. C. Suárez López, “La viabilidad de un proyecto, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR),” *Pro Sci. Rev. Prod. Ciencias e Investig.*, vol. 2, no. 17, pp. 9–15, 2018, doi: 10.29018/issn.2588-1000vol2iss17.2018pp9-15.
- [49] J. Ma, S. Wu, N. V. R. Shekhar, S. Biswas, and A. K. Sahu, “Determination of Physicochemical Parameters and Levels of Heavy Metals in Food Waste Water with Environmental Effects,” *Bioinorg. Chem. Appl.*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8886093.
- [50] T. Kornboonraksa, “Preliminary study of rapid enhanced effective micro-organisms (REEM) in oil and grease trap from canteen wastewater,” *Trends Asian Water Environ. Sci. Technol.*, pp. 71–80, Jan. 2016, doi: 10.1007/978-3-319-39259-2_6/COVER.

6. ANEXOS

6.1 Anexo A: Construcción del dispositivo

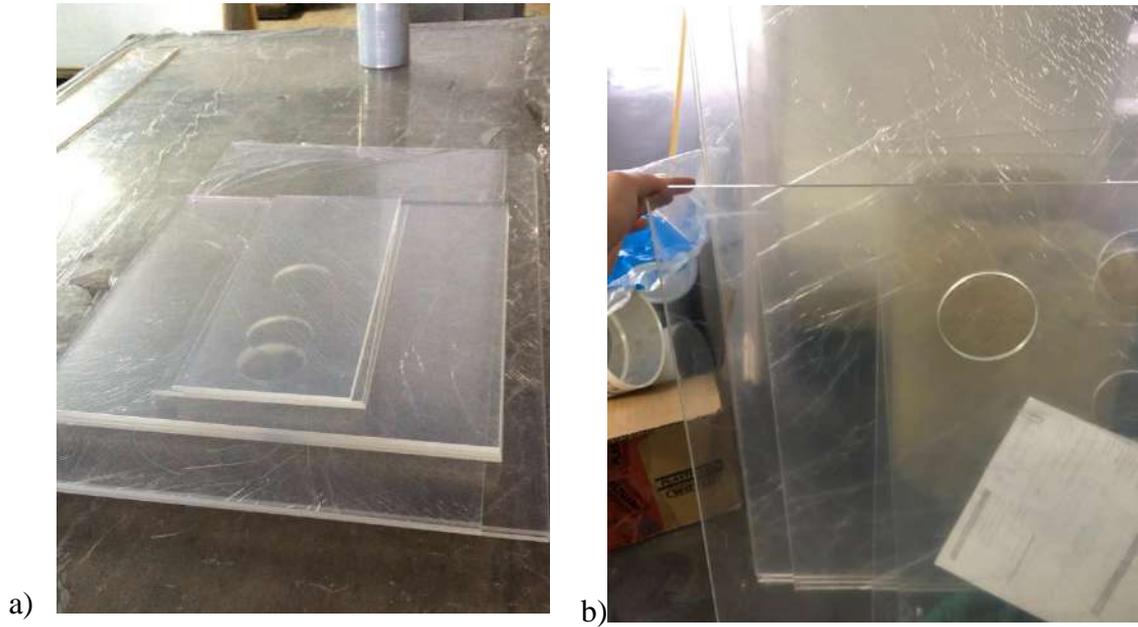


Figura 13. Corte de piezas





c)



d)

Figura 14. Construcción del esqueleto de acrílico



a)



b)



c)

Figura 15. Corte, pegado y ensamblaje de tuberías



a)



b)



c)

Figura 16. Construcción de la estructura de acero

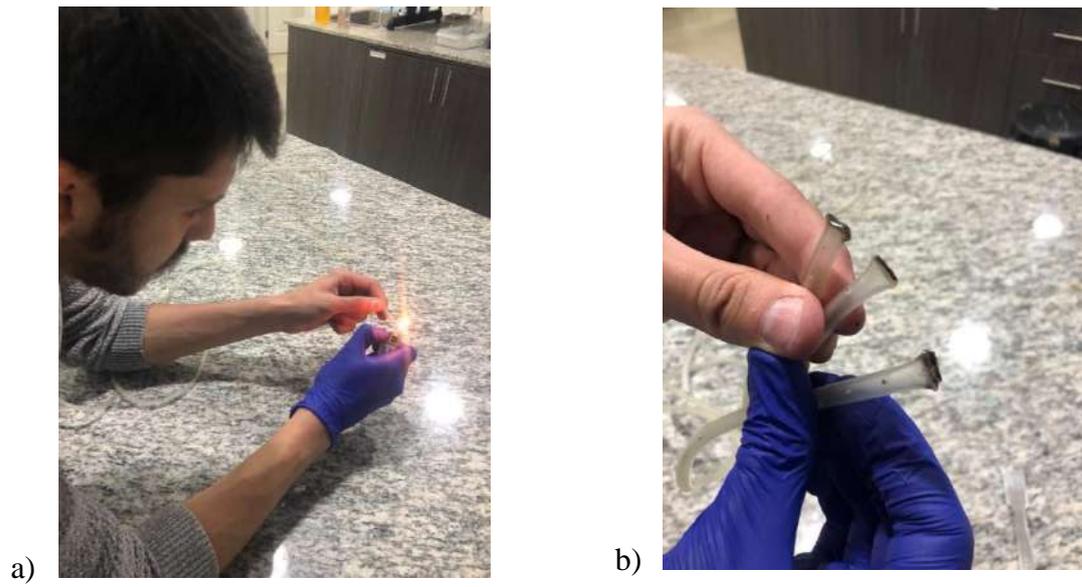


Figura 17. Preparación de mangueras para el sistema de aireación

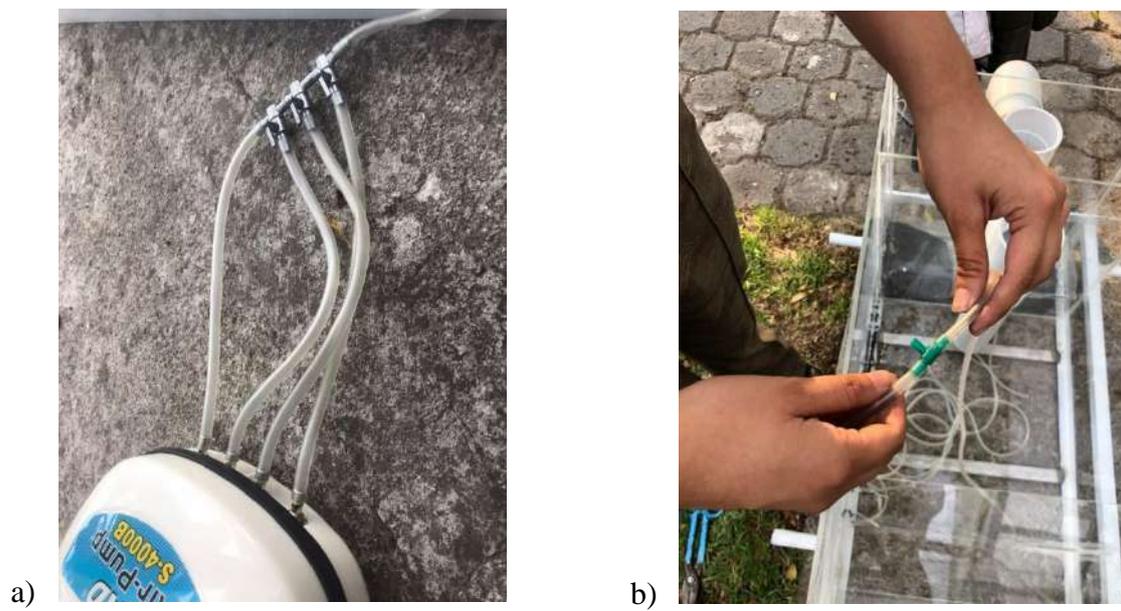




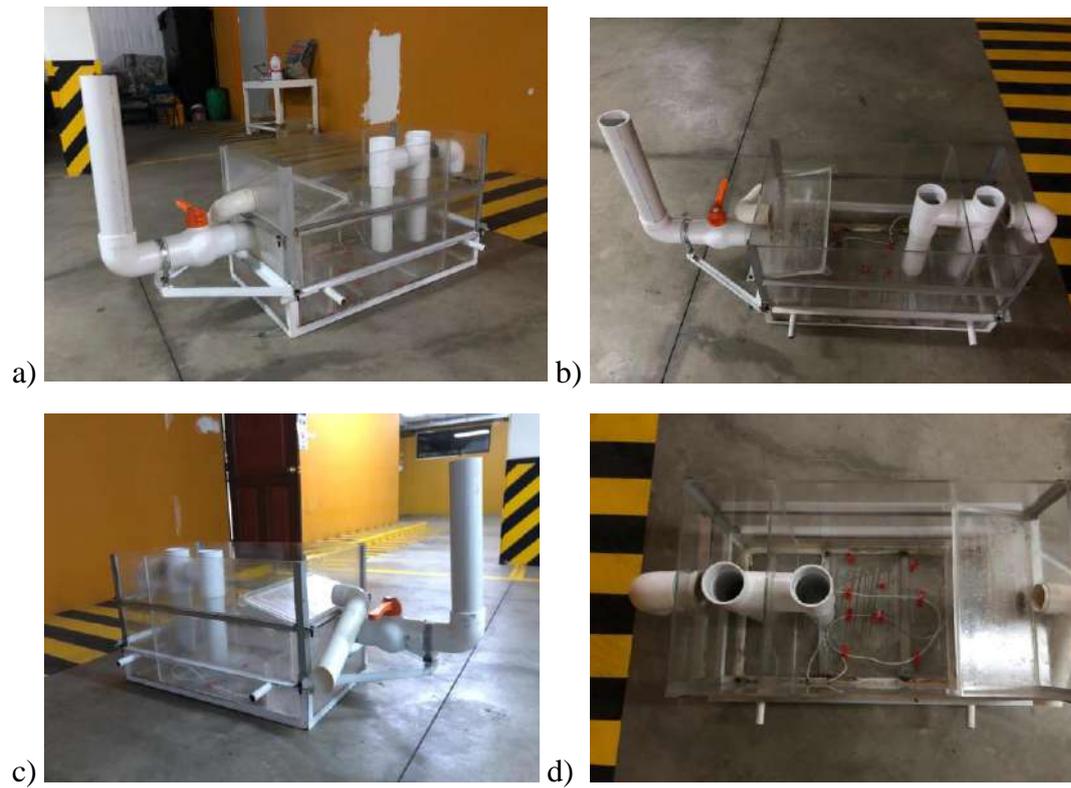
Figura 18. Sistema de aireación



Figura 19. Preparación filtro carbón activado



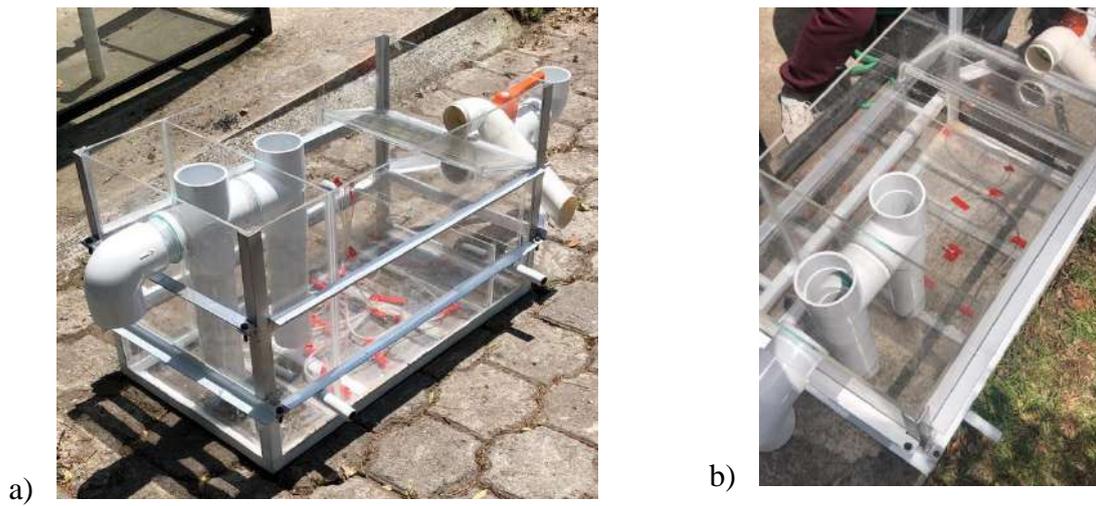
Figura 20. Filtro de malla 300





e)

Figura 21. Dispositivo terminado



a)

b)

Figura 22. Dispositivo terminado sin filtros

6.2 Anexo B. Análisis trampa de grasa de las cocinas del CHAT



a)



b)



c)



d)



e)

Figura 22. Trampa de grasa de las cocinas de la USFQ



a)



b)



Figura 23. Toma de muestras de las cocinas de la USFQ y determinación del caudal



Figura 24. Determinación DBO5 con el equipo OxiTop

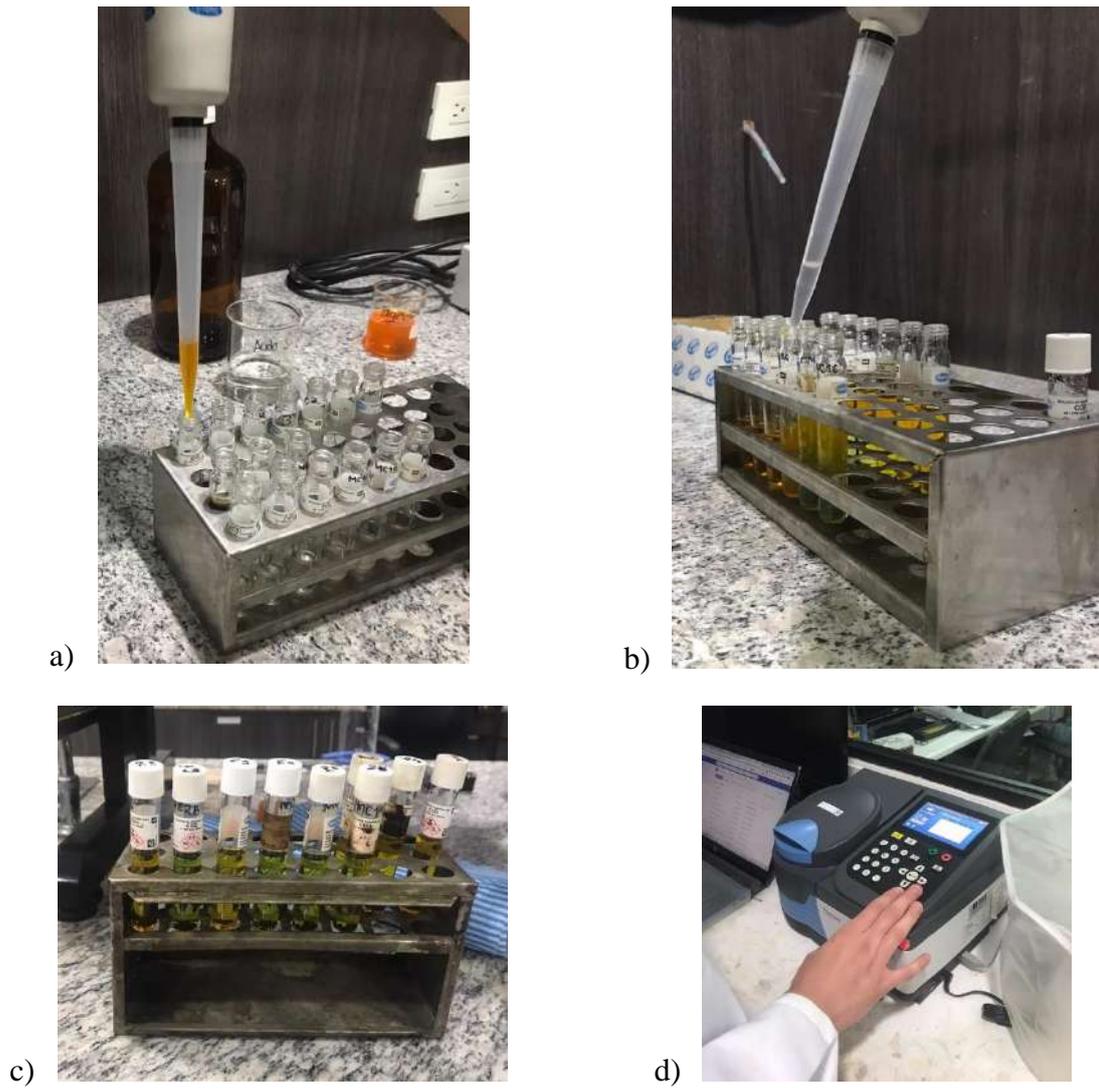


Figura 25. Determinación de DQO de las distintas muestras

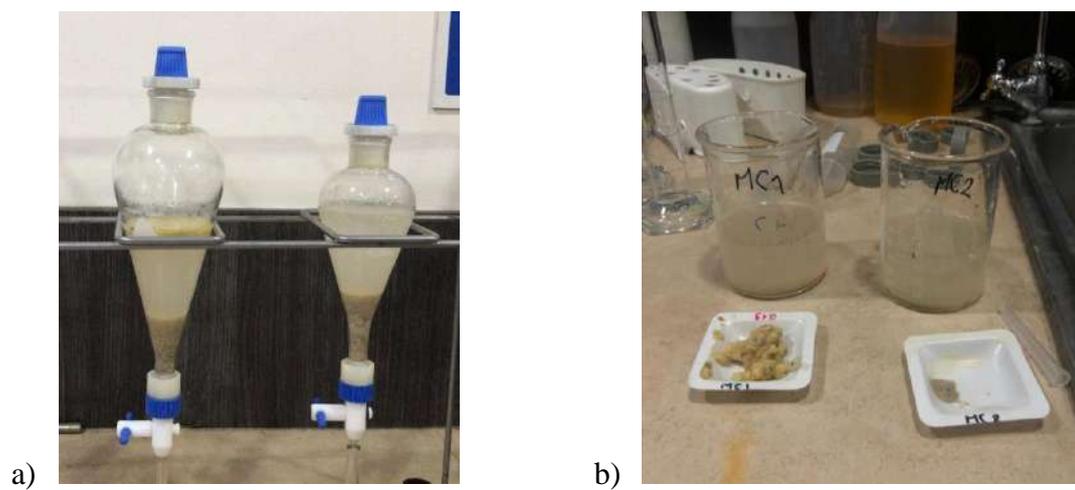


Figura 26. Análisis por decantación de las muestras de la trampa de grasa del CHAT

6.3 Anexo C: Preparación y análisis muestras del dispositivo

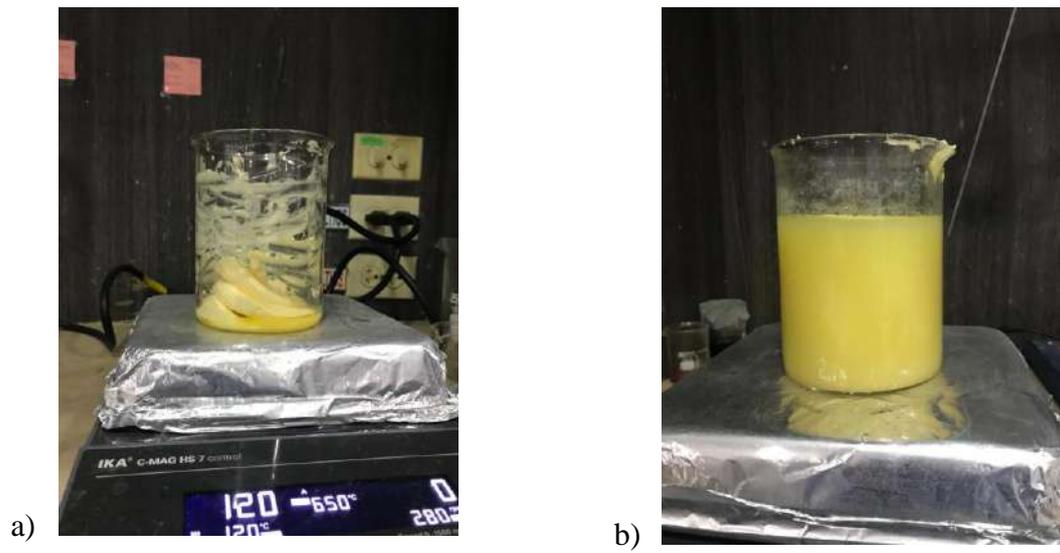


Figura 27. Preparación muestras de aceites y grasas para las pruebas experimentales





Figura 28. Funcionamiento del dispositivo

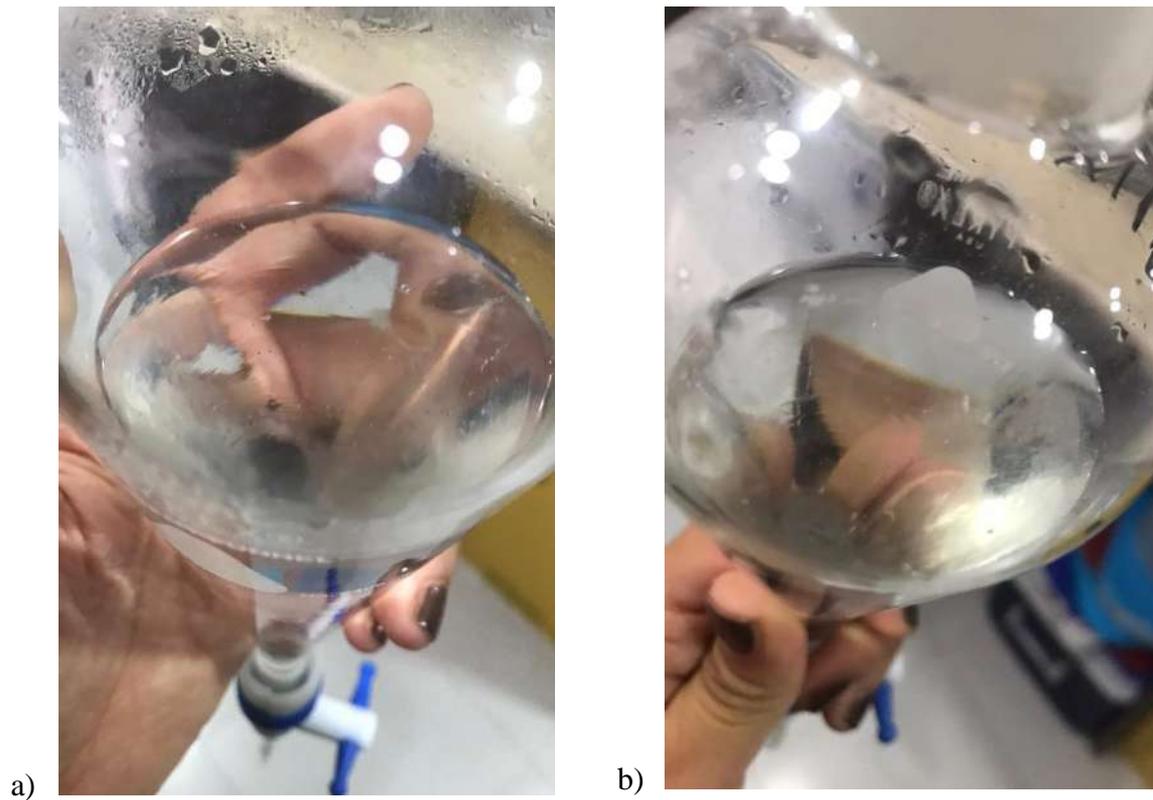


Figura 29. Análisis por decantación de las muestras del dispositivo

6.4 Anexo D: Cálculos

- Volumen

Largo: 0.9 m

Ancho: 0.5 m

Alto: 0.55 m

$$V_t = (0.9 \times 0.5 \times 0.55) \text{ m} \times \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3}$$

$$V_t = 247.5 \text{ L}$$

- Volumen útil

Largo: 0.9 m

Ancho: 0.5 m

Alto: 0.45 m

$$V_u = (0.9 \times 0.5 \times 0.45) m \times \frac{1000 L}{m^3}$$

$$V_u = 202.5 L$$

- **Depósito de grasa**

Triángulo.

Largo: 0.2m

Ancho: 0.5 m

Alto: 0.05 m

$$V_g = \left(\frac{1}{2} \times 0.05 \times 0.2 \times 0.5 \right) m$$

$$V_g = 2.5 L$$

- **Caudal**

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo de llenado}} \times \text{número de grifos}$$

$$Q = \frac{1 L}{3.3 s} \times 2$$

$$Q = 0.6 Ls^{-1}$$

- **Tiempo de retención teórico**

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

Con $0.3 Ls^{-1}$:

$$T = \frac{202.5 \text{ L}}{0.3 \text{ L s}^{-1}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$T = 11.25 \text{ min}$$

Con 0.6 L s^{-1} :

$$T = \frac{202.5 \text{ L}}{0.6 \text{ L s}^{-1}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$T = 5.63 \text{ min}$$

6.5 Anexo E: Resultados del análisis de laboratorio

Curvas de calibración de DQO

- Curva de calibración para muestras de una trampa de grasa instalada en el CHAT y para el agua residual sintética

Tabla 36. Curva de calibración DQO

ESTANDAR	Concentración [mgL^{-1}]	Absorbancia [nm]
Blanco	0	0
STD1	50	0.079
STD2	100	0.099
STD3	300	0.189
STD4	500	0.256
STD5	800	0.385
STD6	1000	0.449

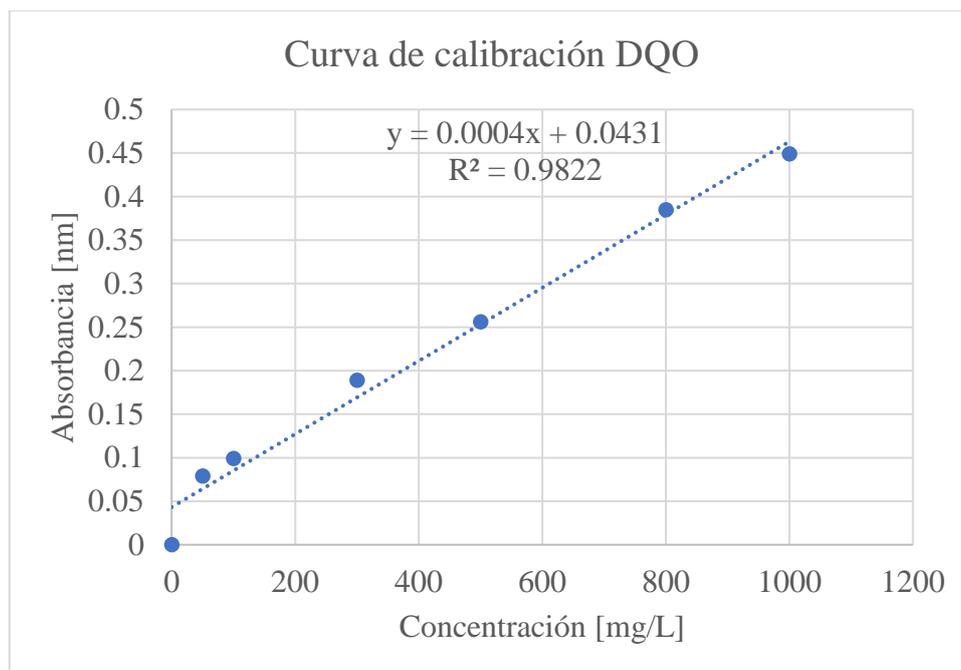


Figura 30. Curva de calibración DQO

Tabla 37. Parámetros de linealización

Parámetros de linealización		
m	b	R2
0.00042006	0.043118246	0.982235821

- Curva de calibración para muestras de las pruebas experimentales

Tabla 38. Curva de calibración DQO

ESTANDAR	Concentración [mgL⁻¹]	Absorbancia [nm]
Blanco	0	0
STD1	5	0.008
STD3	50	0.028
STD5	80	0.04

STD6	100	0.055
------	-----	-------

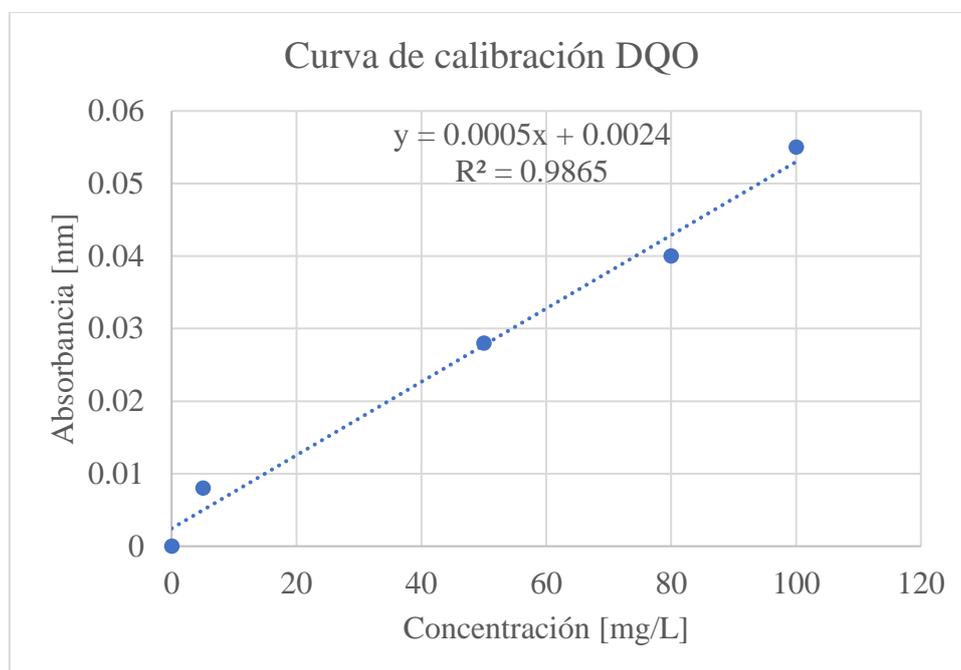


Figura 31. Curva de calibración DQO

Tabla 39. Parámetros de linealización

Parámetros de linealización		
m	b	R2
0.00050546	0.002443528	0.986492868

Resultados del análisis de las muestras de la trampa de aceites y grasas del CHAT

Tabla 40. Resultados de parámetros en interceptor del CHAT

	Aceites y grasas [mgL^{-1}]	DQO [mgL^{-1}]	DBO [mgL^{-1}]	SST [mgL^{-1}]
Cámara 1	847.79	2244.95	1861.10	0.83
Cámara 1	889.66	2168.34	1911.40	2.44

Cámara 1	928.31	2202.10	1861.10	1.78
Cámara 2	189.62	1914.05	0.00	0.95
Cámara 2	136.46	1873.58	0.00	1.29
Cámara 2	227.76	1871.20	0.00	0.96
Promedio cámara 1	888.59	2205.13	1877.87	1.68
Desviación estándar	40.27	38.39	29.04	0.81
Promedio cámara 2	184.61	1886.27	0.00	1.06
Desviación estándar	45.85	24.08	0.00	0.19

Resultados del análisis del agua residual sintética

Tabla 41. Resultados caracterización de agua residual sintética

Muestra	Absorbancia [nm]	Concentración [mg/L]
MIA	0.120	1830.24
MIB	0.123	1901.66
MIC	0.121	1851.17
	Promedio	1861.03
	Desviación estándar	36.71

Resultados del análisis de las muestras de las pruebas experimentales

Tabla 42. Resultados caracterización muestras de las pruebas experimentales

N° de prueba experimental	Muestra	Absorbancia [nm]	Concentración DQO [mgL ⁻¹]	Promedio [mgL ⁻¹]	Desviación estándar [mgL ⁻¹]
1a	M1aA	0.005	5.06	7.04	3.96
	M1aB	0.006	7.04		
	M1aC	0.007	9.01		
1b	M1bA	0.006	7.04		
	M1bB	0.003	1.10		
	M1bC	0.003	1.10		

1c	M1cA	0.010	14.95	10.99	1.98
	M1cB	0.008	10.99		
	M1cC	0.006	7.04		
2a	M2aA	0.010	14.95		
	M2aB	0.009	12.97		
	M2aC	0.008	10.99		
2b	M2bA	0.006	7.04		
	M2bB	0.008	10.99		
	M2bC	0.007	9.01		
2c	M2cA	0.008	10.99		
	M2cB	0.009	12.97		
	M2cC	0.007	9.01		
3a	M3aA	0.003	1.10	3.74	1.14
	M3aB	0.004	3.08		
	M3aC	0.005	5.06		
3b	M3bA	0.004	3.08		
	M3bB	0.005	5.06		
	M3bC	0.003	1.10		
3c	M3cA	0.004	3.08		
	M13cB	0.005	5.06		
	M3cC	0.006	7.04		
4a	M4aA	0.002	0.00	1.76	1.14
	M4aB	0.004	3.08		
	M4aC	0.003	0.00		
4b	M4bA	0.002			
	M4bB	0.003	1.10		
	M4bC	0.003	1.10		
4c	M2cA	0.003	1.10		
	M4cB	0.004	3.08		
	M4cC	0.005	5.06		
5a	M5aA	0.005	5.06	2.42	1.14
	M5aB	0.004	3.08		
	M5aC	0.003	1.10		
5b	M5bA	0.002	0.00		
	M5bB	0.003	1.10		
	M5bC	0.002	0.00		
5c	M5cA	0.002	0.00		
	M5cB	0.004	3.08		
	M5cC	0.005	5.06		
6a	M6aA	0.007	9.01	5.06	1.98
	M6aB	0.005	5.06		
	M6aC	0.006	7.04		
6b	M6bA	0.007	9.01		
	M6bB	0.003	1.10		

	M6bC	0.005	5.06		
6c	M6cA	0.003	1.10		
	M6cB	0.005	5.06		
	M6cC	0.004	3.08		

6.6 Anexo F: Análisis tecno-económico

Flujo de caja de 5 años

Tabla 43. Flujo de caja de 5 años con PVM: 0.21

Años	0	1	2	3	4	5
Produccion anual (m3/año)		22680	22680	22680	22680	22680
Ingresos por co-productos (\$/año)		\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Precio de venta minimo		\$0.21	\$0.21	\$0.21	\$0.21	\$0.21
Ingresos anuales producto (\$/year)		\$4,760.57	\$4,760.57	\$4,760.57	\$4,760.57	\$4,760.57
Ingresos totales (\$/year)		\$4,760.57	\$4,760.57	\$4,760.57	\$4,760.57	\$4,760.57
Costes variables (\$/año)		-\$443.11	-\$443.11	-\$443.11	-\$443.11	-\$443.11
Costes fijos (\$/año)		-\$4,045.60	-\$4,045.60	-\$4,045.60	-\$4,045.60	-\$4,045.60
Gastos de amortización y provisiones 5 años		-\$188.81	-\$188.81	-\$188.81	-\$188.81	-\$188.81
BAIT		\$83.05	\$83.05	\$83.05	\$83.05	\$83.05
Impuestos (IVA 12%)		-\$9.97	-\$9.97	-\$9.97	-\$9.97	-\$9.97
BDI		\$73.08	\$73.08	\$73.08	\$73.08	\$73.08
Amortización en positivo		\$188.81	\$188.81	\$188.81	\$188.81	\$188.81

Tabla 44. Flujo de caja de 5 años con PVM: 0.22

Años	0	1	2	3	4	5
Produccion anual (m3/año)		22680	22680	22680	22680	22680

Ingresos por co-productos (\$/año)		\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Precio de venta minimo		\$0.23	\$0.23	\$0.23	\$0.23	\$0.23
Ingresos anuales producto (\$/year)		\$5,216.40	\$5,216.40	\$5,216.40	\$5,216.40	\$5,216.40
Ingresos totales (\$/year)		\$5,216.40	\$5,216.40	\$5,216.40	\$5,216.40	\$5,216.40
Costes variables (\$/año)		-\$443.11	-\$443.11	-\$443.11	-\$443.11	-\$443.11
Costes fijos (\$/año)		-\$4,045.60	-\$4,045.60	-\$4,045.60	-\$4,045.60	-\$4,045.60
Gastos de amortización y provisiones 5 años		-\$188.81	-\$188.81	-\$188.81	-\$188.81	-\$188.81
BAIT		\$538.88	\$538.88	\$538.88	\$538.88	\$538.88
Impuestos (IVA 12%)		-\$64.67	-\$64.67	-\$64.67	-\$64.67	-\$64.67
BDI		\$474.21	\$474.21	\$474.21	\$474.21	\$474.21
Amortización en positivo		\$188.81	\$188.81	\$188.81	\$188.81	\$188.81
Flujos de caja	\$944.06	\$663.02	\$663.02	\$663.02	\$663.02	\$663.02