



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

**“DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN SEDIMENTADOR PARA LA
COSECHA DE MICROALGAS”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA

LIZBETH SANTIAGO MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS

M.C. MOISÉS MANZANO HERRERA

CODIRECTOR

DR. JOSÉ ALFREDO CARAZO LUNA

ASESOR

DR. ROGELIO VALADEZ BLANCO

HCA. CD. DE HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA, MARZO 2024

DEDICATORIA

A mis padres Laurentino y Ester, por su amor incondicional y sacrificio. A todos los que han estado conmigo en este viaje, y a todos aquellos que creyeron en mí, ¡Gracias por ser parte de este logro!

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, cuyo amor incondicional, sacrificio y constante apoyo han sido fundamentales en mi vida y en este logro académico. Su guía y aliento han sido mi mayor fortaleza en cada etapa de este viaje. Sin su sacrificio y esfuerzo, este logro no sería posible.

Mis sinceros agradecimientos al M.C. Moisés Manzano Herrera por su orientación, paciencia y dedicación a lo largo de este proyecto. Estoy eternamente agradecida por su, sabiduría y mentoría que han dejado una huella indeleble en mi vida. Gracias por ser un guía excepcional, por brindarme su confianza y apoyo en cada paso del camino.

Además, quiero extender mi gratitud al Dr. Rogelio Valadez Blanco y la Dra. Paula C. Guadarrama Mendoza, quienes con su experiencia y apoyo en el laboratorio fueron esenciales en la parte experimental de este trabajo.

Agradezco también al técnico del taller de plásticos, cuya asistencia en la manufactura fue invaluable. No puedo olvidar mencionar a los chicos que me acompañaron en el laboratorio, su colaboración fue esencial para llevar a cabo este proyecto con éxito.

A esa persona especial que ilumina mi vida, su constante ánimo fue mi mayor fortaleza en los momentos difíciles. Su presencia ha sido una inspiración constante a lo largo de este viaje.

Quiero agradecer profundamente a mis amigos por acompañarme, creer en mí, animarme y compartir momentos inolvidables a lo largo de este viaje académico. Su amistad y apoyo han sido un regalo invaluable que ha hecho este camino más llevadero y significativo. A cada uno de ustedes, les agradezco de corazón por formar parte de este logro y por ser una parte esencial de mi vida.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que se tomen el tiempo de leer esta tesis, su interés y atención son el motor que impulsa la difusión de este trabajo.

RESUMEN

El presente trabajo se centra en el diseño de un sedimentador para el cultivo de microalgas, aplicando la metodología propuesta por Karl T. Ulrich en el libro "Diseño y Desarrollo de Nuevos Productos". El cultivo de microalgas ha ganado reconocimiento debido a su potencial como fuente sostenible de biocombustibles, productos químicos, medicamentos y alimentos. Sin embargo, uno de los desafíos clave que enfrenta la industria, es la separación eficiente de las microalgas del medio de cultivo, lo cual es esencial para su posterior procesamiento y utilización. En este contexto, el diseño y la optimización de un sedimentador juegan un papel fundamental. Un sedimentador eficiente permite la separación efectiva de las microalgas con el mínimo consumo energético facilitando así su posterior utilización en diversas industrias.

La metodología propuesta por Karl T. Ulrich, integra herramientas de ingeniería industrial como el QFD y proporciona una base sólida para abordar este desafío. Mediante la aplicación de pasos como la revisión bibliográfica, el diseño conceptual, la experimentación y el análisis de datos, se espera obtener un sedimentador optimizado que mejore significativamente el rendimiento del cultivo de microalgas. Los resultados de este proyecto son de gran relevancia tanto a nivel académico como industrial. La tesis contribuye al conocimiento científico existente en el campo de la Ingeniería Industrial al explorar una solución innovadora para la separación y recolección de microalgas. Adicionalmente, los hallazgos y recomendaciones obtenidos a través de esta investigación podrán ser implementados por empresas y organizaciones involucradas en la producción y procesamiento de microalgas, lo que les permitiría optimizar sus operaciones, lograr una mayor eficiencia y ampliar su cartera de productos.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	11
1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....	13
1.1 OBTENCIÓN DE BIOMASA.....	13
1.2 CULTIVO DE MICROALGAS	13
1.3 CONCENTRACIÓN	14
1.4 SEDIMENTACIÓN.....	16
1.4.1 Tipos de sedimentación	16
1.5 ANTECEDENTES	18
1.6 MÉTODO KANO.....	19
1.7 MÉTODO QFD	22
1.8 AMEF	26
2. CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO	28
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	28
2.2 JUSTIFICACIÓN	28
2.3 HIPÓTESIS	29
2.4 OBJETIVOS	29
2.4.1 Objetivo general	29
2.4.2 Objetivos Específicos	29
2.5 METAS.....	30
2.6 METODOLOGÍA	30
Fase 0. Planeación	31
Fase 1. Desarrollo del concepto	31
Fase 2. Diseño en el nivel del sistema.....	31
Fase 3. Diseño a detalle.....	31
Fase 4. Pruebas y refinamiento.	32
2.7 ALCANCE.....	32
3. CAPITULO III. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	33
3.1 Planeación.....	33

3.2	Desarrollo del concepto.	33
3.2.1	Identificación de las necesidades del cliente	33
3.2.2	Establecer especificaciones objetivo	37
3.2.3	Generar conceptos del producto	40
3.2.4	Seleccionar concepto del producto	43
3.3	Diseño en el nivel sistema.....	44
3.3.1	Definición de la arquitectura del producto	44
3.3.2	Subsistemas y componentes	45
3.3.3	Funcionamiento de los subsistemas.....	45
3.3.4	Diagrama preliminar del flujo del proceso	46
3.4	Diseño a detalle.....	47
3.4.1	Selección de materiales	47
3.4.2	Definir geometría.....	48
3.4.3	Planeación del proceso	58
3.4.4	Análisis de Modo y Efecto del Fallo	60
3.4.5	Planos	63
3.5	Pruebas y refinamiento.	68
3.5.1	Manufactura del prototipo.	68
3.5.2	Pruebas de desempeño general.	68
4	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y EVALUACIÓN.....	69
4.1	Recolección de datos	69
4.2	Análisis de los datos	70
4.2.1	Conteo con la cámara de Neubauer.	71
4.2.2	Peso seco.	74
4.3	Conclusiones	77
	REFERENCIAS	78
	ANEXOS	81
	ANEXO 1. Encuesta	81
	ANEXO 2. Modelo Kano.....	82
	ANEXO 3. QFD 1 (Productos)	90
	ANEXO 4. QFD 2 (Componentes)	93
	ANEXO 5. Peso seco.	95

ANEXO 6. Experimentación de la velocidad de sedimentación (rápidas)	98
ANEXO 7. Experimentación de la velocidad de sedimentación (lentas)	103
ANEXO 8. Tablas auxiliares AMEF.....	104
ANEXO 9. QFD 3 (Procesos)	105
ANEXO 10. Planeación de procesos.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Productos sintetizados por microalgas y ámbitos de aplicación.	11
Figura 2. Proceso de desarrollo de un producto.	12
Figura 3. Fuentes de biomasa.	13
Figura 4. Diagrama de métodos de cosecha microalgal.	15
Figura 5. Zonas en el proceso de sedimentación.	17
Figura 6. Clasificación de los requerimientos	20
Figura 7. Representación bidimensional de las categorías de calidad de Kano.	22
Figura 8. Las cuatro etapas del despliegue de la función de la calidad.....	23
Figura 9. Fase 1. Planeación del producto.....	24
Figura 10. Fases contempladas.....	26
Figura 11. Actividades representativas de cada fase que representan un hito.....	30
Figura 12. Fases del desarrollo del concepto.....	33
Figura 13. Representación binomial de las características del sedimentador con base en el método Kano.....	36
Figura 14. Disposición geométrica aproximada del tanque del sedimentador.	45
Figura 15. Subsistemas del sedimentador	45
Figura 16. Diagrama de flujo de procesos del sedimentador.	47
Figura 17. Cámara de Neubauer.	49
Figura 18. Introducción de la muestra a la cámara.	49
Figura 19. Conteo de células.	50
Figura 20. Ruta de conteo.....	50
Figura 21. Muestras a diferentes concentraciones.....	52
Figura 22. Recorrido de la muestra dentro de la pipeta.....	53
Figura 23. Muestra con una concentración de 1.693×10^7 células/ml.....	54
Figura 24. Muestra diluida.....	54
Figura 25. Diagrama de operaciones de proceso.....	59
Figura 26. AMEF de diseño	61
Figura 27. Resultados de Von Mises.....	62
Figura 28. Resultados de desplazamientos.....	63
Figura 29. Vista explosionada del sedimentador.....	67
Figura 30. Ensamble final.....	68
Figura 31. Pruebas de fugas y estabilidad.	69

Figura 32. Puesta en marcha del primer lote en el sedimentador.	69
Figura 33. Descenso de microalgas.	70
Figura 34. Separación de los lodos sedimentados y el agua residual.	70
Figura 35. Muestra inicial y muestra de microalgas sedimentadas.	71
Figura 36. Vista de la cámara de Neubauer concentración inicial.	72
Figura 37. Vista de la cámara de Neubauer concentración final.	73
Figura 38. Muestras previas por ingresar a la estufa.	74
Figura 39. Peso seco	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la utilización de biomasa.	14
Tabla 2. Resumen de la clasificación de las características con base en el método Kano.	35
Tabla 3. Lista de necesidades del cliente.....	36
Tabla 4. Lista de métricas con base en las necesidades del cliente.	38
Tabla 5. Información de la competencia.	39
Tabla 6. Opciones para los diferentes componentes del sedimentador (parte 1).	40
Tabla 7. Opciones para los diferentes componentes del sedimentador (parte 2).	40
Tabla 8. Posibles combinaciones de conceptos para el sedimentador.....	41
Tabla 9. Criterios de selección (requerimientos).....	43
Tabla 10. Filtración del concepto	44
Tabla 11. Descripción de los subsistemas.	46
Tabla 12. Descripción de materiales y componentes del tanque del sedimentador.	47
Tabla 13. Conteo de células de la muestra de microalgas.	51
Tabla 14. Desventajas del uso de floculantes.	55
Tabla 15. Tiempo estimado de retención.....	56
Tabla 16. Área del sedimentador basándose en el volumen y altura del sedimentador.	57
Tabla 17. Posibles dimensiones del sedimentador.	58
Tabla 19. Concentración Final.	72
Tabla 20. Concentración basada en el peso seco de la concentración inicial.....	74
Tabla 21. Concentración inicial: Media, desviación estándar y coeficiente de variación	74
Tabla 22. Concentración basada en el peso seco de la concentración sedimentada.....	75
Tabla 23. Concentración sedimentada: Media, desviación estándar y coeficiente de variación	76

INTRODUCCIÓN

El presente tema de tesis se deriva de un proyecto perteneciente al Cuerpo Académico UTMIX-CA-37 “Ingeniería Industrial y Entorno” de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM), que tiene como fin la obtención de energías renovables y productos sustentables a partir de microalgas con una relación costo-beneficio razonable.

La obtención de biomasa proveniente de microalgas es un proceso costoso, lo que dificulta la obtención de ciertos productos al impedir que sean económicamente factibles a una escala mayor a la de nivel laboratorio. Se estima que la recuperación de biomasa de la suspensión del cultivo representa el 20-30% del costo total de producción de ésta. En la Figura 1 se muestran algunos ámbitos donde existen productos de alto valor que hacen uso de biomasa para su manufactura, estos ámbitos son la industria alimentaria como suplementos alimenticios y dietéticos, así como alimentos funcionales, industrias farmacéuticas (aromatizantes y cosméticos), fuente de ácidos grasos (omega-3), industria farmacéutica y en el campo terapéutico [1].

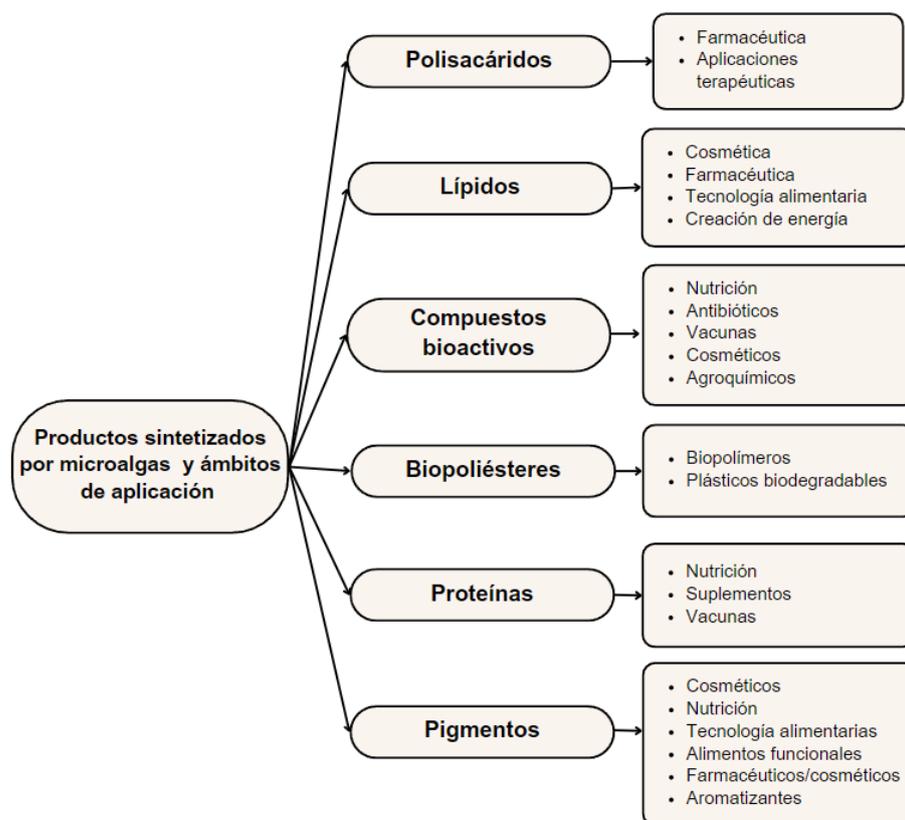


Figura 1. Productos sintetizados por microalgas y ámbitos de aplicación.

Fuente: Modificado [1].

Partiendo de este punto se realiza una propuesta de diseño de un sedimentador de microalgas, considerando a las siguientes restricciones iniciales: debe poder ser producido utilizando PMMA (polimetilmetacrilato) como material principal. Las cualidades del PMMA incluyen alta resistencia mecánica, ligereza, durabilidad ante la intemperie, es un material inerte, tiene mínima toxicidad, presenta facilidad de limpieza y bajo costo [2]. Este material fue proporcionado por el Cuerpo Académico “Ingeniería Industrial y Entorno”, quienes disponen de excedentes de PMMA de un proyecto anterior y desean que se aproveche este recurso para evitar su desperdicio. Además, se debe manufacturar con las máquinas y equipo disponibles en la universidad, así como contar con una operación segura tanto para el operador como para la biomasa. Adicionalmente a estas características deseadas, el sedimentador debe reducir o eliminar el consumo energético de fuentes no renovables, reduciendo así el impacto ambiental en comparación con otros procesos similares empleados en la obtención de biomasa, como centrifugación, filtración, floculación, entre otros [3]. Otras restricciones y características de diseño fueron identificadas durante el desarrollo del proyecto.

Para realizar el diseño de este sedimentador se siguió la metodología basada en el libro “Diseño y desarrollo de productos”. En la figura 2 se muestra el proceso a seguir para el diseño de un prototipo de sedimentador para el cultivo de microalgas. Sin embargo, la metodología propuesta por Ulrich contempla 5 fases, esta última denominada “inicio de producción”, que se refiere al inicio de producción en una empresa [4], esta última fase no tiene relación con el objetivo y alcance del proyecto, por esta razón se contempla solo desarrollar hasta la fase 4 (ver Figura 2).

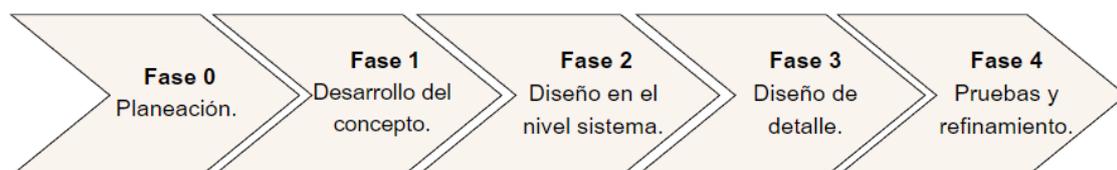


Figura 2. Proceso de desarrollo de un producto.

Fuente: “Diseño y desarrollo de productos” [4].

Las características consideradas en el diseño del sedimentador se basan en la ley de Stokes, que describe la velocidad de sedimentación, la cual depende del tamaño de célula, donde ésta puede ser simple, doble, triple y cuádruple.

1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.

En el siguiente apartado se habla brevemente sobre las principales características de las microalgas, así como la importancia actual y futura en la producción industrial. Asimismo, se explica el proceso de obtención de la biomasa, la cual es la base para la obtención de los productos finales

1.1 OBTENCIÓN DE BIOMASA

Se refiere al proceso de producción y recolección de materia orgánica, generalmente de origen vegetal o microbiano, con el propósito de utilizarla en diversas aplicaciones. En la Figura 3 se muestran ejemplos de fuentes de biomasa. Asimismo, la biomasa representa ventajas y desventajas respecto a los combustibles fósiles, como se observa en la Tabla 1.



Figura 3. Fuentes de biomasa.
Fuente: Modificado [5].

1.2 CULTIVO DE MICROALGAS

El término “biomasa” engloba a los productos energéticos y materias primas renovables que se originan a partir de materia orgánica, es decir desechos y residuos de origen biológico, esto excluye a los combustibles fósiles y sus derivados (productos sintéticos), así como aquellos materiales donde se haya experimentado un proceso de mineralización. Los dispositivos destinados al cultivo masivo de microalgas, en espacios cerrados, son conocidos como fotobiorreactores, los cuales tienen la función de proporcionar un medio

estable, es decir, una correcta temperatura, pH, baja concentración de O₂, una óptima iluminación, además de suministrar los nutrientes necesarios para el crecimiento de las microalgas [2], [6]. La Tabla 1 describe las ventajas y desventajas de la utilización de biomasa.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la utilización de biomasa.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Disminución de las emisiones de CO ₂ respecto a otros combustibles fósiles.	Posee menores rendimientos energéticos.
No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados.	Posee mayores costos de producción.
Disminución de residuos.	Posee una baja densidad energética.
Evita la erosión y degradación del suelo.	Necesidad de acondicionamiento o transformación para su utilización.
Diversificación energética.	
Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de biocombustibles.	
Nuevas oportunidades para el sector agrícola.	

Fuente: "Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad" [5].

A pesar de las desventajas mencionadas anteriormente, las tecnologías de transformación de biomasa en energía han avanzado significativamente, lo que ha abierto una amplia gama de aplicaciones que permiten plantear una gran cantidad de posibles aplicaciones entre las que destacan la producción de energía térmica, electricidad, biocombustibles y gases combustibles [5]. Además, la biomasa obtenida a partir de microalgas se produce a través de la fotosíntesis, lo que reduce las emisiones de CO₂, siendo una poderosa aliada en la lucha contra el cambio climático y la preservación del medio ambiente [7].

1.3 CONCENTRACIÓN

Las microalgas son organismos fotosintéticos unicelulares que se han convertido en una fuente prometedora de diversos productos, como biocombustibles, alimentos, productos químicos, piensos, entre otros más. La concentración de microalgas es un tema relevante en el ámbito de la biotecnología y la producción de biomasa microalgal. La concentración de microalgas es un paso crucial en el proceso de cultivo, ya que permite obtener biomasa de alta densidad y maximizar la productividad. Existen diversos métodos de cosecha de

biomasa microalgal los cuales se muestran en la Figura 4, en la figura se muestran los métodos químicos, biológicos y físicos existentes.

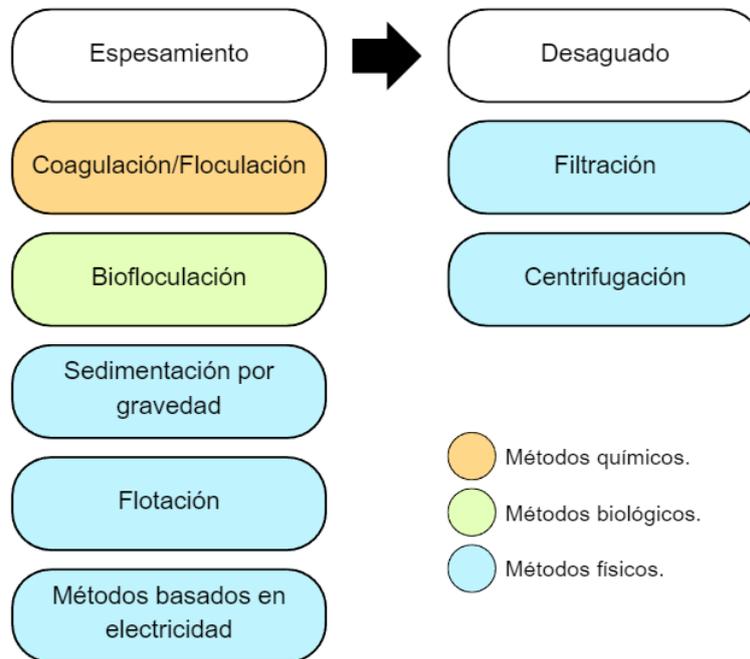


Figura 4. Diagrama de métodos de cosecha microalgal.

Fuente: "Diseño y construcción de un sedimentador de alta tasa para la cosecha de biomasa microalgal, como parte del proceso de producción de biocombustibles" [3].

La concentración efectiva de microalgas permite maximizar la productividad y mejorar la eficiencia de la producción en diversos sectores, como la biotecnología, la producción de biocombustibles, la alimentación y la acuicultura. Existen diferentes métodos y estrategias para lograr la concentración de microalgas, desde técnicas físicas como la centrifugación y la filtración, hasta métodos químicos y de sedimentación. Cada método tiene sus ventajas y desafíos, la elección depende de las características específicas del cultivo de microalgas y los requisitos del producto final. La concentración efectiva de microalgas no solo aumenta la densidad de biomasa, sino que también facilita el manejo, transporte y procesamiento posterior de las microalgas. Su aplicación en diferentes sectores tiene el potencial de generar impactos significativos en términos de sostenibilidad, seguridad alimentaria y desarrollo de tecnologías más limpias y amigables con el medio ambiente.

1.4 SEDIMENTACIÓN

Se entiende por sedimentación al proceso de remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión cuyo peso específico es mayor que al del agua. El proceso de sedimentación está descrito por la ley de Stokes, la cual describe la suspensión de sólidos en líquidos que por gravedad caerán al fondo [8].

Las ventajas del proceso de sedimentación son:

- No necesitan de químicos adicionales en el proceso.
- Energéticamente eficiente.
- Útil para diversas especies de microalgas.
- Es un método simple y económico.

Como desventajas podemos encontrar:

- Requiere de un tiempo largo para precipitar.
- No es efectivo para células de algas de tamaño pequeño.
- Posibilidad del deterioro de la biomasa.
- Baja concentración de biomasa espesada.

1.4.1 Tipos de sedimentación

- **Sedimentación Gravitacional:** Es el método más común de sedimentación y se basa en la acción de la gravedad para separar los sólidos suspendidos en un líquido. Los sólidos más densos se asientan en el fondo del recipiente, mientras que el líquido clarificado se retira de la parte superior.
- **Sedimentación por Centrifugación:** En este método, la sedimentación se acelera mediante la aplicación de una fuerza centrífuga. Se utiliza una centrífuga para generar fuerzas de aceleración superiores a la gravedad, lo que resulta en una sedimentación más rápida.
- **Sedimentación por Flotación:** Este tipo de sedimentación se basa en la diferencia de densidad entre los sólidos y el líquido. Se introducen burbujas de aire u otro gas en el sistema para hacer que los sólidos se vuelvan más livianos y floten hacia la superficie, donde se pueden recolectar. Además del aire, se pueden utilizar otros gases como nitrógeno o dióxido de carbono (CO₂) para generar burbujas, estos gases afectan a las microalgas, por ejemplo, pueden hacer que produzcan más o menos lípidos [9].

- **Sedimentación por Tamizado:** En esta técnica, se utilizan tamices o mallas con aberturas de tamaño específico para separar partículas sólidas de diferentes tamaños. Las partículas más grandes no pueden pasar a través de los tamices y se sedimentan, mientras que las partículas más pequeñas se separan y pueden ser recolectadas.
- **Sedimentación por Filtración:** En este método, se utiliza un medio filtrante, como un filtro de tela o un medio poroso, para separar los sólidos suspendidos del líquido. Los sólidos se retienen en el medio filtrante, permitiendo que el líquido pase a través y se recolecte.

PROCESOS DE SEDIMENTACIÓN POR GRAVEDAD

Se forman diferentes zonas en el proceso de sedimentación los cuales se muestran en la Figura 5. Se inicia con una suspensión de partículas sólidas en un líquido dentro de un recipiente. La profundidad total de la suspensión se denomina Z_0 . Con el tiempo, se desarrollan distintas zonas dentro del recipiente. La zona A es líquido claro en la parte superior del recipiente, en esta zona la concentración de sólidos se vuelve muy baja, ya que los sólidos más pesados han caído al fondo debido a la gravedad. En la zona B se concentran los sólidos de manera uniforme y es igual a la concentración original de la suspensión. Esto se debe a que la velocidad de sedimentación es constante en esta zona. Asimismo, se encuentra la zona C, conocida como capa de transición. La concentración de sólidos en esta capa varía desde la concentración original de la suspensión hasta la concentración en la zona D. Los límites entre las zonas C y D pueden no ser tan evidentes. Finalmente, en el fondo del recipiente se encuentra la zona D, donde se acumulan los sólidos sedimentados. La concentración en esta zona es alta, ya que es donde se depositan los sólidos [10], [11], [12].

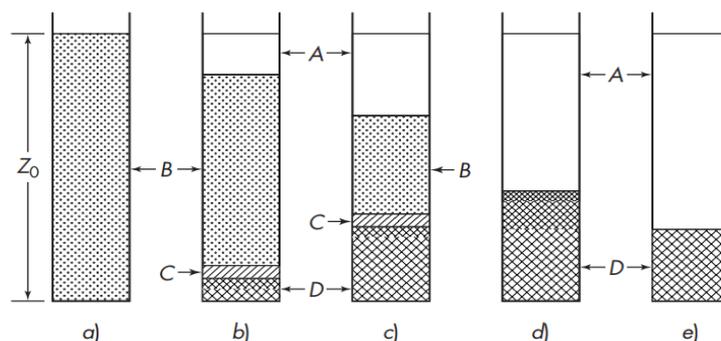


Figura 5. Zonas en el proceso de sedimentación.
Fuente: "Operaciones unitarias en ingeniería química" [12].

Con el paso del tiempo la zona de B y C desaparecen, entonces la zona D comienza a compactarse y se conoce como punto crítico, lo que provoca que algo de líquido sea expulsado de la zona y el espesor de la zona D disminuya [11].

1.5 ANTECEDENTES

El artículo "Evaluation of an Inclined Gravity Settler for Microalgae Harvesting" de Zhaowei Wang [13], se centra en la evaluación de un sedimentador inclinado por gravedad para la recolección de microalgas. El estudio investiga el rendimiento de este sedimentador en términos de eficiencia de separación y su viabilidad como método de recolección de microalgas. Los resultados del estudio revelan que el sedimentador inclinado por gravedad logra una separación efectiva de las microalgas del medio de cultivo. Se observa una alta eficiencia de recolección, con una tasa de separación de microalgas significativa. Además, se encuentra que el sedimentador es capaz de manejar una amplia gama de concentraciones de microalgas, lo que indica su versatilidad y aplicabilidad en diferentes condiciones de cultivo. Además, el artículo también aborda factores clave, como la relación de aspecto del sedimentador, es decir la proporción entre altura y longitud, características que influyen en la eficiencia, funcionamiento y velocidad de sedimentación. Estos aspectos son fundamentales para optimizar el diseño y mejorar aún más la captura de microalgas. En él se muestra que el sedimentador inclinado por gravedad es una opción prometedora para la cosecha de microalgas. Los resultados obtenidos respaldan su eficiencia y viabilidad como método de separación en el cultivo de microalgas. Estos hallazgos pueden ser de gran relevancia para la industria y la investigación en el campo de la producción de microalgas y su posterior procesamiento en diferentes aplicaciones industriales.

Asimismo, de la tesina de Erick Vielma titulada "Diseño y Construcción de un Sedimentador de alta tasa para la cosecha de biomasa microalgal, como parte del proceso de producción de biocombustibles"[3], se realizó un diseño de un sedimentador de alta tasa de placas inclinadas de 1.3 m de altura, con 2 m³ de capacidad, también se establecieron las bases constructivas para el sedimentador donde se optó por láminas de PVC y de acrílico, el costo del sedimentador es de \$26 000 MXN. El diseño final del sedimentador arrojó como resultado una velocidad de sedimentación de 1.89 [m/día], es decir, en un día, los sólidos se moverán verticalmente una distancia de 1.89 metros hacia el fondo del recipiente, asimismo, la capacidad final del sedimentador fue de 2 [m³].

El trabajo propone el diseño de un sedimentador como parte del proceso para la producción de biocombustibles, se realizó una evaluación del rendimiento del sedimentador diseñado mediante pruebas experimentales y recolección de datos para determinar la eficiencia de separación de las microalgas del medio de cultivo, la capacidad de tratamiento del sedimentador y la calidad de la biomasa recolectada.

Sin embargo, en las propuestas anteriormente mencionadas, no se habla sobre los factores que influyen en la sedimentación, que son importantes de tomar en cuenta, tales como la temperatura y densidad del agua, las cuales afectan la capacidad de carga y sedimentación de las partículas. A temperaturas más bajas, las microalgas tienden a presentar una actividad metabólica reducida, lo que disminuye su movilidad en el agua y fomenta su sedimentación [9]. Por tanto, es importante considerar factores como estos. Asimismo, es importante considerar el espacio destinado para el dispositivo, ya que la elección de la forma y el tipo de sedimentador dependerá de factores como el tamaño y la cantidad de partículas en suspensión, el caudal de agua y el propósito específico del tratamiento. Es importante considerar que el diseño debe cumplir características específicas para garantizar una sedimentación eficiente y adecuada en cada aplicación. Además, es importante tomar en cuenta el mantenimiento y la limpieza regular del sedimentador, que también son cruciales para mantener su eficiencia a lo largo del tiempo, por lo tanto, es esencial que el diseño tenga en cuenta la facilidad de mantenimiento. Las características anteriormente mencionadas son elementos clave para el correcto funcionamiento del sedimentador en la Universidad Tecnológica de la Mixteca y que garantice su utilidad para los fines del grupo académico UTMIX-CA-37.

1.6 MÉTODO KANO

El método Kano se utiliza para identificar y clasificar las características en básicas, de rendimiento o atractivas. La clasificación permite comprender cómo estas características influyen en la satisfacción, ayuda a identificar los rasgos que deben ser priorizados para lograr la satisfacción del cliente y a cumplir con los objetivos [14]. Las categorías de clasificación son:

- **Atributos Básicos:** Son características que se consideran esenciales y se dan por sentado. Su ausencia o baja calidad provoca insatisfacción, pero su presencia no genera una satisfacción significativa.

- **Atributos de Rendimiento:** Son características específicas que se traducen en una mayor satisfacción a medida que mejoran. Su presencia y calidad son valoradas por los clientes.
- **Atributos Emocionales:** Son características que generan una respuesta emocional en los clientes. Su ausencia no causa insatisfacción, pero su presencia genera una mayor satisfacción.
- **Atributos Indiferentes:** Son características que no tienen un impacto significativo en la satisfacción del cliente.

Es un modelo bidimensional para comprender los requerimientos de los clientes y su impacto en la satisfacción del cliente. El modelo divide los requerimientos de los clientes en seis categorías, cada una afectando la satisfacción del cliente de manera diferente. Esta clasificación se basa en las respuestas dadas en la pregunta funcional y disfuncional (véase Figura 6).

Requerimientos del consumidor (sus necesidades)		Disfuncional				
		Realmente me gusta	Me gusta	Neutral	Me disgusta	Realmente me disgusta
Funcional	Realmente me gusta	C	A	A	A	L
	Me gusta	R	I	I	I	E
	Neutral	R	I	I	I	E
	Me disgusta	R	I	I	I	E
	Realmente me disgusta	R	R	R	R	C
L= Característica unidimensional		E= Característica esperada			I= Respuesta indiferente	
R= Respuesta inconsistente		A= Característica atractiva			C= Característica cuestionable	

Figura 6. Clasificación de los requerimientos

Atractivo (A): La presencia funcional de estos atributos resultará en un alto nivel de satisfacción del cliente, mientras que su ausencia no afectará significativamente la satisfacción del cliente.

Unidimensional (L): La presencia funcional de estos atributos generará satisfacción del cliente, mientras que su ausencia resultará en insatisfacción.

Esperada (E): Los clientes dan por sentada la presencia de estos atributos. La falta de estos atributos resultará en una insatisfacción extrema, pero tenerlos no aumentará significativamente el nivel de satisfacción.

Indiferente (I): Los atributos en esta categoría, ya sean presentes o no, no afectarán la satisfacción del cliente.

Inconsistente (R): La presencia de estos atributos generará insatisfacción y su ausencia generará satisfacción, es decir, el efecto es contrario a lo que se esperaría.

Cuestionable (C): Este resultado indica que las respuestas no tienen sentido lógico o que la pregunta se formuló incorrectamente [14].

Para realizar una evaluación más detallada de la información obtenida con el cuestionario de Kano, se debe obtener el coeficiente de satisfacción del cliente (CSC). El CSC establece si la satisfacción puede aumentarse al cumplir con un requerimiento del producto, o si cumplir con ese requerimiento previene la insatisfacción del cliente con el producto; el coeficiente indica el impacto que tiene una característica del producto sobre, la satisfacción del cliente (si se cumple dicha característica), o la insatisfacción (si no se cumple). Para calcular el impacto promedio en la satisfacción, el coeficiente CSC se calcula como:

$$CSC = \frac{A + L}{A + L + E + I} \quad (1)$$

Mientras el valor de CSC se encuentre más cercano al 1, el requerimiento tiene una mayor influencia en la satisfacción; un 0 indica muy poca o nula influencia.

Para calcular el impacto promedio en la insatisfacción, el coeficiente de insatisfacción del cliente CIC se calcula como:

$$CIC = \frac{L + E}{A + L + E + I} * (-1) \quad (2)$$

Si el CIC se acerca a -1 , la insatisfacción del cliente es fuerte si la característica no se cumple; un 0 indica que el requerimiento no causa insatisfacción si no se cumple. El valor obtenido de cada requerimiento se puede visualizar en la representación bidimensional del método Kano como se muestra en la Figura 7.

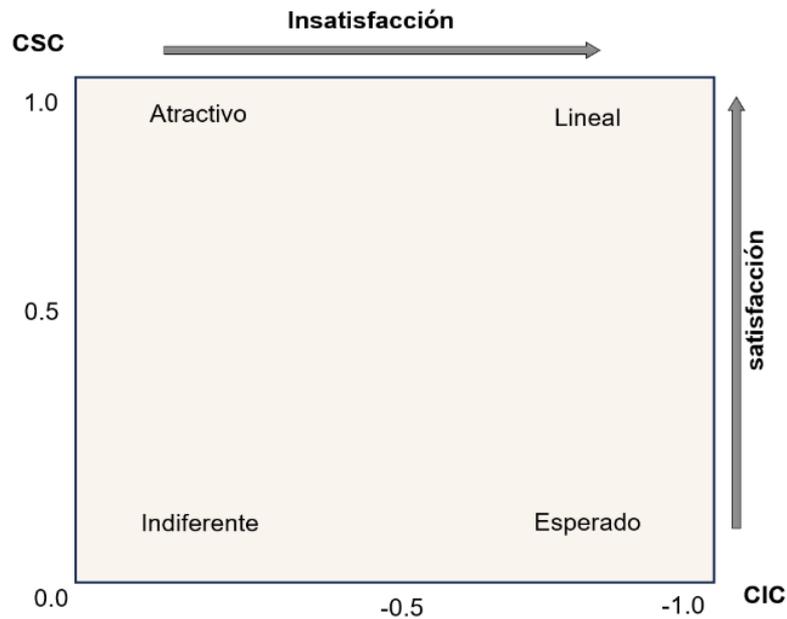


Figura 7. Representación bidimensional de las categorías de calidad de Kano.
Fuente: Modificado [15].

1.7 MÉTODO QFD

El Despliegue de la Función de Calidad (QFD) es un enfoque esencial en el proceso de diseño y desarrollo de productos, especialmente en un mercado altamente competitivo donde la satisfacción del cliente es crítica. Permite traducir de manera efectiva las necesidades y requisitos del cliente en atributos concretos de diseño, brindando una estructura clara para guiar el proceso de desarrollo, este aporta orden y estructura al proceso al establecer conexiones directas entre los requisitos del cliente y las características específicas del diseño del producto. Esto no solo agiliza la toma de decisiones, sino que también mejora la capacidad de las empresas para ofrecer soluciones que realmente resuenen con los clientes y se alineen con sus expectativas en un mercado competitivo y en constante evolución [16]. Este método es utilizado, por ejemplo, para el diseño de servicios digitales, ayudando a ampliar los servicios ya existentes, utilizando como entrada o voz del cliente historias de los usuarios para posteriormente en la casa de la calidad forman la matriz junto con la voz del ingeniero, haciendo que las empresas e interesados en mejorar sus servicios digitales logren identificar las funciones del servicio relevantes que se tienen que priorizar para mejorar y brindar una mejor experiencia al usuario [17].

El QFD involucra por lo menos cuatro etapas, que incluyen la recopilación y análisis de las necesidades del cliente, la identificación de características técnicas clave, la priorización de los requisitos y la asignación de responsabilidades dentro de la organización para cumplir con esos requisitos. A través del QFD, se establece una relación entre los requisitos del cliente y las funciones del producto o servicio, permitiendo una toma de decisiones informada en el proceso de diseño y desarrollo. Las matrices utilizadas en el QFD guían al equipo a lo largo del proceso de diseño del producto y la determinación de las características del sistema de manufactura requerido para su fabricación. El despliegue de la función de calidad es un proceso flexible que se adapta a las necesidades específicas de cada proyecto. En la Figura 8 se muestran las 4 fases del QFD y el flujo de información de una matriz a otra.

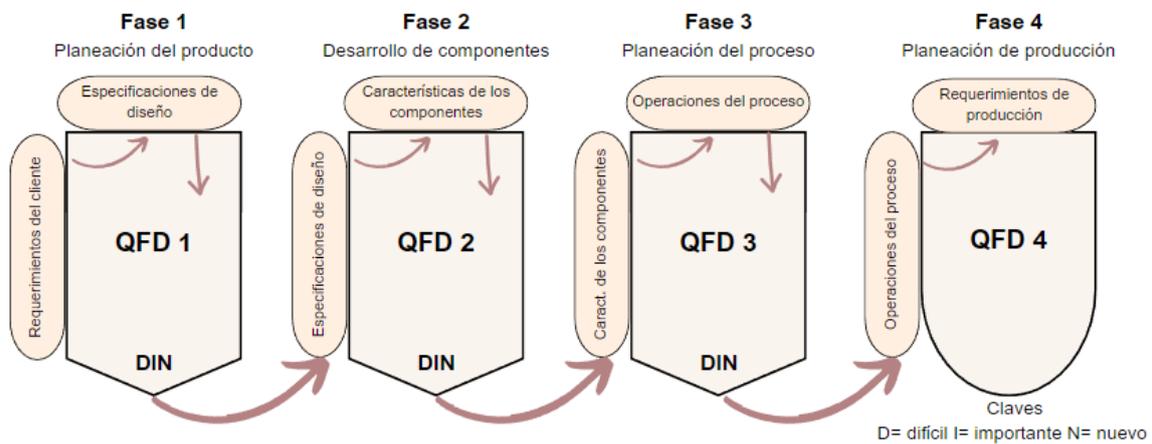


Figura 8. Las cuatro etapas del despliegue de la función de la calidad

Para iniciar la primera fase de este método es necesario recopilar las necesidades y requerimientos del cliente, las cuales se convierten en la información de entrada de la primera fase de este proceso de planeación del producto; esta primera fase también se le conoce como “Casa de la calidad”. Las necesidades se van conociendo al hacer la investigación del mercado correspondiente, la cual se puede obtener a través de cuestionarios. El cuestionario puede ser simple o puede ser más especializado, como el método Kano. Posteriormente es necesario convertir estos requerimientos subjetivos en especificaciones de diseño objetivas, y después hacer los siguientes pasos elaborando así las demás secciones de la casa.

La Figura 9 muestra la estructura de la matriz 1 del QFD y cada una de sus secciones.

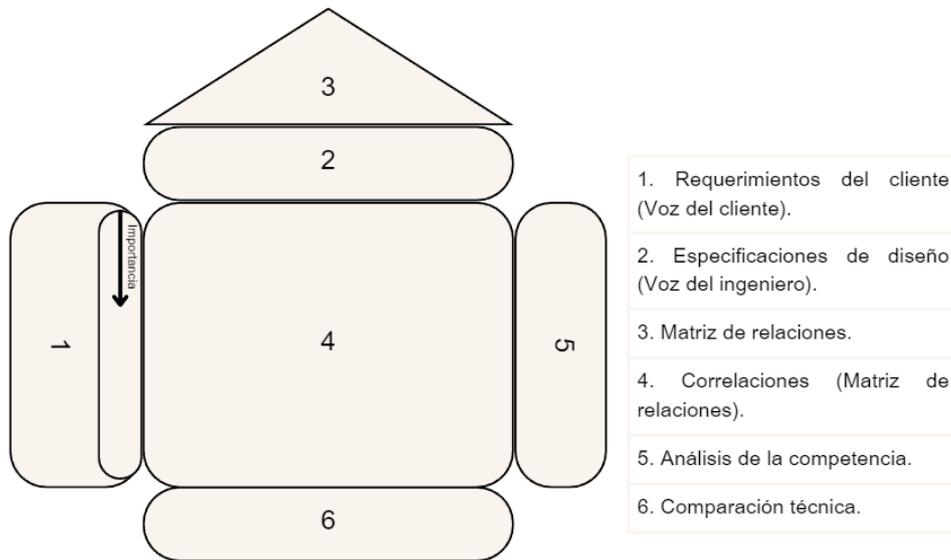


Figura 9. Fase 1. Planeación del producto

La sección 2, especificaciones de diseño (voz del ingeniero) del despliegue de la calidad, consiste en crear una lista de especificaciones de diseño (requerimientos del producto o características técnicas) que cumplan las necesidades subjetivas del mercado (etapa 1 de QFD), en términos de parámetros ingenieriles objetivos. Es fundamental que las especificaciones sean medibles con el fin de evaluar las propuestas de diseño, las cuales son las descripciones, en términos cuantificables de ingeniería, de las características del producto de acuerdo con las peticiones de los clientes. Son las mismas necesidades expresadas por el cliente en forma objetiva, técnica, operacional y cuantitativa.

La sección 3 (matriz de interacciones), se evalúan las interacciones entre los diferentes requerimientos técnicos haciendo la pregunta: si una especificación mejora ¿qué ocurre con otra especificación mejora, empeora o no pasa nada? Las correlaciones pueden ser: fuerte relación positiva ($++$ o \odot), relación positiva ($+$ o \circ), relación negativa ($-$ o \times), fuerte relación negativa ($--$ o $\times\times$) y para los requerimientos sin relación se deja la casilla en blanco.

La sección 4 (matriz de relaciones), se evalúan las relaciones entre cada requerimiento del cliente y cada requerimiento de diseño, la evaluación generalmente se hace preguntando: ¿la especificación de diseño X influye en la satisfacción de la necesidad (requerimiento) Y del cliente? Es importante recordar el comenzar la evaluación con las

necesidades de mayor importancia, las relaciones se identifican en: relación fuerte (⊕) con valor de 9, relación media (○) con valor de 3, relación débil (△) con valor de 1 y sin relación se deja en blanco y con valor de 0.

La sección 5 (análisis de la competencia), ayuda a determinar las fortalezas y debilidades de los productos existentes en el mercado. Se captura al mismo tiempo que los requerimientos (necesidades del área 1) del cliente. Los productos propios y de la competencia se juzgan por su habilidad en satisfacer cada necesidad del cliente, asignándole pesos para designar su nivel de desempeño. En la casa de la calidad los pesos se colocan a la izquierda mediante las calificaciones otorgadas o mediante símbolos, justo al lado de cada necesidad. Los requerimientos del cliente que son satisfechos por cualquiera de los productos competidores deben también ser satisfechos por nuestro producto. Aquellas necesidades con calificación baja indican una oportunidad de ventaja competitiva si se satisface una necesidad que otros han atendido.

La sección 6 (evaluación técnica), por parte de la propia compañía, se analiza al producto de la competencia y al propio, con base en las especificaciones técnicas de diseño (sección 2). La información para la evaluación se puede obtener inspeccionando, y probando los productos.

Para realizar la transición a la siguiente fase los componentes que pasan a la siguiente etapa son aquellos identificados por medio de un análisis de Pareto o por medio de una selección adecuada de aquellos que tengan valores altos (I), y los componentes considerados como difíciles (D) o nuevos (N), los cuales se convierten en la entrada de la siguiente etapa, para continuar con el análisis. Este proceso de transición se hace igual de una fase a otra, no todos los componentes pasan a la siguiente etapa, por lo que se filtran los requerimientos DIN. En este proyecto se contempla hasta la tercera fase del QFD, planeación de proceso (ver Figura 10).

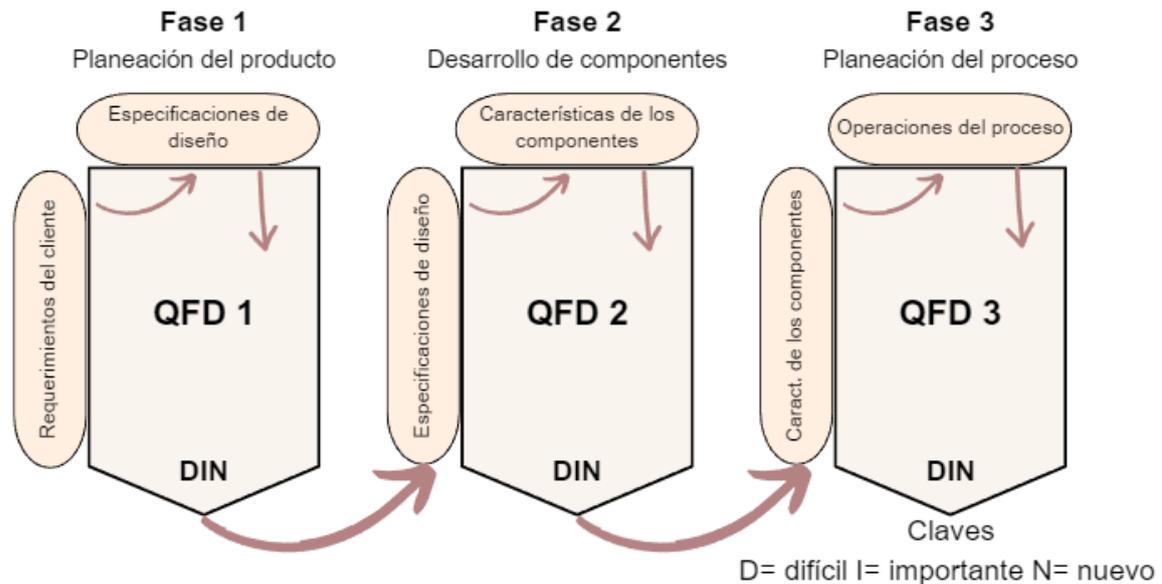


Figura 10. Fases contempladas.

1.8 AMEF

El AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla) es una herramienta valiosa para identificar y evaluar los posibles modos de falla en un sistema, proceso o producto, así como sus efectos [18]. Es un método sistemático utilizado para detectar y examinar posibles fallos en un sistema o proceso. El AMEF es ampliamente adoptado en diversas industrias, como la manufactura, la ingeniería y el campo médico, con el fin de incrementar la fiabilidad, calidad y seguridad [19].

El procedimiento básico del AMEF de diseño consta de los siguientes pasos:

- **Descripción del diseño o proceso.** Detalla de manera exhaustiva el diseño del producto o proceso bajo análisis. Esto puede incluir planos, especificaciones técnicas, diagramas y cualquier información relevante.
- **Identificación de modos de falla.** Se identifican todas las posibles formas en las que el diseño o proceso podría fallar. Un modo de falla es la forma en que el producto o proceso podría no cumplir con los requisitos o expectativas establecidos.
- **Identificación de efectos de falla.** Para cada modo de falla, se identifican y describen los posibles efectos o consecuencias que podrían resultar de la falla.
- **Asignación de grados de severidad, ocurrencia y detección.** Se asignan puntuaciones numéricas a cada modo de falla en función de su gravedad (severidad), la probabilidad de que ocurra (ocurrencia) y la probabilidad de que sea detectado antes de llegar al cliente (detección).

- **Cálculo del índice de riesgo.** El RPN (Número de Prioridad de Riesgo) se obtiene multiplicando las puntuaciones de severidad, ocurrencia y detección. Este número ayuda a priorizar las acciones a tomar para mitigar o eliminar los riesgos identificados.
- **Acciones correctivas y preventivas.** El equipo propone acciones para reducir o eliminar los modos de falla de mayor RPN. Estas acciones pueden incluir mejoras de diseño, cambios en los materiales, ajustes en procesos de fabricación o implementación de controles de calidad más efectivos.
- **Implementación y seguimiento.** Se llevan a cabo las acciones correctivas y preventivas, y se realiza un seguimiento para asegurarse de que los riesgos se hayan mitigado adecuadamente.

El AMEF de diseño es importante en el proceso de diseño de productos porque ayuda a anticipar y prevenir posibles problemas y defectos antes de que el producto entre en producción o llegue a los clientes. Al identificar y abordar las posibles fallas en las primeras etapas del diseño, se pueden evitar costosos retrabajos, reclamaciones de garantía y problemas de satisfacción del cliente. Además, el AMEF fomenta una mentalidad proactiva hacia la calidad y mejora continua, lo que puede resultar en productos más confiables y seguros, y en una mayor satisfacción del cliente. En última instancia, este método contribuye a la creación de productos más robustos y exitosos en el mercado.

2. CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La obtención de biomasa microalgal a nivel laboratorio hace uso de los principios de la centrifugación, floculación, disrupción de las células o la microfiltración, los cuales resultan de gran ayuda en la operación de cosecha de microalgas, sin embargo, estas técnicas requieren altos consumos energéticos o el uso de productos químicos lo que ocasiona que no sean factibles económicamente. Por tanto, la obtención de ciertos productos, como los biocombustibles a partir de microalgas no resultan rentables, ya que esta etapa del proceso es responsable de entre el 20 y 30% del costo total del producto.

Por otro lado, los actuales sistemas de obtención de biomasa presentan ciertas limitantes, tales como los elevados costos de operación, dificultad para la captura de la biomasa, las dificultades de escalar el proceso a un nivel mayor a la de nivel laboratorio, entre otros. Lo anterior destaca la necesidad de optimizar el diseño, la relación costo beneficio, espacio físico, costos de mantenimiento y requerimientos energéticos de los sedimentadores.

Por tanto, el diseño del sedimentador debe reducir o eliminar el consumo energético de fuentes no renovables y reducir el impacto ambiental en comparación con otros procesos similares en la obtención de biomasa. Otras restricciones y características de diseño fueron identificadas durante el desarrollo del proyecto.

La mejor opción implica entonces, hacer la siguiente pregunta: ¿Cuál es el diseño de sedimentador que se adapta a los requerimientos que solicita el UTMIX-CA-37 Ingeniería Industrial y Entorno?

2.2 JUSTIFICACIÓN

En la búsqueda de alternativas que permitan la elaboración de productos sustentables que sustituyan a los derivados del petróleo, para la elaboración de alimentos, piensos nutritivos, productos químicos renovables, aplicaciones de tratamiento de aguas residuales y biorremediación, las microalgas han demostrado su versatilidad y relevancia en múltiples sectores. Además, las microalgas ofrecen oportunidades para la captura y almacenamiento de carbono, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático. A medida que la investigación avanza y los desafíos técnicos se resuelven, su

implementación a gran escala tendrá un impacto significativo en la transición hacia una economía más sustentable y respetuosa con el medio ambiente [20].

El cultivo de microalgas ha recibido gran interés por parte de universidades, centros de investigación e industrias. Con base en la problemática planteada, es necesario una propuesta de desarrollo y diseño de un sedimentador para la obtención de biomasa y continuar con el proyecto que ya se tiene en la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

De esta forma, se realiza la propuesta de un diseño propio que pueda atender las necesidades particulares, obteniendo así un sedimentador que posea las características deseadas y una relación costo beneficio factible a una gran escala.

2.3 HIPÓTESIS

Es posible diseñar y manufacturar un sedimentador de bajo impacto ambiental y bajo consumo energético siguiendo la metodología de diseño y desarrollo de productos.

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 Objetivo general

Diseñar y manufacturar un sedimentador con base en la metodología de diseño y desarrollo de productos, que concentre la biomasa obtenida de un fotobiorreactor usando el mínimo de energías no renovables.

2.4.2 Objetivos Específicos

- Definir las características más relevantes para el diseño.
- Conceptualizar el diseño cumpliendo los requerimientos del cliente.
- Obtener los planos constructivos.
- Manufacturar el prototipo (esto implica considerar la manufactura desde la planificación del diseño, la selección de materiales, definición de la geometría, planeación del proceso y en la validación del prototipo).
- Verificar el funcionamiento.

2.5 METAS

Meta 1. Utilizar la retroalimentación del análisis Kano para categorizar las características del diseño que mejor se ajuste a las expectativas y deseos de los usuarios (cuerpo académico UTMIX-CA-37 “Ingeniería Industrial y Entorno”).

Meta 2. Utilizar el método QFD para traducir las necesidades y expectativas de los clientes en características específicas de diseño y producción. Asimismo, evaluar y priorizar diferentes conceptos de diseño en función de cómo se alinean con las necesidades y expectativas del cliente.

Meta 3. Aplicar el método AMEF para identificar y evaluar los posibles modos de falla en el diseño y manufactura del sedimentador, así como sus efectos y severidad, con el fin de mitigar riesgos y asegurar la calidad del producto.

Meta 4. Documentar la versión definitiva del diseño, destacando cómo se ha logrado un sedimentador que minimiza el uso de energías no renovables y proporcionando detalles sobre las metodologías aplicadas.

Meta 5. Manufacturar el sedimentador. Esto implica el diseño de un sistema que maximice la captura de microalgas y minimice las pérdidas durante el proceso de extracción.

Meta 6. Realizar pruebas del funcionamiento del sedimentador y realizar las correcciones pertinentes.

2.6 METODOLOGÍA

Para realizar el diseño del sedimentador se siguió la metodología descrita en el libro “Diseño y desarrollo de productos” el cual presenta las acciones a realizar en cada fase de la metodología. En la Figura 11 se muestran las actividades a llevar a cabo, cada una de ellas representa un hito en cada fase.



Figura 11. Actividades representativas de cada fase que representan un hito.

Fuente: Modificado [4].

A continuación, se explicará cada fase y las actividades que contempla cada una de ellas.

Fase 0. Planeación

En esta etapa se deberá:

- Identificar restricciones de producción.
- Considerar plataforma y arquitectura del producto.
- Evaluar nuevas tecnologías.
- Desarrollar método Kano.

Fase 1. Desarrollo del concepto

En esta etapa se deberá:

- Recabar necesidades de clientes.
- Identificar productos competitivos o que realicen la misma función que el producto a desarrollar
- Investigar factibilidad de conceptos del producto.
- Desarrollar conceptos de diseño industrial.
- Construir y probar prototipos experimentales.
- Evaluar factibilidad de producción.
- Desarrollar QFD 1 (Productos).

Fase 2. Diseño en el nivel del sistema

En esta etapa se deberá:

- Generar arquitecturas de producto.
- Definir subsistemas e interfaces principales.
- Refinar diseño industrial.
- Ingeniería preliminar de componentes.
- Desarrollar QFD 2 (Componentes).
- Desarrollar AMEF.

Fase 3. Diseño a detalle

En esta etapa se deberá:

- Definir geometría de piezas.
- Seleccionar materiales.
- Asignar tolerancias.
- Completar documentación de control de diseño industrial.
- Definir procesos de producción de piezas.

- Manufacturar el prototipo.
- Desarrollar QFD 3 (Procesos).

Fase 4. Pruebas y refinamiento.

En esta etapa se deberá:

- Probar desempeño general (obtener recuento celular).
- Implementar cambios de diseño.
- Refinar procesos de fabricación y ensamble.

Es importante considerar que en la UTM se cuenta con prototipos de FBR con capacidades desde tres litros hasta 25 litros, éstos se pueden operar por lotes o en cultivo continuo y que en un lote se puede hacer el cultivo en más de un FBR. Debido a lo anterior, durante la primera etapa del proyecto de tesis se definió la capacidad con la que debe contar el sedimentador con esta base. El tiempo de cultivo para las microalgas que se ha utilizado para las pruebas, varía de 8 a 14 días en función del FBR utilizado, los nutrientes y la temperatura en la que se mantenga el cultivo. Estos datos y variables específicas de la microalga de prueba se consideran en las primeras etapas del proceso de diseño del sedimentador para determinar el tiempo total que tomará el proceso.

2.7 ALCANCE

Esta tesis se enfoca en el diseño funcional y la manufactura de un prototipo de sedimentador con base en la metodología de desarrollo de nuevos productos. El diseño de este sedimentador está sujeto a restricciones como el poder ser manufacturado con las máquinas y equipo disponible en la universidad, ser manufacturado en PMMA y reducir o eliminar el consumo energético de fuentes no renovables.

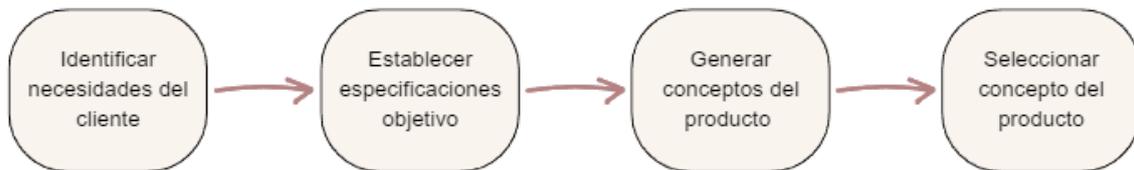
3. CAPITULO III. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

3.1 Planeación.

Dentro del proceso de diseño, uno de los objetivos más significativos es definir las principales características con las que debe contar el sedimentador considerando los requerimientos del UTMIX-CA-37 y profesores-investigadores que colaboran en el proyecto. Una de las principales restricciones que se tiene es que debe ser manufacturado con máquinas existentes en la Universidad Tecnológica de la Mixteca y que el material principal de sedimentador debe ser acrílico.

3.2 Desarrollo del concepto.

Identificar las necesidades del cliente es parte integral del proceso de desarrollo del producto y está estrechamente relacionada con la generación del concepto [4]. En esta sección se presenta cada una de las cuatro fases del desarrollo del concepto mostradas en la Figura 12.



*Figura 12. Fases del desarrollo del concepto.
Fuente: "Diseño y desarrollo de productos" [4]*

3.2.1 Identificación de las necesidades del cliente

1. Recopilar datos sin procesar de los clientes.

Se realizaron encuestas digitales (Anexo 1) enviadas por correo electrónico a cada uno de los integrantes del UTMIX-CA-37. Se les pidió que realizaran una lista de las características más importantes que pudieran resaltar y que consideraron críticas en la construcción del sedimentador. Las necesidades de los usuarios se presentan a continuación:

- El sedimentador debe ser de tamaño reducido debido a la limitación de espacio disponible.
- Durante la puesta en marcha y operación del sedimentador, no se debe contaminar el producto.

- Que tenga una facilidad de mantenimiento.
- La huella de carbono del sedimentador debe ser mínima.
- Que tenga la posibilidad de que agua utilizada pueda ser reutilizada.
- El tiempo de cosecha debe ser corto para evitar que la vida de las microalgas se vea afectada.
- Que en el diseño se considere el escalamiento del sedimentador.
- Que sea fácil de ensamblar.
- El sedimentador debe ser capaz de procesar toda la biomasa producida (dependiendo del lote).

2. Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades de clientes.

En este paso las necesidades de los clientes deben ser expresadas en términos de lo que el producto tiene que hacer, no en términos de cómo podrían incorporarse al producto, por este motivo de las necesidades que aparecen en el apartado anterior se pueden expresar de esta manera:

- Que el sedimentador sea de tamaño reducido debido a la limitación de espacio disponible.
- Que durante la puesta en marcha y operación el sedimentador se garantice la inocuidad de la biomasa.
- Que el sedimentador cuente con una facilidad de mantenimiento.
- Que la huella de carbono del sedimentador debe ser mínima.
- Que el agua utilizada pueda ser reutilizada.
- Que el tiempo de cosecha sea corto para evitar que la vida de las microalgas se vea afectada.
- Que en el diseño se considere el escalamiento del sedimentador.
- Que sea fácil de ensamblar.
- Que el sedimentador sea capaz de procesar toda la biomasa producida (dependiendo del lote).
- Que no se haga uso de energía proveniente de fuentes no renovables.
- Que considere las normativas vigentes y aplicables.

3. Organizar las necesidades en una jerarquía de necesidades primarias, secundarias y, de ser necesario, terciarias.

Se elaboró un cuestionario basado en el modelo Kano, con el fin de clasificar las preferencias de los consumidores en las diferentes categorías. En la Tabla 2 se muestra la clasificación de cada una de las características basándose en los cuestionarios aplicados al grupo académico UTMIX-CA7 (ver Anexo 2), los cuestionarios implicaron hacer una pregunta funcional y una pregunta disfuncional para posteriormente tomar las respuestas y clasificarlas. En la tabla 2 se muestra el resumen de las respuestas obtenidas, así como la categoría correspondiente para cada requerimiento con base en el método Kano.

Tabla 2. Resumen de la clasificación de las características con base en el método Kano.

REQUERIMIENTO	A	L	E	I	R	C	TOTAL	CSC	CIC	CATEGORÍA
Tamaño	2	1		4			7	0.4286	-0.1429	I
Inocuidad	1	4		2			7	0.7143	-0.5714	L
Mantenimiento	3	2		2			7	0.7143	-0.2857	A
Huella de carbono	1	3	1	2			7	0.5714	-0.5714	L
Uso del agua	1	3		3			7	0.5714	-0.4286	A
Tiempo de sedimentación	1	2		4			7	0.4286	-0.2857	I
Escalamiento		3		4			7	0.4286	-0.4286	I
Ensamble	1	3		3			7	0.5714	-0.4286	A
Capacidad	3	1		3			7	0.5714	-0.1429	A
Energía	1	1		4	1		7	0.3333	-0.1667	I
Normativas	2	1	2	2			7	0.4286	-0.4286	I

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente cada requerimiento se ubicó en la representación binomial para corroborar que la clasificación fue hecha correctamente. En la Figura 13 se muestran las diferentes características y su clasificación.

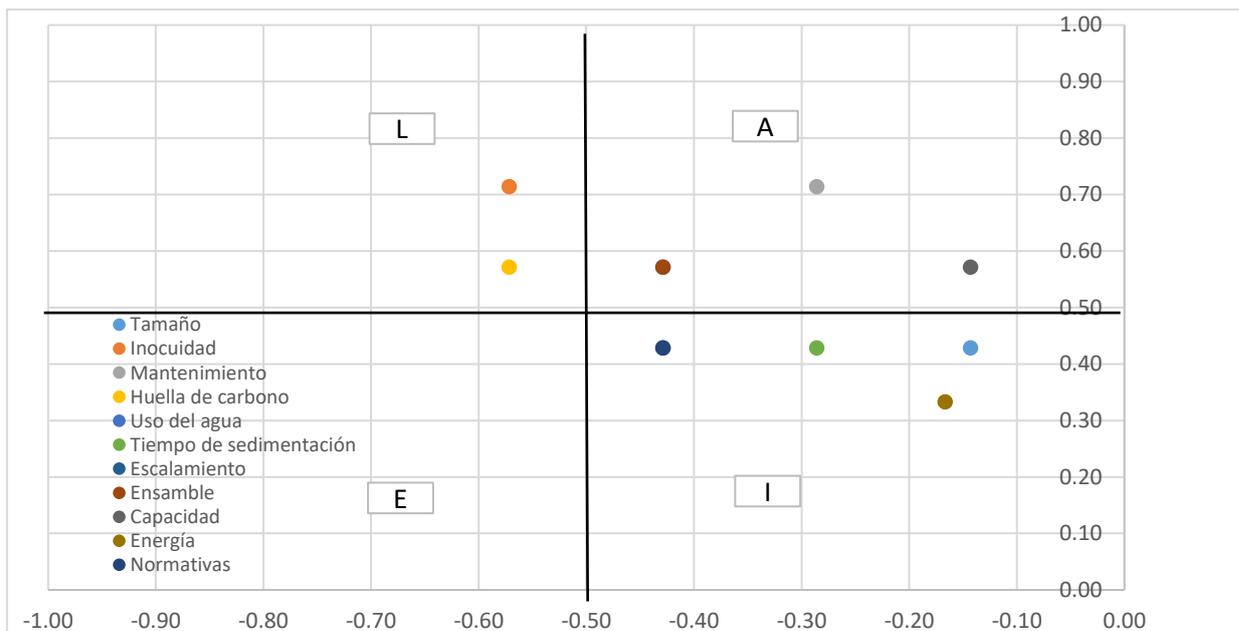


Figura 13. Representación binomial de las características del sedimentador con base en el método Kano.
Fuente: Elaboración propia.

La encuesta Kano fue de ayuda para visualizar las prioridades que fueron asignadas en la elaboración del QFD. En la Tabla 3 se muestran las características que solicitó UTMIX-CA-37 y el peso asignado a cada una de ellas.

Tabla 3. Lista de necesidades del cliente.

Característica	Peso
Que sedimentador sea de tamaño reducido debido a la limitación de espacio disponible.	5
Que durante la puesta en marcha y operación el sedimentador garantice la inocuidad de la biomasa.	8
Que tenga una facilidad de mantenimiento.	10
Que la huella de carbono del sedimentador debe ser mínima.	3
Que el agua utilizada pueda ser reutilizada.	8
Que el tiempo de cosecha sea corto para evitar que la vida de las microalgas se vea afectada.	7
Que en el diseño se considere el escalamiento del sedimentador.	7
Que sea fácil de ensamblar.	8
Que el sedimentador sea capaz de procesar toda la biomasa producida (dependiendo del lote).	9
Que no se haga uso de energía proveniente de fuentes no renovables.	6
Que considere las normativas vigentes y aplicables.	5

4. Establecer la importancia relativa de las necesidades.

3.2.2 Establecer especificaciones objetivo

Una vez identificadas las necesidades del cliente se establecen las especificaciones objetivo [4]. Este proceso consiste en cuatro etapas que se abordan a continuación.

- Elaborar lista de métricas y establecer valores meta ideales y marginalmente aceptables.

Se conjuntaron dos etapas, ya que se elaboró una lista de métricas y se establecieron los valores aceptables. En esta etapa se deben traducir las necesidades del cliente a especificaciones precisas y medibles, esta es la clave para planear y resolver el diseño y desarrollo [21].

A continuación, en la Tabla 4 se muestran las métricas, éstas en el método QFD 1 son consideradas la “voz del ingeniero” ya que describen de forma técnica y medible cómo se cumple con el requerimiento del cliente. Asimismo, se muestra el valor aceptable para determinar que se cumple con esta característica.

Tabla 4. Lista de métricas con base en las necesidades del cliente.

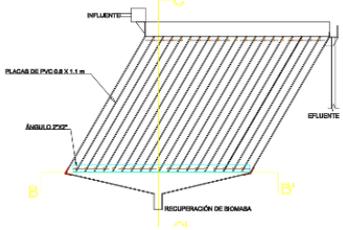
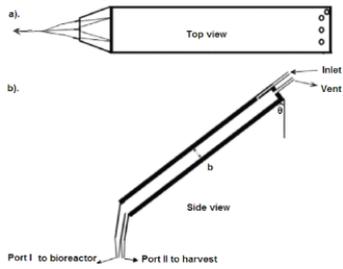
Característica	Métrica	Unidades	Valor
Que sedimentador sea de tamaño reducido debido a la limitación de espacio disponible.	Área ocupada.	m ²	< 1
Que durante la puesta en marcha y operación el sedimentador garantice la inocuidad de la biomasa.	Cuenta Paralela (medición microbiológica).	UFC/cm	< 10
Que tenga una facilidad de mantenimiento.	Frecuencia de limpieza o desinfección.	mes	1-2
	Tiempo de limpieza.	horas	< 2
Que la huella de carbono del sedimentador debe ser mínima.	Material de componentes.	CO ₂	minimizar
Que el agua utilizada pueda ser reutilizada.	Porcentaje de reutilización del agua.	porcentaje	> 80%
Que el tiempo de cosecha sea corto para evitar que la vida de las microalgas se vea afectada.	Tiempo de residencia.	días	≤ 4
	Velocidad de sedimentación.	(Determinada en fases posteriores)	
Que en el diseño se considere el escalamiento del sedimentador.	Capacidad del sedimentador.	litros	2-100
Que sea fácil de ensamblar.	Número de partes.	unidades	< 20
	Tiempo de ensamble.	horas	< 2
Que el sedimentador sea capaz de procesar toda la biomasa producida (dependiendo del lote).	Eficiencia de remoción.	porcentaje	> 80%
Que no se haga uso de energía proveniente de fuentes no renovables.	Consumo de energía eléctrica.	kW	igual a 0
Que considere las normativas vigentes y aplicables.	Contenido de contaminantes en las aguas y biomasa residuales.	ppm	lista

Fuente: elaboración propia

- Recabar información de comparaciones con la competencia.

En la Tabla 5 se muestran las características de sedimentadores ya existentes y una descripción general, estos sedimentadores son modelos que representan la competencia del sedimentador a manufacturar.

Tabla 5. Información de la competencia.

COMPETENCIA	DESCRIPCIÓN	SEDIMENTADOR
Sedimentador de alta tasa (UNAM)	Se trata de un sedimentador el cual se utiliza para fines didácticos, las paredes del sedimentador tienen como material placas de acrílico y PVC blanco de 6 mm de espesor. Altura de 1.3 m, un área superficial de 1.96 m ² y un tiempo de retención de 13.97 horas	
Sedimentador inclinado por gravedad (Cleveland State University)	El material principal de este sedimentador es de placas de policarbonato de 3/8, sus medidas fueron de 59 x 4.5 x 1 cm con un área superficial de 560.5 cm ² , la inclinación del sedimentador es de 55°, el uso de este sedimentador es a nivel laboratorio, sin embargo, se demostró que su escalamiento es factible.	
Sedimentador en torre para el tratamiento de agua potable	Sedimentador con altura de 2 m, diámetro de 20 cm Cuenta con salidas con un diámetro de 1/2 pulgada ubicadas a 25 cm de distancia una con otra, cuenta con anillo de aire, y los elementos se encuentran unidos por medio de bridas y empaque para evitar fugas. El material principal del sedimentador es PPMA [22].	

Con los datos anteriores se hace uso del método QFD para para traducir las necesidades y expectativas de los clientes en características específicas de diseño y producción (Ver anexo 3).

3.2.3 Generar conceptos del producto

Para generar conceptos del sedimentador es necesario definir los componentes, a partir de esto se propusieron diferentes geometrías para cada uno de los componentes. La Tabla 6 muestra las diferentes opciones para cada uno de los componentes necesarios en un sedimentador.

Tabla 6. Opciones para los diferentes componentes del sedimentador (parte 1).

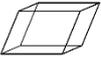
Opción	Forma del tanque	Interior del tanque	Base estructural
1	 Cúbica/Rectangular	 Sin placas interiores	 Sin base estructural
2	 Cilíndrico	 Placas rectas	 Con soporte
3	 paralelogramo	 Placas en V	
4	 Trapezoide	 Tubos	
5	 Trapecio		

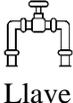
Tabla 7. Opciones para los diferentes componentes del sedimentador (parte 2).

Opción	Descarga de lodos	Entrada del caudal	Salida del caudal
1	 Manual	 Entrada manual	 Salida manual
2	 Llave	 Llave de entrada	 Llave de salida
3	 Tipo tolva		

A continuación, se muestran solo algunas de las combinaciones, estas opciones se generan considerando que cada uno de los elementos contribuya a satisfacer los requerimientos del cliente. Por esta razón, para definir la forma del tanque, se optó por un sedimentador en forma de cubo/rectángulo ya que es fácil de construir y mantener, es eficiente en términos de espacio y se adapta bien a espacios limitados. Sin embargo, una de las principales desventajas son las esquinas, por lo que estas deben ser redondeadas para evitar la acumulación de microalgas. Con la forma de cubo la manufactura resulta menos compleja y costosa en comparación con las demás alternativas. Se decidió la implementación de placas rectas inclinadas, ya que éstas aumentan la eficiencia de sedimentación [23]. Las placas son más fáciles de manufacturar y menos costosas con respecto a otras opciones, además su limpieza es fácil de realizar. Asimismo, se eliminaron todas las combinaciones que no involucran una base estructural, ya que este componente proporciona estabilidad estructural, resistiendo fuerzas externas como el peso del agua y carga de lodos [24]. Finalmente se obtiene la Tabla 8 con las siguientes combinaciones posibles:

Tabla 8. Posibles combinaciones de conceptos para el sedimentador

No. de combinación	Forma del tanque	Interior del tanque	Base estructural	Descarga de lodos	Entrada del caudal	Salida del caudal
1	 Cúbica	 Placas rectas	 Con soporte	 Manual	 Entrada manual	 Salida manual
2	 Cúbica	 Placas rectas	 Con soporte	 Manual	 Entrada manual	 Llave de salida
3	 Cúbica	 Placas rectas	 Con soporte	 Manual	 Llave de entrada	 Salida manual

4	 Cúbica	 Placas rectas	 Con soporte	 Manual	 Llave de entrada	 Llave de salida
5	 Cúbica	 Placas rectas	 Con soporte	 Llave	 Entrada manual	 Salida manual
6	 Cúbica	 Placas rectas	 Con soporte	 Llave	 Entrada manual	 Llave de salida
7	 Cúbica	 Placas rectas	 Con soporte	 Llave	 Llave de entrada	 Salida manual
8	 Cúbica	 Placas rectas	 Con soporte	 Llave	 Llave de entrada	 Llave de salida
9	 Cúbica	 Placas rectas	 Con soporte	 Tipo tolva	 Entrada manual	 Salida manual
10	 Cúbica	 Placas rectas	 Con soporte	 Tipo tolva	 Entrada manual	 Llave de salida
11	 Cúbica	 Placas rectas	 Con soporte	 Tipo tolva	 Llave de entrada	 Salida manual

12	 Cúbica	 Placas rectas	 Con soporte	 Tipo tolva	 Llave de entrada	 Llave de salida
----	---	--	--	---	---	--

3.2.4 Seleccionar concepto del producto

Para la selección del concepto se tomaron las necesidades del cliente utilizadas en el QFD 1, basándose en estos criterios se realizó una tabla para filtrar el concepto de sedimentador, los valores utilizados en esta tabla son -1 el cual indica que es un criterio que no se cumple correctamente, el 0 indica que se está cumpliendo y el valor 1 indica que el criterio se cumple correctamente. La tabla 9 indica los requerimientos obtenidos del método Kano.

Tabla 9. Criterios de selección (requerimientos)

No.	Criterios de selección
1	Que sedimentador sea de tamaño reducido debido a la limitación de espacio disponible.
2	Que durante la puesta en marcha y operación el sedimentador garantice la inocuidad de la biomasa.
3	Que tenga una facilidad de mantenimiento.
4	Que la huella de carbono del sedimentador debe ser mínima.
5	Que el agua utilizada pueda ser reutilizada.
6	Que el tiempo de cosecha sea corto para evitar que la vida de las microalgas se vea afectada.
7	Que en el diseño se considere el escalamiento del sedimentador.
8	Que sea fácil de ensamblar.
9	Que el sedimentador sea capaz de procesar toda la biomasa producida (dependiendo del lote).
10	Que no se haga uso de energía proveniente de fuentes no renovables.
11	Que considere las normativas vigentes y aplicables.

La Tabla 10 muestra la filtración del concepto mediante su ponderación.

Tabla 10. Filtración del concepto

No. de criterio	Concepto											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	-1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1
3	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	1	0	1	-1
4	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	-1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
8	1	1	1	0	1	0	0	-1	1	0	0	-1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peso	2	4	4	2	4	3	3	1	8	5	7	2

Con base en la ponderación anterior, podemos tomar el concepto de diseño 9 que se muestra a continuación:

9	 Cúbica	 Placas rectas	 Con soporte	 Tipo tolva	 Entrada manual	 Salida manual
---	---	--	--	---	---	--

3.3 Diseño en el nivel sistema

3.3.1 Definición de la arquitectura del producto

Basándose en la sección anterior y la definición del concepto del sedimentador en la Figura 14 se muestra una vista preliminar del tanque sedimentador. Es esencial resaltar que esta imagen es solo representativa (adimensional), ya que esta etapa sólo se muestran los elementos clave del sedimentador y estos serán detallados en la siguiente etapa.

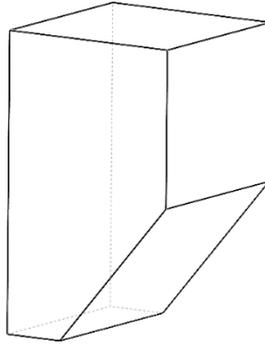


Figura 14. Disposición geométrica aproximada del tanque del sedimentador.

3.3.2 Subsistemas y componentes

El diseño del sedimentador se divide en cinco subensambles, cada uno con sus respectivos componentes, la Figura 15 presenta los componentes correspondientes. Existen elementos funcionales y físicos adicionales que no aparecen en el diagrama, algunos de estos se detallan a medida que el diseño evoluciona.

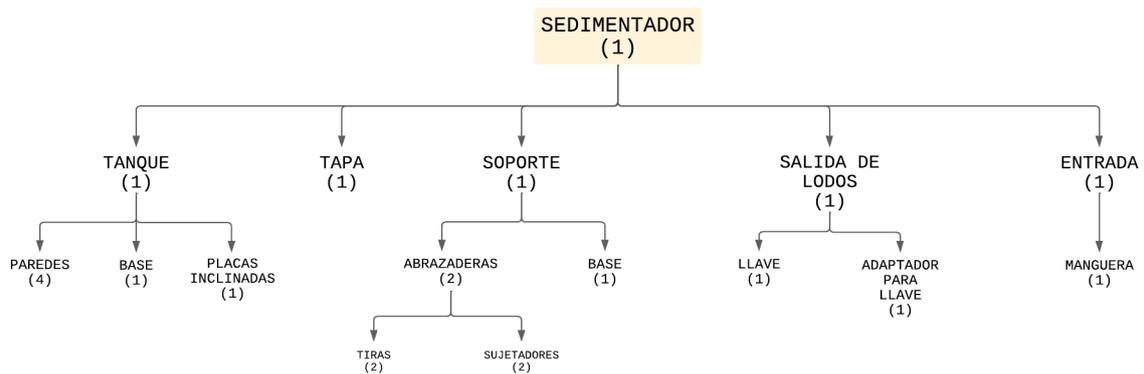


Figura 15. Subsistemas del sedimentador

3.3.3 Funcionamiento de los subsistemas

Para comprender el funcionamiento del sedimentador en la Tabla 11 se describen la función de cada uno de los subsistemas principales.

Tabla 11. Descripción de los subsistemas.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Tanque	El tanque actúa como una zona de retención temporal para el agua. Permiten que las partículas sólidas se depositan en el fondo del tanque formando lodos.
Tapa	Actúa como protección del agua en el sedimentador de contaminantes externos.
Soporte	Proporciona estabilidad estructural al sedimentador, asegura que el sedimentador se mantenga en posición vertical y no se vea afectado por movimientos del suelo como pueden ser vibraciones.
Salida de lodos	Permite la extracción controlada de los lodos acumulados en el fondo del sedimentador. La llave de salida de lodos facilita las operaciones de mantenimiento al permitir el acceso para la limpieza.
Entrada	Responsable de llevar el agua al sedimentador desde la fuente de suministro.

Después de haber identificado los componentes clave necesarios para el sedimentador, se debe comprender como se relacionan entre ellos, así como su relación con las necesidades del cliente. Por lo tanto, se desarrolla el QFD 2 (Anexo 4), con el objetivo asegurar que el producto final cumpla con los requisitos y expectativas del cliente [25], [26].

3.3.4 Diagrama preliminar del flujo del proceso

El diagrama mostrado en la Figura 16 se muestra la secuencia y las interacciones que hacen posible la sedimentación.

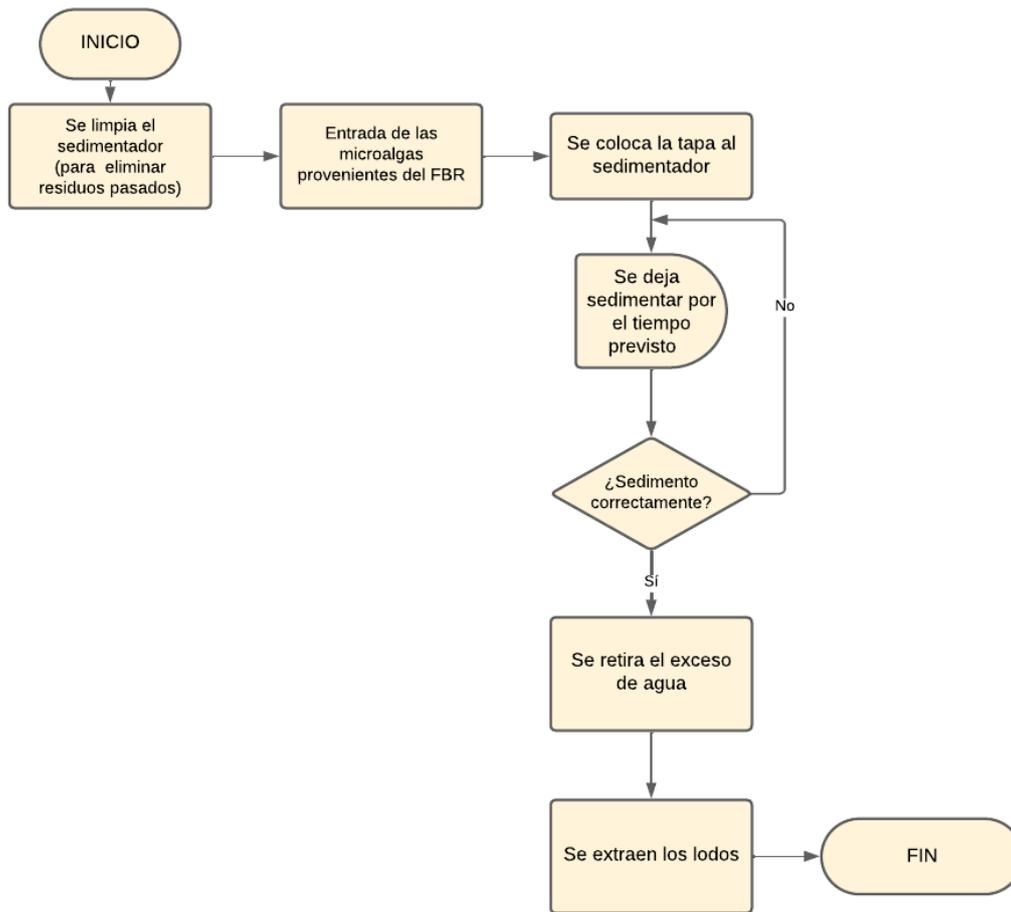


Figura 16. Diagrama de flujo de procesos del sedimentador.

3.4 Diseño a detalle.

3.4.1 Selección de materiales

Para la selección de materiales se consideran las restricciones que se tienen en un inicio además de prestar principal atención en aquellas características que, de acuerdo con el método Kano, están clasificadas como “atractivas”. La Tabla 12 muestran los componentes necesarios para la manufactura del tanque sedimentador.

Tabla 12. Descripción de materiales y componentes del tanque del sedimentador.

DESCRIPCIÓN	MATERIAL
<p>El material principal de las paredes del sedimentador será de acrílico, esto debido a las restricciones del proyecto mencionadas en un principio.</p> <p>Componentes: paredes del sedimentador, placas inclinadas, tapa</p>	 <p>PMMA</p>

<p>Componentes: Entrada del caudal al sedimentador</p>	 <p>Manguera</p>
<p>Las válvulas de esfera de PVC ofrecen ser de fácil mantenimiento. En caso de desgaste o necesidad de reparación, pueden reemplazarse sin desmontar todo el sistema de tuberías, permitiendo un acceso sencillo a las partes internas [27].</p> <p>Componentes: Llave de salida del caudal.</p>	 <p>Válvula de esfera de PVC</p>
<p>Componentes: Llave de salida del caudal</p>	 <p>Adaptador macho para PVC</p>
<p>La principal función de este componente es evitar fugas del líquido.</p> <p>Componentes: Llave de salida del caudal</p>	 <p>Juntas tóricas</p>

3.4.2 Definir geometría

Para iniciar la definición de la geometría es necesario conocer parámetros clave para el dimensionamiento de este, basándose en lo anterior se tiene que realizar diferentes experimentos con el objetivo de obtener tales valores.

Conteo celular (cámara de Neubauer)

El primer parámetro indispensable es conocer la concentración con la que se realizan los experimentos de velocidad de sedimentación. A continuación, se describe el procedimiento realizado para llevar a cabo el conteo celular en la cámara de Neubauer.

1. Se limpia la cámara de Neubauer y el cubreobjetos con un poco de alcohol.

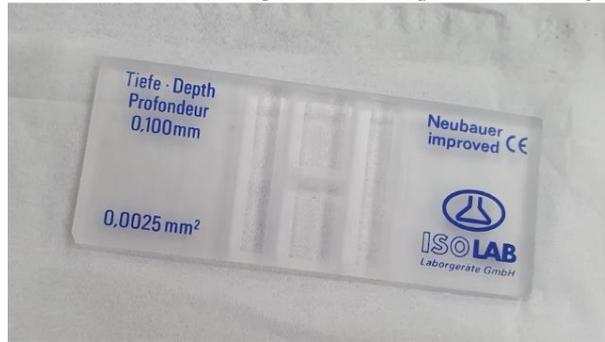


Figura 17. Cámara de Neubauer.

2. Se tomaron 20 μL de la muestra con ayuda de una micropipeta y se introducen dentro de la cámara de Neubauer (Figura 18)

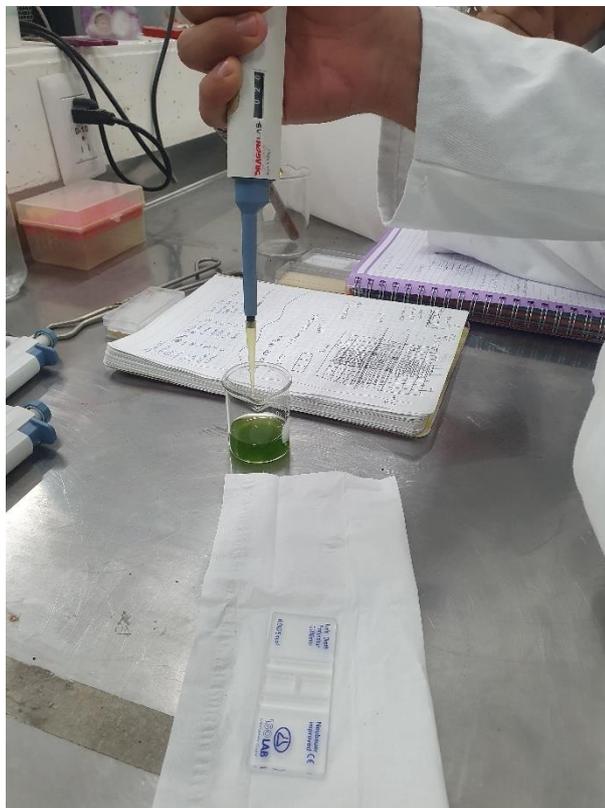


Figura 18. Introducción de la muestra a la cámara.

3. Se lleva la cámara de Neubauer al microscopio, el cual se calibra, se busca que las células se vean y se localiza el primer cuadro para realizar el conteo (Figura 19)

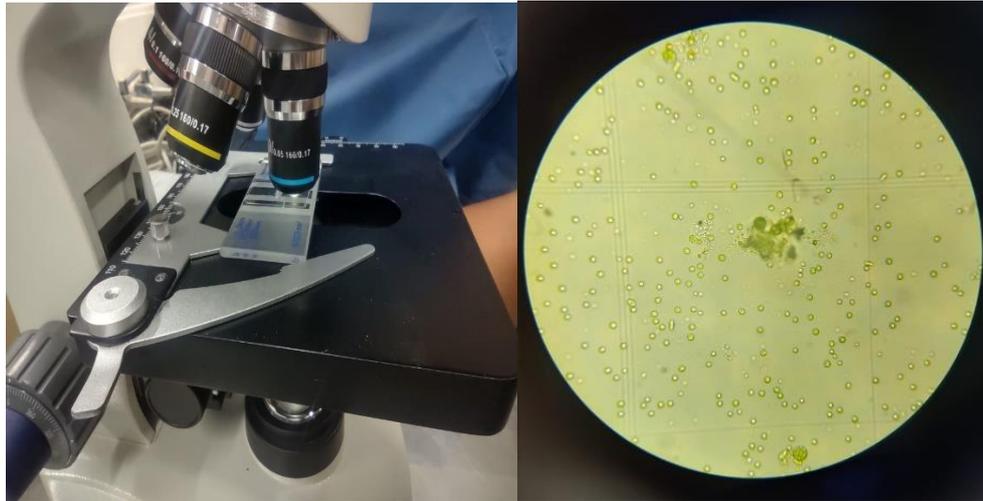


Figura 19. Conteo de células.

El conteo se realiza con el orden que se muestra en la Figura 20.

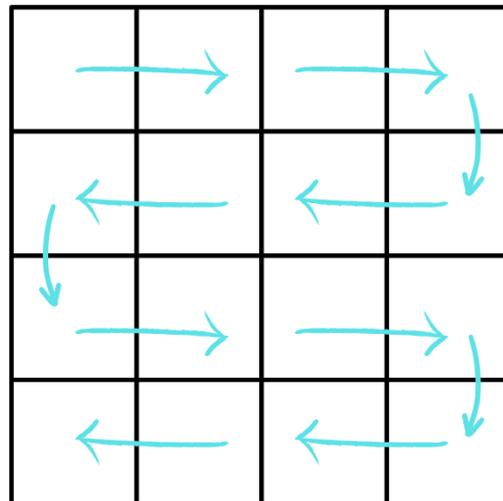


Figura 20. Ruta de conteo.

Los resultados del conteo en la cámara Neubauer se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Conteo de células de la muestra de microalgas.

No. de cuadrante	Cuadro 1	Cuadro 2
1	117	66
2	104	129
3	94	120
4	103	107
5	94	111
6	101	113
7	105	117
8	98	137
9	87	99
10	138	85
11	106	93
12	100	103
13	111	92
14	86	121
15	110	104
16	112	123
Sumatoria	1666	1720

Para realizar el cálculo de concentración de células se utiliza la Ec. 3

$$\text{Concentración (Células/mL)} = \frac{\# \text{ Células} \times 10\,000}{\# \text{ cuadros contabilizados}} * FD \quad (3)$$

Sustituyendo los datos

$$\text{Concentración (Células/mL)} = \frac{(1666 + 1720) \times 10\,000}{2} * (1) = 16930000 = 1.693 \times 10^7$$

Por lo tanto, la concentración con la que se realizaron los experimentos para determinar la velocidad de sedimentación de las microalgas es 1.69×10^7 células/ml.

Velocidad de sedimentación

Para dimensionar el sedimentador, se requiere determinar la velocidad de sedimentación, este valor puede ser calculado con ayuda de la Ec. 4.

$$v_s = \frac{d}{t} = \frac{H}{t} \quad (4)$$

Donde d es la altura del sedimentador, v_s es la velocidad de sedimentación [12].

Experimento 1: Células más rápidas.

Para determinar la velocidad de sedimentación se hicieron 5 concentraciones diferentes de microalgas. En la Figura 21 se muestran los tubos de ensayo con cada una de las diluciones, la primera concentración fue con 1.69×10^7 células/ml (a la que se llamará concentración base), para la segunda dilución se colocaron 4 ml de la concentración base y 1 ml de agua. La tercera dilución consistió en 3 ml de concentración base con 2 ml de agua, la cuarta dilución se compuso de 2 ml de concentración base con 3 de agua y finalmente la quinta dilución fueron 1 ml de concentración base con 4 ml de agua.

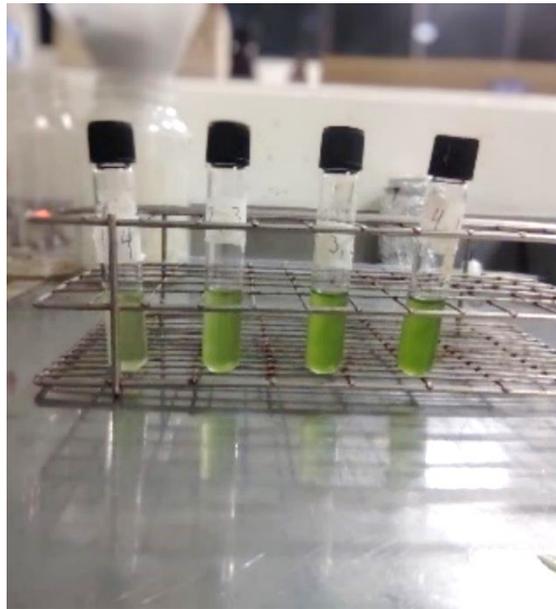


Figura 21. Muestras a diferentes concentraciones.

Continuando con el procedimiento se tomó 1 ml de la primera dilución y se hizo pasar por una pipeta llena de agua, asimismo se registró el tiempo que toma en recorrer cierta distancia con ayuda de un cronómetro. La Figura 22 muestra el descenso de la muestra a través de la pipeta.

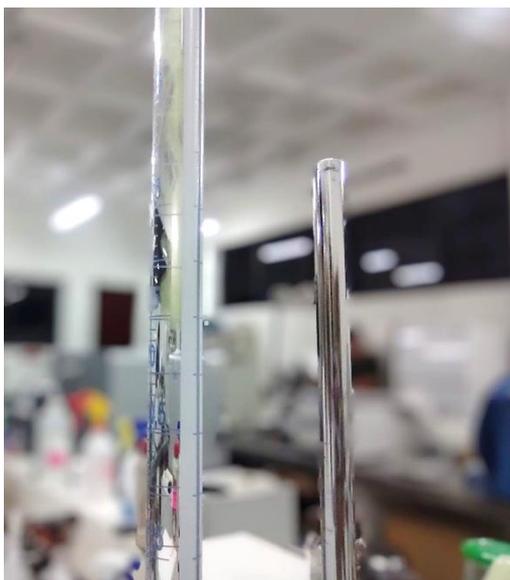


Figura 22. Recorrido de la muestra dentro de la pipeta.

Este procedimiento se realizó con cada una de las diluciones (ver Anexo 6) finalmente se obtuvo una velocidad de 0.099 cm/s. Sin embargo, al realizar esta actividad, se observó que no todas las microalgas tienen la misma velocidad y que muchas quedaban suspendidas en el agua, este fue el precedente por el cual se realizó el segundo experimento.

Experimento2: Células más lentas.

Para determinar la velocidad de sedimentación de las células que quedaban suspendidas en el agua (las más lentas), en una probeta se colocó la muestra con la concentración de 1.69×10^7 células/ml, y en otra probeta se diluyó la muestra. La Figura 23 muestra la sedimentación de la muestra de microalgas sin diluir (a concentración base).



Figura 23. Muestra con una concentración de 1.693×10^7 células/ml

La dilución de la muestra se realizó con 200 ml de la muestra de microalgas a concentración base y 800 ml de agua. En la Figura 24 se observa la muestra diluida colocada en una probeta de 1 L.

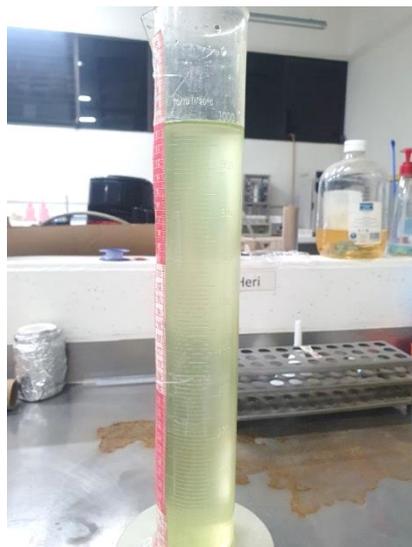


Figura 24. Muestra diluida

Se tomaron los tiempos (ver Anexo 7) y se anotó la altura de descenso, de esta forma se obtuvo la velocidad de sedimentación la cual tiene un valor de 0.4011 cm/hora. Esta será la velocidad utilizada para los demás cálculos debido a que asegura una mayor recolección de microalgas, ya que si se consideran solo a las más rápidas la eficiencia será mínima debido a que muchas células quedarían suspendidas en el agua. La velocidad obtenida (0.4011 cm/hora) se considera correcta ya que la velocidad aproximada de microalgas *Chlorella* sp. (especie con la que se experimentó) se encuentra entre 0.1-2.6 cm/h [24].

Con esta velocidad de sedimentación se podría pensar en hacer uso de floculantes, sin embargo, el uso de estos puede no ser la mejor opción, pese a lograr que el proceso de sedimentación sea más rápido, el uso de floculantes trae consigo diversas desventajas las cuales se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Desventajas del uso de floculantes.

Floculante	Desventajas
Quitosano	<ul style="list-style-type: none"> • Costo relativamente alto. • Puede no ser tan efectivo en condiciones de alta turbidez o con ciertos tipos de microalgas.
Zetag 63 y Zetag 92	<ul style="list-style-type: none"> • Posible toxicidad para las microalgas. • Formación de residuos y subproductos no deseados.
Sulfato de aluminio (Al ₂ (SO ₄) ₃)	<ul style="list-style-type: none"> • Puede contribuir a la acidificación del agua si se usa en exceso. • Posible toxicidad para los organismos.
NaOH con Magnafloc (polielectrolito)	<ul style="list-style-type: none"> • El hidróxido de sodio puede elevar el pH del agua si se utiliza en exceso. • Posible toxicidad para las microalgas y otros organismos acuáticos.
Harina de semillas de Moringa oleífera	<ul style="list-style-type: none"> • Efectividad limitada en ciertas condiciones de agua. • Variedad en la calidad y la composición de la harina de moringa.

Fuente: Modificado [28], [29].

Considerando las especificaciones del cliente se rechaza el uso de floculantes, debido a que la biomasa obtenida podría estar contaminada, su aplicación se limitaría a ciertos productos y los costos se elevan al hacer uso de floculantes. Además, el agua desechada, puede afectar al medio ambiente y su reutilización no es viable.

Dimensionamiento

Para el dimensionamiento del sedimentador, la Ley de Stokes es crucial para comprender cómo las partículas se sedimentan en un fluido. Para este proyecto, aunque no se utiliza explícitamente, se miden los tiempos de sedimentación de las microalgas. Estos tiempos se relacionan con la velocidad de sedimentación, que se encuentra influenciada por factores como el tamaño de las partículas y la viscosidad del medio. Aunque la ecuación de velocidad promedio utilizada no considera todos los factores de la Ley de Stokes, proporciona una medida general de la velocidad de sedimentación observada en los

experimentos. Para realizar el diseño del sedimentador se hará uso de la Ec. 4 , donde t es el tiempo de retención en el sedimentador, por lo tanto, despejando el tiempo se obtiene la Ec. 5

$$t = \frac{H}{v_s} \quad (5)$$

La altura (H), para el diseño del sedimentador, se ve delimitada por la maquinaria disponible, en este caso se utilizará la dobladora de acrílico que se encuentra en el taller de plástico, esta dobladora es capaz de doblar láminas con una altura máxima de 55 cm, sin embargo, es importante considerar una distancia de holgura, para evitar derrames. En este caso la holgura considerada es de 10 cm. Por lo tanto, al utilizar la Ec.5 se obtiene la Tabla 15.

Tabla 15. Tiempo estimado de retención

Distancia (cm)	Tiempo (horas)	Tiempo (días)
45	112.1915	4.6746
40	99.7258	4.1552
35	87.2600	3.6358
30	74.7943	3.1164
25	62.3286	2.5970
20	49.8629	2.0776
15	37.3972	1.5582
10	24.9314	1.0388
5	12.4657	0.5194

La elección de la altura del sedimentador se fundamenta no solo en consideraciones técnicas, sino también en las necesidades del equipo de trabajo conformado por los profesores involucrados en el proyecto y estudiantes. Para reducir en lo posible el uso de recursos humanos, se decide que el sedimentador se debe dejar instalado y trabajando por todo un día o incluso dos o tres días completos, garantizando así la participación y supervisión adecuadas, dicho lo anterior las alturas consideradas para el sedimentador son 10, 20, 30 y 40 cm.

Otro punto crucial para tener en cuenta es el volumen del sedimentador. Como restricción, se establece que debe ser capaz de sedimentar 100 litros, así como 10 litros. Por lo tanto, al realizar la elección de la altura, es esencial considerar esta variabilidad en el volumen para asegurar que el sedimentador cumpla con los requisitos establecidos.

En la Tabla de 16 se muestra el área mínima necesaria en el sedimentador basándose en las alturas anteriormente consideradas.

Tabla 16. Área del sedimentador basándose en el volumen y altura del sedimentador.

Volumen		área (m ²)			
		alturas (m)			
Litros	m ³	0.10	0.20	0.30	0.40
100	0.100	1.000	0.500	0.333	0.250
75	0.075	0.750	0.375	0.250	0.188
50	0.050	0.500	0.250	0.167	0.125
40	0.040	0.400	0.200	0.133	0.100
30	0.030	0.300	0.150	0.100	0.075
25	0.025	0.250	0.125	0.083	0.063
20	0.020	0.200	0.100	0.067	0.050
15	0.015	0.150	0.075	0.050	0.038
10	0.010	0.100	0.050	0.033	0.025

El volumen considerado para el sedimentador es de 30 litros ya que este volumen permite una facilidad de movimiento. Un sedimentador con un volumen de 30 litros será más ligero y fácil de mover en comparación con uno más grande, lo cual es beneficioso si hay necesidad de trasladar el sedimentador a diferentes ubicaciones o si se requiere manipularlo con frecuencia (facilitando el manejo del sedimentador durante tareas como limpieza, mantenimiento o ajuste). Este volumen solo es una aproximación, el volumen real será calculado más adelante, con la forma real del sedimentador el cual será menor.

Para la altura del sedimentador se optó por 30 cm basándose en que una altura menor a esta tiene un riesgo de que el agua se desborde durante su manipulación, lo cual es crucial para mantener la integridad del proceso y evitar posibles problemas ambientales y una altura mayor a esta involucra un tiempo de retención en el tanque mayor a tres días, lo cual queda fuera de las especificaciones mencionadas en el QFD 1 (Anexo 3).

Considerando la altura de 30 cm se calcula el área de la base con la ecuación:

$$V = A * H \tag{6}$$

El área que se tiene para este sedimentador es de 0.100 m², esta área es la mínima necesaria para que el sedimentador tenga un tiempo de retención de 3 días. Existen diferentes combinaciones para esta área las cuales se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Posibles dimensiones del sedimentador.

Largo (m)	Ancho (m)	Área m ²
0.500	0.200	0.1000
0.330	0.300	0.0990
0.400	0.250	0.1000
0.550	0.171	0.0941
0.800	0.125	0.1000

Así se elige un largo de 40 cm * 25 cm.

Resumiendo lo anterior se tiene que, el sedimentador tiene dimensiones de altura total 40 cm, considerando los 10 cm de holgura, tendrá un ancho de 25 cm y un largo de 40 cm para así tener un área mínima de 0.100 m², el cual será capaz de sedimentar como máximo 30 litros de volumen.

3.4.3 Planeación del proceso

A continuación, se muestra el diagrama de operaciones necesarias para manufacturar el sedimentador. La figura 25 describe el proceso de manufactura del tanque del sedimentador y los componentes necesarios.

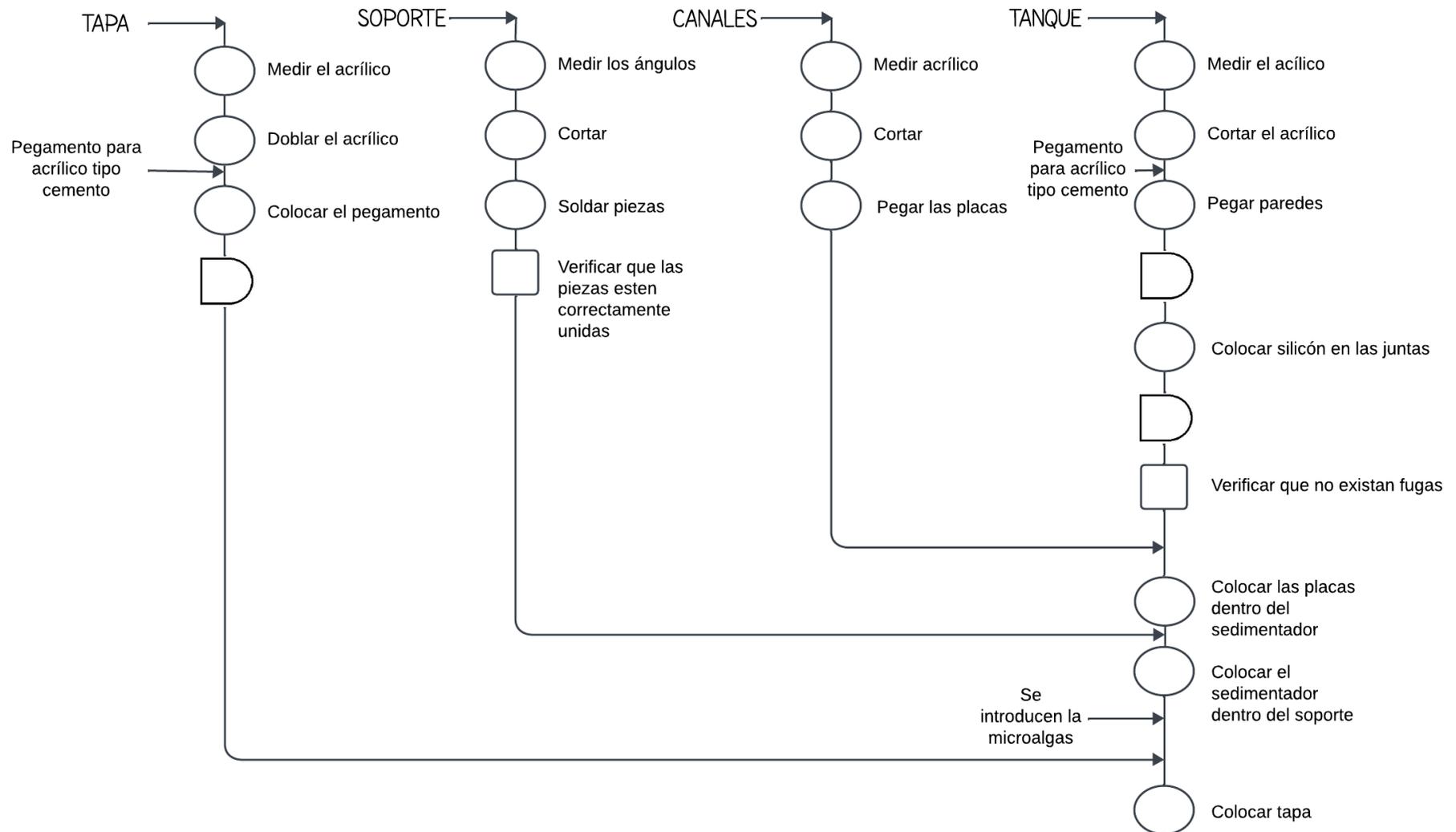


Figura 25. Diagrama de operaciones de proceso.

3.4.4 Análisis de Modo y Efecto del Fallo

En el AMEF desarrollado se observan los principales efectos potenciales con un mayor NPR (Número prioritario de riesgo), el cual se calcula como el producto de la severidad, la ocurrencia y la detección [30]. Estos NPR principales corresponden a la reducción en la capacidad del sedimentador, seguido de esto la contaminación de la biomasa, lo cual hace que el proceso sea más lento y finalmente las pérdidas del producto (biomasa). Estos efectos tienen en común la causa de una incorrecta unión de las paredes en el tanque del sedimentador. Así que, si se da solución a esta causa haciendo una correcta unión de paredes, se disminuye los valores de NPR, es decir que el efecto se disminuye.

En la Figura 26 se presenta el desarrollo del AMEF, para evaluar los valores de severidad, ocurrencia y detección se hicieron uso de tablas estandarizadas (ver Anexo 8).

Análisis de Modo y Efecto de la Falla

Nombre de Proceso o Producto:	Diseño y manufactura de un sedimentador para la cosecha de microalgas
Cliente:	CA-UTMIX-37

Preparado por:	LSM	Página: 1 de 1
FMEA Fecha (Orig):	feb-24	Rev.

Pasos Clave del Proceso	Modos de Falla Potenciales	Efectos de fallas potenciales	S E V	Causas Potenciales	O C U	Controles de Ocurrencia	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Resp.	Acciones Implementadas	S E V	O C U	D E T	N P R
¿Cuál es el paso del proceso?	¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso?	¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo (cliente o requerimientos internos)?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Qué causa que el paso clave falle?	¿Que tan seguido ocurre la causa o Modo de Fallo?	¿Cuáles son los controles existentes y procedimientos preventivos de Causa o Modo de Falla?	¿Qué también pueden detectar la Causa o Modo de Falla?		¿Cuáles son las acciones para reducir la Ocurrencia de la Causa o mejorar la Detección?	¿Quién es responsable de las acciones recomendadas?	Anotar las acciones implementadas. Incluye fecha de completación.				
Ingreso de la suspensión	Obstrucciones en la entrada del sedimentador	Tiempos de inactividad mientras se resuelve la obstrucción	2	Entrada estrecha	1	Ninguno	1	2	Seleccionar una manguera de adecuado tamaño	UTMIX-CA-37	Implementada	1	1	1	1
				Falta de mantenimiento	4	Visual	3	24	Después de la entrada se debe limpiar haciendo pasar por esta agua limpia		Implementada	1	2	2	4
Sedimentación	Sedimentación lenta	Baja productividad del sedimentador	6	Contaminación de la biomasa	3	Ninguno	4	72	Mantener la tapa del sedimentador sobre este.		Implementada	4	3	4	48
	Re-suspensión de partículas	Reducción de la eficiencia de sedimentación	5	Movimientos en el sedimentador	2	Ninguno	1	10	Colocar espuma de poliestireno, debido a que puede absorber ciertas vibraciones.		Implementada	3	2	2	12
Acumulación de lodos	Obstrucción de la llave de lodos	Dificultad para extraer los lodos.	3	Acumulación excesiva de lodos	6	Visual	3	54	Limpieza periódica de la llave y eliminación de los lodos acumulados.		Implementada	3	5	3	45
				Compactación excesiva de los lodos en el fondo del sedimentador	4	Visual	2	24							0
Recolección de biomasa	Fugas o pérdidas de Producto	Corrosión u otros daños en el equipo y la infraestructura	6	El sistema no está herméticamente sellado	3	Ninguno	3	54	Coloca el adhesivo adecuado		Implementada	5	4	3	60
		Pérdidas de producto	7	Unión de las paredes incorrecto	3	Visual	3	63	Lijar las paredes para evitar que las uniones no se hagan correctamente		Implementada	5	3	3	45
Resistencia a la presión	Fractura de las paredes	Fugas de líquido	4	No se tienen soportes adecuados	2	Visual	3	24	Simular esfuerzos y colocar refuerzos donde sea necesario		Implementada	3	2	3	18
		Reducción de la capacidad de retención	5	Pegamento aplicado incorrectamente	4	Visual	5	100	Limpiar las superficies de aplicación del pegamento.		Implementada	5	4	4	80

Figura 26. AMEF de diseño

Simulación

Se realizó la simulación de la presión hidrostática a la que se encuentran sujetas las placas de acrílico utilizado “Simulation”, complemento de SolidWorks® 2021 versión estudiante. Las condiciones ingresadas al software son las siguientes:

- El material seleccionado es plástico “PMMA”.
- Se crearon sujeciones fijas en los extremos inferiores del sedimentador.
- Se utilizó el nivel de malla predeterminado.
- Se creó un en un sistema de referencia en X, -Y, Z variando la carga en el eje y, utilizando un análisis de presión con distribución no uniforme con la ecuación $y = 0 x + 1 y + 0 z$.

En la Figura 27 se muestran los resultados de las tensiones (Von Mises)

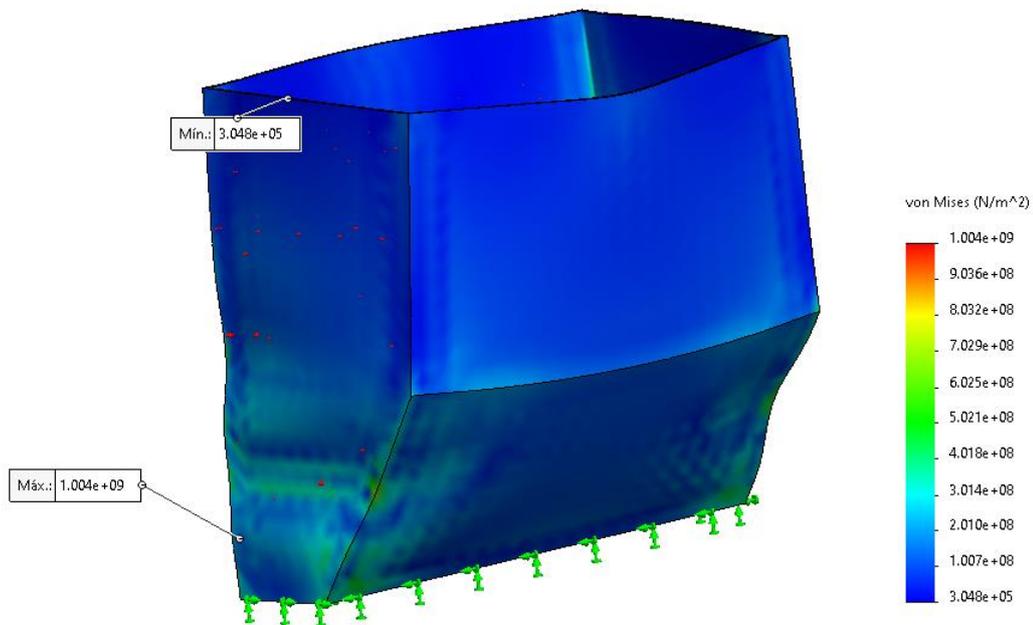


Figura 27. Resultados de Von Mises

Como se puede observar en la figura anterior las tensiones se encuentran en el fondo del sedimentador, es ahí donde se concentran las fuerzas y se debe prestar principal atención.

Asimismo, en el análisis se muestran los resultados de los desplazamientos, mostrando que el máximo desplazamiento tiene un valor de 24.3 cm (Véase figura 28). En estos desplazamientos se debe colocar refuerzos para evitar el desplazamiento o en todo caso disminuirlo.

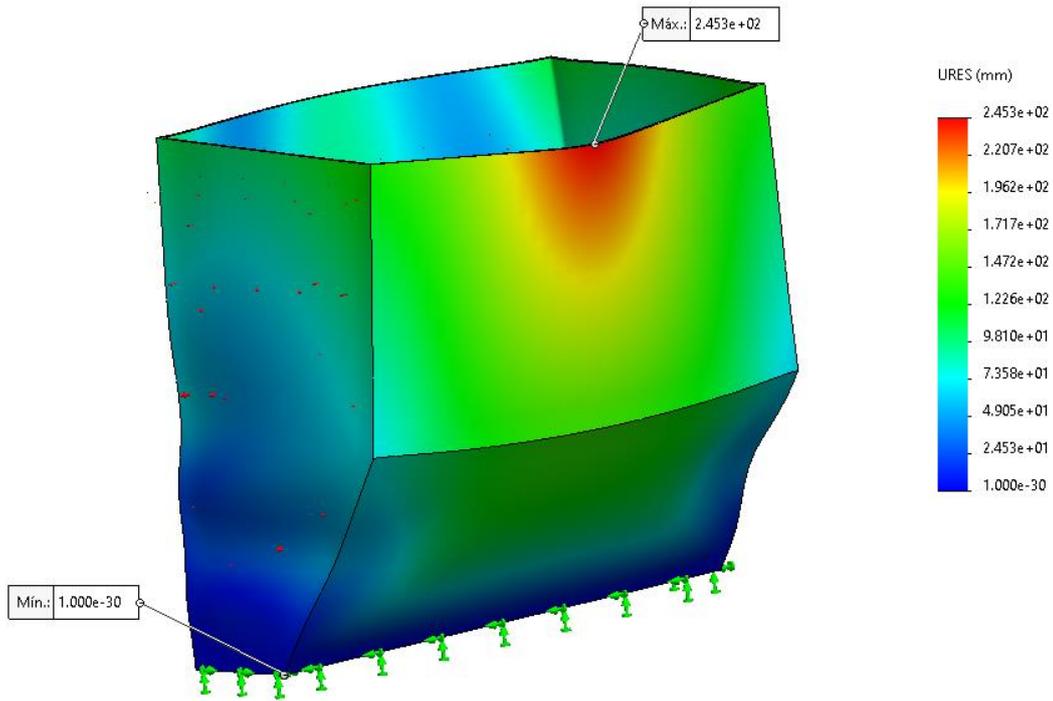
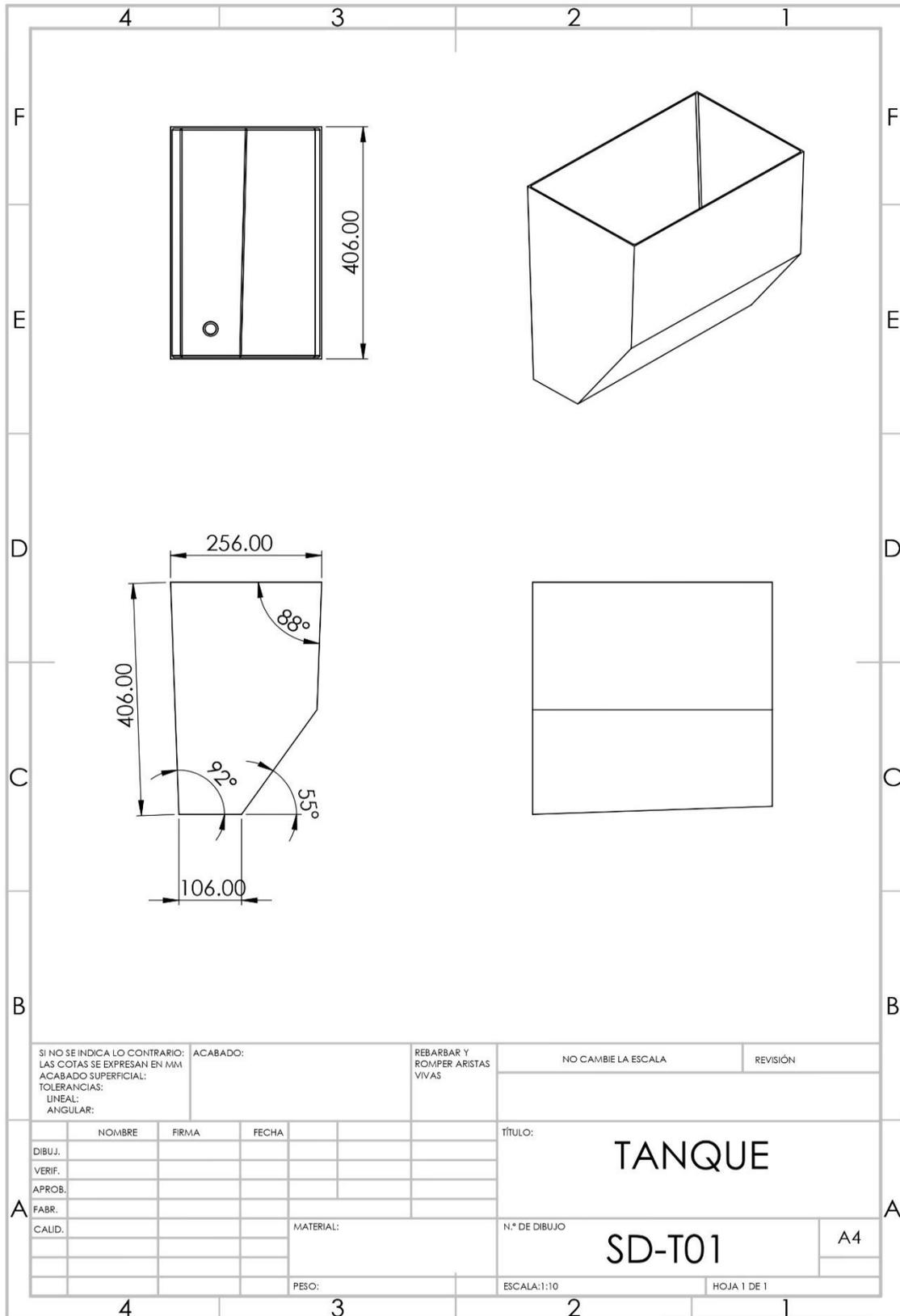
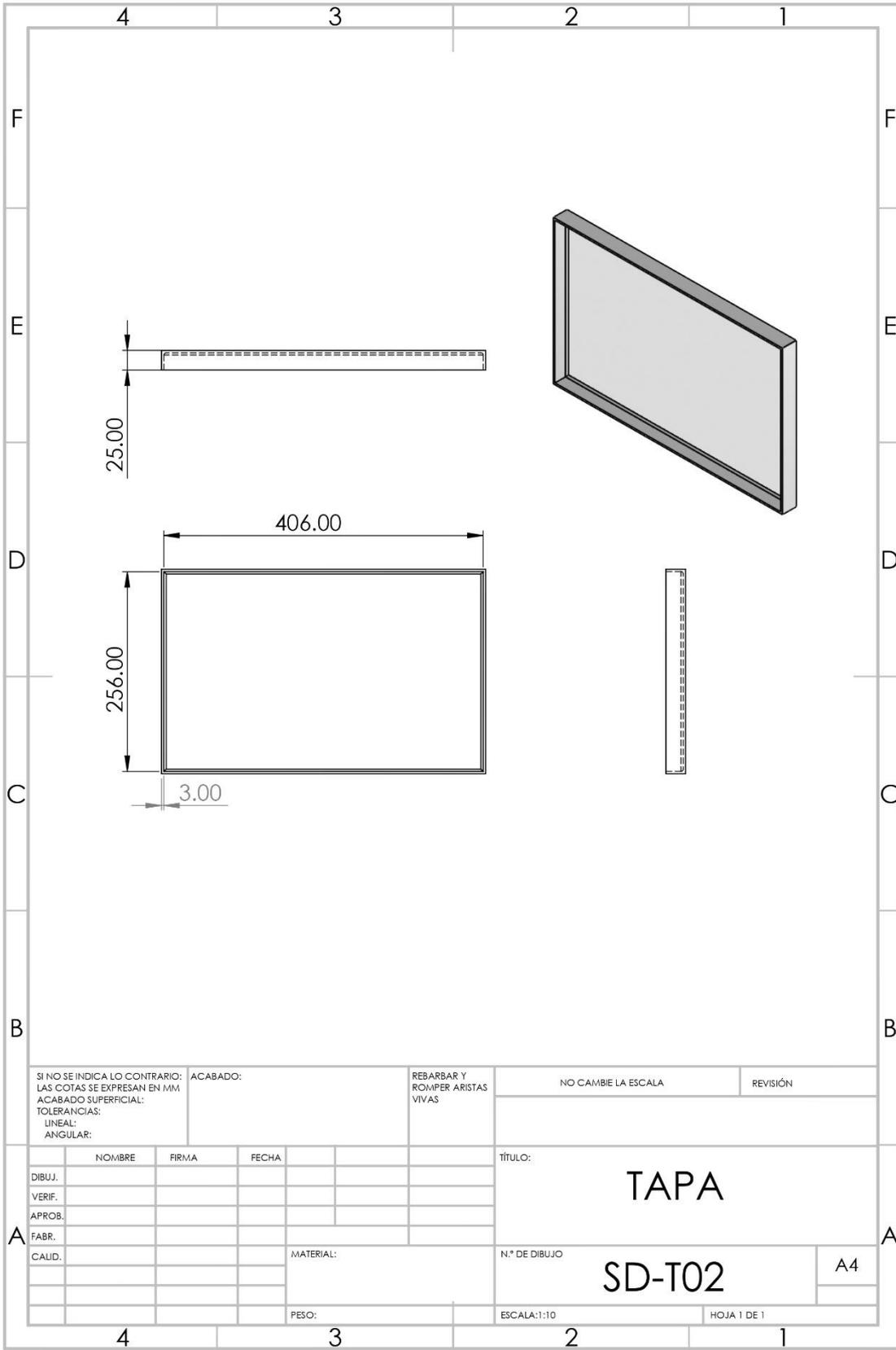


Figura 28. Resultados de desplazamientos

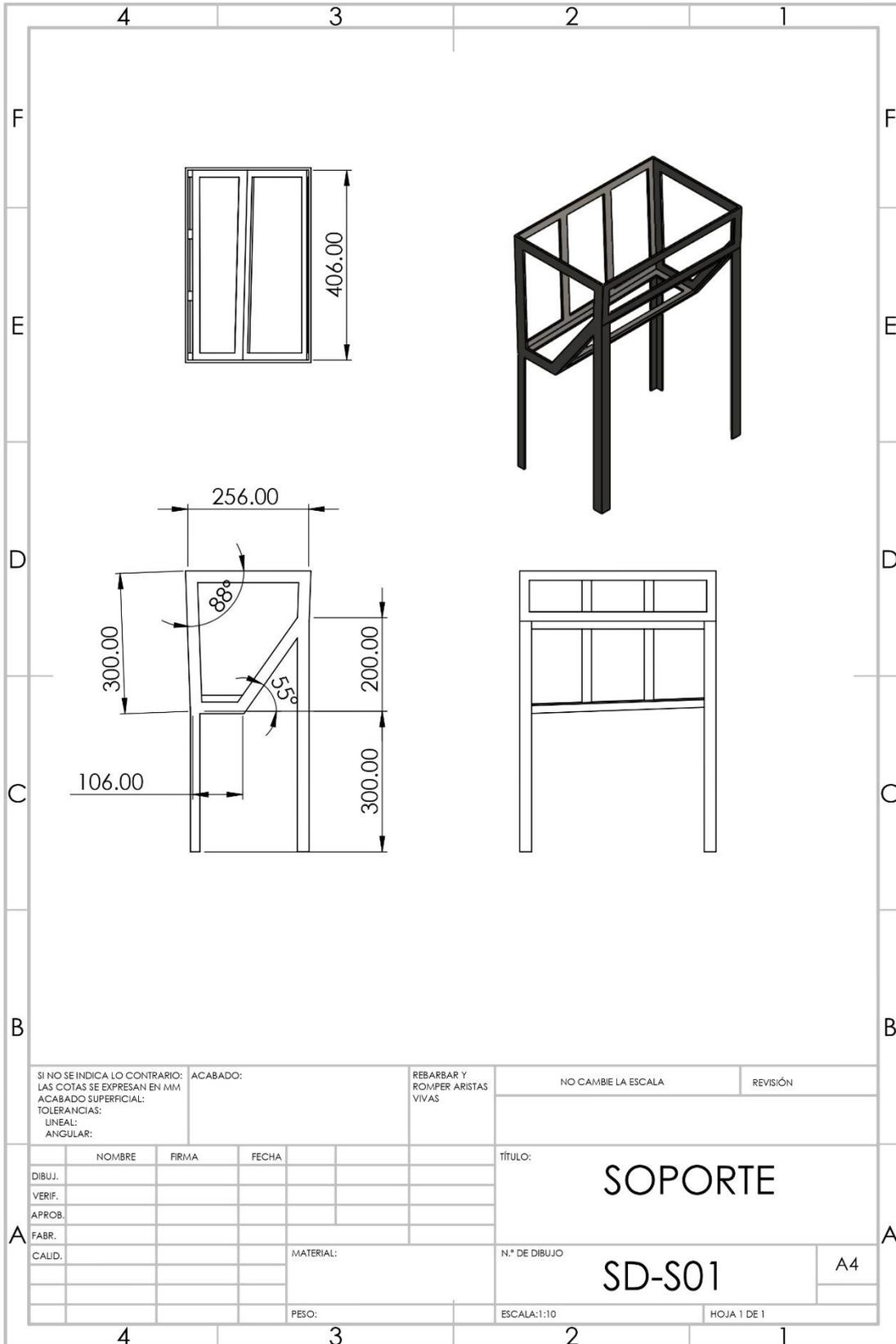
3.4.5 Planos

En la siguiente sección se muestran los planos obtenidos (con SolidWorks® 2021 versión estudiante) de cada componente del sedimentador, asimismo se muestra el ensamble final y el explosionado de este mismo, con las dimensiones finales del diseño.





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: TAPA	
DIBUJ.				N.º DE DIBUJO SD-T02	
VERIF.				A4	
APROB.				ESCALA:1:10	
FABR.			MATERIAL:	HOJA 1 DE 1	
CAUID.			PESO:		



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: SOPORTE	
VERIF.				N.º DE DIBUJO SD-S01	
APROB.				A4	
FABR.				MATERIAL:	
CALID.				PESO:	
				ESCALA:1:10	HOJA 1 DE 1

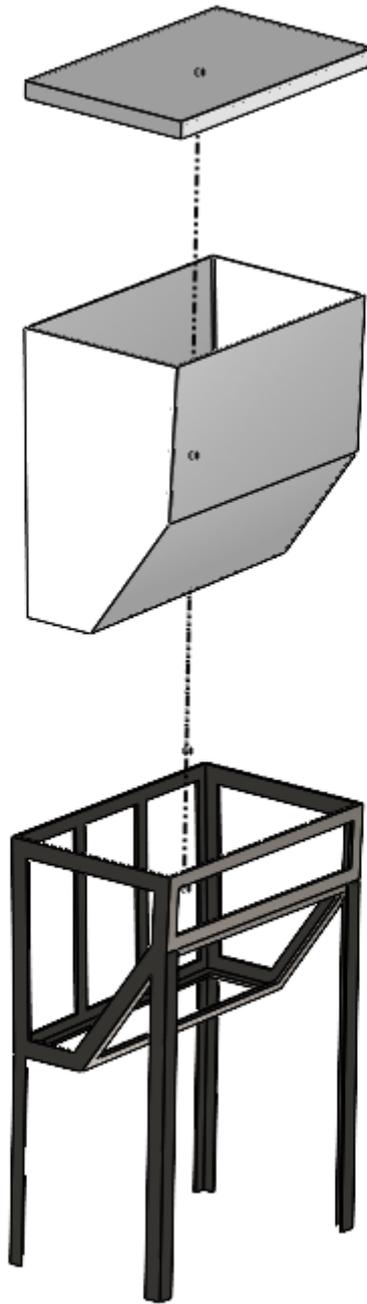


Figura 29. Vista explosionada del sedimentador.

En este punto del proyecto, es importante garantizar que el sedimentador se manufacture con calidad, es decir, cumpliendo los requerimientos del cliente. Por lo tanto, se desarrolla el QFD 3 (Anexo 9) con el objetivo de identificar áreas de mejora, tomar decisiones informadas del proceso y poder hacer correcciones rápidas, siempre enfocándose en garantizar la calidad del producto [25], [26].

3.5 Pruebas y refinamiento.

3.5.1 Manufactura del prototipo.

Se manufacturó el sedimentador utilizando placas de acrílico, conforme a los resultados del AMEF se decidió manufacturar en una sola pieza el sedimentador (paredes laterales y base) con el objetivo de evitar fugas y facilitar la manufactura. Por tanto, se cortó una tira y se dobló para formar las paredes laterales y base. Luego, con pegamento para acrílico se colocaron las paredes faltantes. El soporte se construyó cortando y soldando las partes correspondientes y finalmente se aplicó un recubrimiento (para mayores detalles los procedimientos se encuentran descritos en el Anexo 10), el ensamble final del sedimentador se muestra en la Figura 30.



Figura 30. Ensamble final.

3.5.2 Pruebas de desempeño general.

Se realizaron pruebas de resistencia hidrostática y fugas al sedimentador construido con PMMA de 3 mm. Además de observar la estabilidad del soporte con el tanque lleno de agua. Para lo anteriormente mencionado se llenó el sedimentador de agua hasta la altura contemplada, se observó por 12 horas. Durante estas horas en los primeros minutos se detectó un goteo en la llave de salida, por lo cual solo se apretó correctamente y el goteo se detuvo, posterior a este goteo no se identificó fuga alguna o fractura en el sedimentador. La figura 31 muestra el tanque del sedimentador con agua para identificar posibles fugas.



Figura 31. Pruebas de fugas y estabilidad.

4 CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y EVALUACIÓN

4.1 Recolección de datos

Para realizar la recolección de datos se puso en marcha el sedimentador, colocando un cultivo de microalgas dentro de este. Una vez colocadas, se monitorearon observando la altura de los lodos dentro del sedimentador. Para este primer lote se colocó una muestra de 10 litros provenientes del FBR. El sedimentador es capaz de sedimentar hasta 21 litros. La Figura 32 muestra la introducción del primer lote en el sedimentador.

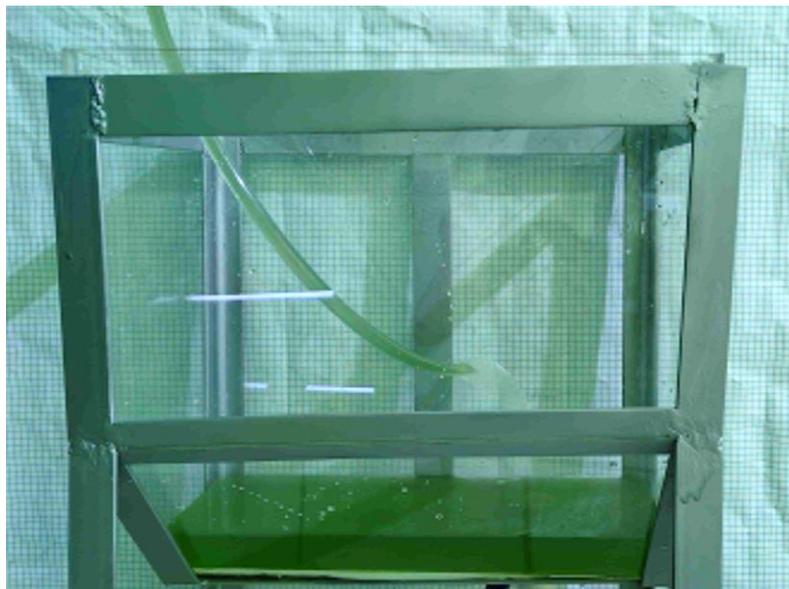


Figura 32. Puesta en marcha del primer lote en el sedimentador.

4.2 Análisis de los datos

Durante la puesta en marcha del sedimentador se observó que en las primeras dos horas las microalgas se acumularon en la pared con inclinación de 55° , este fenómeno ocurrió a lo largo de la sedimentación, cuando se llegaban a acumular en cierta cantidad, descendieron por su propio peso. En la Figura 33 se muestra la acumulación de microalgas en la pared inclinada.



Figura 33. Descenso de microalgas.

Para realizar los análisis se extrajeron los lodos del sedimentador, para ello con ayuda de la llave inferior se extrajo toda el agua, dejando los lodos dentro del sedimentador y una cantidad mínima de agua, en la Figura 34 se muestra cómo se realizó esta separación.



Figura 34. Separación de los lodos sedimentados y el agua residual.

4.2.1 Conteo con la cámara de Neubauer.

Para la obtención de resultados se usaron dos muestras, la primera correspondía a la concentración previa a ser ingresada al sedimentador y la segunda muestra utilizada fue hecha posterior al tiempo de retención con la concentración sedimentada. En la figura 35 se muestran ambas muestras de microalgas y en la Tabla 18 los resultados del conteo de la concentración inicial.



Figura 35. Muestra inicial y muestra de microalgas sedimentadas.

Tabla 18. Concentración inicial

No. de cuadrante	Cuadro 1	Cuadro 2	Cuadro 3	Cuadro 4
1	18	5	9	5
2	6	8	9	3
3	10	16	23	4
4	8	7	3	7
5	10	9	3	8
6	4	12	7	4
7	5	9	17	5
8	26	14	1	8
9	3	14	9	8
10	12	6	7	10
11	8	6	12	7
12	6	12	27	5
13	9	5	24	9
14	5	9	4	10
15	2	5	15	3
16	3	17	8	5
Sumatoria	135	154	178	101

Una vez obtenido los resultados anteriores se hace uso de la Ec. 3, y sustituyendo los datos se tiene:

$$\text{Concentración (Células/mL)} = \frac{(135 + 154 + 178 + 101) \times 10\,000}{4} * (1) = 1.42 \times 10^6$$

Por lo tanto, la concentración de las microalgas ingresadas al sedimentador tiene una concentración de 1.42×10^6 células/ml. En la figura 36 se muestra la vista de la concentración a través del microscopio y la cámara de Neubauer.

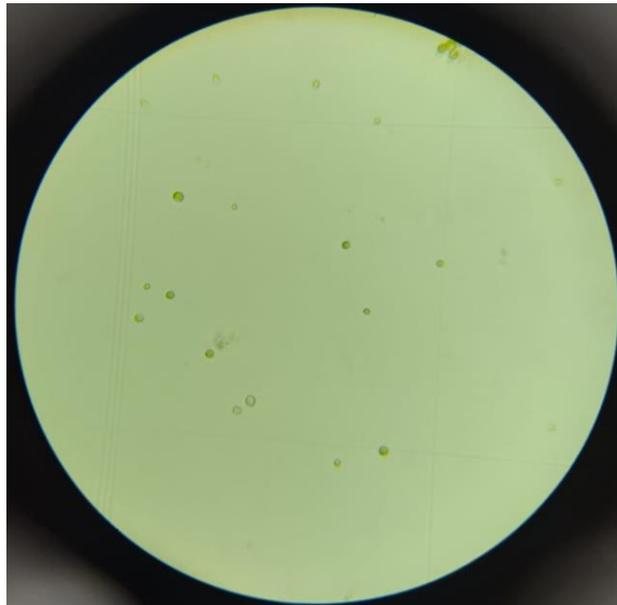


Figura 36. Vista de la cámara de Neubauer concentración inicial.

Posterior al tiempo de retención determinado, se realizó nuevamente el conteo. Sin embargo, para realizar el conteo se realizó una dilución 1:1 es decir, que se colocó 1 ml de la concentración de microalgas sedimentadas y 1 ml de agua, para finalmente realizar el conteo los cuales se muestran en la Tabla 19.

Tabla 18. Concentración Final.

No. de cuadrante	Cuadro 1	Cuadro 2	Cuadro 3	Cuadro 4
1	34	32	21	19
2	31	23	40	24
3	31	57	32	27
4	47	37	30	36
5	37	37	27	43
6	30	42	38	40

7	46	26	28	37
8	27	35	25	21
9	37	21	24	35
10	48	48	22	18
11	42	26	31	26
12	43	18	35	24
13	8	47	37	34
14	34	41	45	28
15	32	27	32	30
16	30	49	37	32
Sumatoria	557	566	504	474

Nuevamente haciendo uso de la ecuación 3 y los datos anteriores de la tabla y sustituyendo, para este caso al hacerse una dilución, en la ecuación el valor de FD (factor de dilución) tiene el valor de 2, teniendo:

$$\text{Concentración (Células/mL)} = \frac{(557 + 566 + 504 + 474) \times 10\,000}{4} * (2) = 1.05 \times 10^7$$

La concentración de las microalgas posterior al proceso de sedimentación es de 1.05×10^7 células/ml. En la Figura 37 se muestra la vista de la cámara de Neubauer, con la concentración sedimentada diluida.

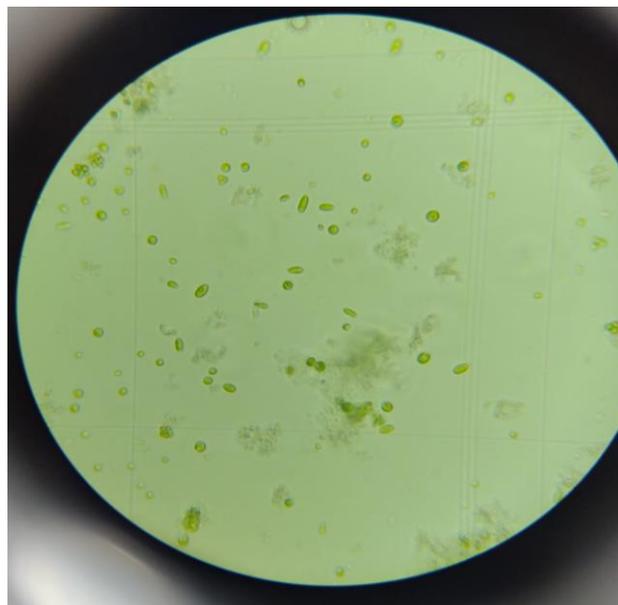


Figura 37. Vista de la cámara de Neubauer concentración final.

4.2.2 Peso seco.

Asimismo, se realizó una prueba de peso seco (procedimiento descrito en el Anexo 5). En la Figura 38 se muestran los recipientes utilizados, a la izquierda se ven los tres recipientes de la muestra inicial, cada uno con 1 ml y a la derecha se muestra la concentración sedimentada.



Figura 38. Muestras previas por ingresar a la estufa.

Los resultados del peso seco para la concentración inicial se muestran en la Tabla 20, en esta tabla se concentra la información de los pesos del recipiente.

Tabla 19. Concentración basada en el peso seco de la concentración inicial.

Muestra	Peso del recipiente [g]		Peso de las microalgas en 1 ml [g]	Peso del recipiente con microalgas secas [g]	Peso de las microalgas secas [g]	Concentración
	Sin microalgas	Peso con microalgas				[gramos de microalgas secas / gramos de microalgas húmedas]
1	1.8220	2.8655	1.0435	1.8262	0.0042	0.004024916
2	1.7984	2.8190	1.0206	1.8023	0.0039	0.003821282
3	1.8080	2.8223	1.0143	1.8123	0.0043	0.004239377

De la tabla anterior se calculan los valores de media, desviación estándar y coeficiente de variación de la concentración de las muestras anteriores, las cuales se muestran en la Tabla 21.

Tabla 20. Concentración inicial: Media, desviación estándar y coeficiente de variación

	Concentración
Media	4×10^{-3}
Desviación estándar	2.1×10^{-4}
Coefficiente de variación	5.2 %

Como el coeficiente de variación es $< 20\%$ los datos son homogéneos, por lo que el promedio de la muestra es representativo [31].

La Figura 39 muestra los recipientes con la concentración inicial y posteriores al proceso de sedimentación, a la izquierda se ven los tres recipientes con 1 ml de la muestra inicial cada uno y a la derecha se muestra la concentración sedimentada, estos recipientes son posteriores a las 3 horas dentro de la estufa.



Figura 39. Peso seco

Los resultados del peso seco para la concentración sedimentada se muestran en la Tabla 22, en esta tabla se concentran la información de los pesos del recipiente.

Tabla 21. Concentración basada en el peso seco de la concentración sedimentada.

Muestra	Peso del recipiente [g]		Peso de las microalgas en 1 ml [g]	Peso del recipiente con microalgas secas [g]	Peso de las microalgas secas [g]	Concentración
	Sin microalgas	Peso con microalgas				[gramos de microalgas secas / gramos de microalgas húmedas]
1	1.6578	2.6753	1.0175	1.6642	0.0064	0.006289926
2	1.6447	2.6682	1.0235	1.6510	0.0063	0.006155349
3	1.3179	2.3335	1.0156	1.3242	0.0063	0.006203230

De la tabla anterior se calculan los valores de media, desviación estándar y coeficiente de variación de la concentración de las muestras anteriores, las cuales se muestran en la Tabla 23.

Tabla 22. Concentración sedimentada: Media, desviación estándar y coeficiente de variación

	Concentración
Media	6.2×10^{-3}
Desviación estándar	6.8×10^{-5}
Coeficiente de variación	1.1%

Como el coeficiente de variación es $< 20\%$ los datos son homogéneos, por lo que el promedio de la muestra es representativo [31].

La cantidad de sólidos presentes en la muestra final es de que en comparación con la muestra inicial es 1.543 veces mayor.

4.3 Conclusiones

Es posible diseñar y manufacturar un sedimentador de bajo impacto ambiental y bajo consumo energético siguiendo la metodología de diseño y desarrollo de productos. Asimismo, se concluye que:

- El sedimentador manufacturado mostró ser eficiente con un volumen de 10 litros de cultivo provenientes del FBR e incluso puede sedimentar un volumen de hasta 21 litros.
- La manufactura del sedimentador a partir de una sola placa de acrílico (paredes laterales y base) no solo ha facilitado la unión de todas las partes, sino que también ha contribuido a reducir las posibles fugas, mejorando la resistencia del dispositivo.
- La concentración final de microalgas es 1.05×10^7 células/ml, que en comparación a la concentración inicial mostró ser 7.4 veces mayor.
- La variación del peso seco no es similar a la densidad, debido a que las características de las microalgas en este cultivo no son homogéneas (tamaño, edad y forma) esto se puede observar en la Figura 37.
- No fue necesario el uso de energías provenientes de fuentes no renovables.
- Debido al diseño de la salida inferior de sedimentador, no es posible extraer el total de lodos.
- En la pared inclinada se formó una película de microalgas, durante la sedimentación la mayoría de éstas se concentran y caen por su propio peso.
- La limpieza del sedimentador es eficiente gracias a la salida inferior, no se muestran complicaciones al lavarlo.
- Al no requerir el uso de floculantes el agua residual se puede reutilizar sin afectar el ambiente con químicos.
- El ensamble de la llave es fácil de realizar y no mostró fugas.

REFERENCIAS

- [1] Â. P. Matos, “The Impact of Microalgae in Food Science and Technology”, *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists’ Society*, vol. 94, núm. 11. Springer Verlag, pp. 1333–1350, el 1 de noviembre de 2017. doi: 10.1007/s11746-017-3050-7.
- [2] G. R. Rodríguez Camacho, “Diseño y manufactura de un fotobiorreactor para el cultivo de microalgas.”, tesis de grado, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, 2017.
- [3] E. Vielma Hernández, “Diseño y Construcción de un sedimentador de alta tasa para la cosecha de biomasa microalgal, como parte del proceso de producción de biocombustibles.”, Facultad de ingeniería, UNAM, Ciudad de México, 2018.
- [4] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos*, 5a ed. Ciudad de México, 2013.
- [5] A. I. Lucas Herguedas y C. Peso Taranco, *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*, 1a ed. España: ITAGRA, 2012.
- [6] C. Daniel Míguez Gómez y E. Menéndez Pérez, “La eficiencia energética en el uso de la biomasa para la generación de energía eléctrica: optimización energética y exergetica”, Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2013.
- [7] Q. Xiong, L. X. Hu, Y. S. Liu, J. L. Zhao, L. Y. He, y G. G. Ying, “Microalgae-based technology for antibiotics removal: From mechanisms to application of innovational hybrid systems”, *Environment International*, vol. 155. Elsevier Ltd, el 1 de octubre de 2021. doi: 10.1016/j.envint.2021.106594.
- [8] J. F. Wong, H. J. Hong, S. C. Foo, M. K. K. Yap, y J. W. Tan, “A review on current and future advancements for commercialized microalgae species”, *Food Science and Human Wellness*, vol. 11, núm. 5, pp. 1156–1170, sep. 2022, doi: 10.1016/j.fshw.2022.04.007.
- [9] A. Hernández-Pérez y J. I. Labbé, “Microalgas, cultivo y beneficios”, *Rev Biol Mar Oceanogr*, vol. 49, núm. 2, pp. 157–173, ago. 2014, doi: 10.4067/S0718-19572014000200001.
- [10] D. w. Green y R. H. Perry, *Perry’s Chemical Engineers’ Handbook*, 8a ed. 2008. doi: 10.1036/0071422943.
- [11] C. J. Geankoplis, *Procesos de transporte y operaciones unitarias*, 3a ed. CECSA, 1998.
- [12] W. L. McCabe y J. C. Smith, *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*, 7a ed. McGraw-Hill, 2007.
- [13] J. Hou, “Algae Suspension Dewatering with an Inclined Gravity Settler”, Tesis de posgrado, Cleveland State University, Cleveland, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://engagedscholarship.csuohio.edu/etdarchive>

- [14] L. Ocampo *et al.*, “Synthesis of strategies in post-COVID-19 public sector supply chains under an intuitionistic fuzzy environment”, *Socioecon Plann Sci*, vol. 85, feb. 2023, doi: 10.1016/j.seps.2022.101340.
- [15] D. Boger *et al.*, “Kano’s methods for understanding customer-defined quality”, vol. 2, núm. 4, 1993.
- [16] W. WEI y W. Zixin, “An Improved QFD Method for Rapid Response to Customer Requirements in Product Optimization Design”, *Procedia CIRP*, vol. 119, pp. 474–480, 2023, doi: 10.1016/j.procir.2023.01.010.
- [17] H. Himmelstoß, R. Hall, P. Thieme, y T. Bauernhansl, “Designing Smart Services for a Component Manufacturer Based on a Digital Twin”, *Procedia CIRP*, vol. 119, pp. 950–956, 2023, doi: 10.1016/j.procir.2023.03.139.
- [18] B. Salah, M. Alnahhal, y M. Ali, “Risk prioritization using a modified FMEA analysis in industry 4.0”, *Journal of Engineering Research*, jul. 2023, doi: 10.1016/j.jer.2023.07.001.
- [19] M. Gheibi *et al.*, “A risk-based soft sensor for failure rate monitoring in water distribution network via adaptive neuro-fuzzy interference systems”, *Sci Rep*, vol. 13, núm. 1, dic. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-38620-w.
- [20] J. E. Sosa Hernández *et al.*, “Mexican microalgae biodiversity and state of the art extraction strategies to meet sustainable circular economy challenges: High-value compounds and their applied perspectives”, *Mar Drugs*, vol. 17, núm. 3, mar. 2019, doi: 10.3390/md17030174.
- [21] J. Peng, G. Xia, B. Sun, y S. Wang, “A Multi-Enterprise Quality Function Deployment Paradigm with Unstructured Decision-Making in Linguistic Contexts”, *Journal of Systems Engineering and Electronics*, vol. 34, núm. 4, pp. 966–980, nov. 2022, doi: 10.23919/jsee.2022.000130.
- [22] I. A. Manrique Prieto y J. M. Gomez Chaves, “Diseño y construcción de una torre de sedimentación para la evaluación de los procesos de remoción y eficiencia en el tratamiento de agua potable”, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2016.
- [23] T. E. Guerrero Vejaranoa, J. C. Salazar Álvarez, y J. L. Paredes Salazar, “Eficiencia de un sedimentador laminar y convencional para eliminar sólidos”, *Rev Soc Quím Perú*, vol. 84, núm. 3, nov. 2018.
- [24] V. Maldonado Yactayo, “Sedimentación”, en *Manual para plantas potabilizadoras*, vol. 2, 2000.
- [25] A. González Sara, “Quality Function Deployment. Una herramienta para establecer los requerimientos técnicos de un edificio en México”, Valencia, nov. 2014.
- [26] F. J. Arreola Triana, A. Guerrero Zavala, y P. Quintana Salmón, “Despliegue de la Función Calidad”, Nuevo León, oct. 1999.
- [27] H. H. Arrecis Cabrera, “Válvulas de PVC”, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2007.

- [28] C. S. Cabrera Gaviño, “Evaluación comparativa de dos tipos de floculantes para la cosecha de biomasa de microalgas a escala piloto.”, Ecuador, 2016.
- [29] J. Sandoval, H. Diego, y R. Fernández, “Revisión de artículos sobre floculación de microalgas .”, *Rev Invest (Guadalajara)*, vol. 9, núm. 2, pp. 114–132, nov. 2016.
- [30] A. A. Molina Bolaño, “Análisis del AMEF (Análisis de modo y efecto de fallas) en la industria Colombiana”, Universidad de Pamplona, Pamplona-Norte de Santander, 2019.
- [31] M. G. Zambrano Castro, *Estadística aplicada*, 1a ed. Bogotá: Ecoe ediciones, 2023. Consultado: el 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.google.com.mx/books/edition/Estad%C3%ADstica_aplicada_1ra_edici%C3%B3n/aMLHEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=aplicada+%22coeficiente+de+variaci%C3%B3n%22+datos+holog%C3%A9neos+si&pg=PA145&printsec=frontcover
- [32] M. Bestratén Belloví, R. Orriols Ramos, y Mata París Carles, “NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos AMEF.”, España, 2004.

ANEXOS

ANEXO 1. Encuesta

- ¿Se tienen restricciones de espacio o ubicación que deban considerarse en el diseño del sedimentador?
- ¿Cuáles son los parámetros de calidad críticos en cuanto a la biomasa a obtener?
- ¿Con qué regularidad se podría dar mantenimiento al sedimentador?
- ¿Qué preocupaciones específicas se tienen relacionadas con la eficiencia energética o la sostenibilidad?
- ¿Cuáles son los desafíos específicos que han enfrentado en su proceso actual de cosecha de microalgas que esperan que el nuevo sedimentador aborde?
- ¿Se sabe si existen requisitos legales o regulaciones ambientales que deban cumplirse con el diseño?
- ¿Tiene experiencia previa con sedimentadores u otros equipos similares?
- ¿Cuál es la expectativa en cuanto a la capacidad de expansión del sistema en el futuro?

Anote algunas características que considera más importantes que pudieran resaltar y que sean críticas en la construcción del sedimentador (Que no se hayan mencionado en las preguntas anteriores).

ANEXO 2. Modelo Kano

PROYECTO DE TESIS: “DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN SEDIMENTADOR PARA LA COSECHA DE MICROALGAS”

Instrucciones: Para cada requerimiento, responde con una "X" en la categoría que mejor describa tu opinión: Realmente me gusta, Me gusta (DEBE tenerla), Neutral (No me preocupa), No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma, Realmente no me gusta (insatisfecho).

Evalúa tanto la pregunta funcional como la pregunta disfuncional para cada requerimiento. ¡Gracias por tu colaboración!

TAMAÑO	PREGUNTA FUNCIONAL		PREGUNTA DISFUNCIONAL	
	Califique el grado de satisfacción si el sedimentador tuviera un tamaño reducido y óptimo.		Califique el grado de satisfacción si el sedimentador <u>NO</u> tuviera un tamaño reducido y óptimo.	
	Realmente me gusta.		Realmente me gusta.	
	Me gusta (DEBE tenerla).		Me gusta (DEBE tenerla).	
	Neutral (No me preocupa).		Neutral (No me preocupa).	
	No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma.		No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma.	
	Realmente no me gusta (insatisfecho).		Realmente no me gusta (insatisfecho).	

INOCUIDAD	PREGUNTA FUNCIONAL		PREGUNTA DISFUNCIONAL	
	Califique el grado de satisfacción si el sedimentador garantiza la inocuidad de las microalgas.		Califique el grado de satisfacción si el sedimentador <u>NO</u> garantiza la inocuidad de las microalgas.	
	Realmente me gusta.		Realmente me gusta.	
	Me gusta (DEBE tenerla).		Me gusta (DEBE tenerla).	
	Neutral (No me preocupa).		Neutral (No me preocupa).	

	No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma.		No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma.	
	Realmente no me gusta (insatisfecho).		Realmente no me gusta (insatisfecho).	

MANTENIMIENTO	PREGUNTA FUNCIONAL		PREGUNTA DISFUNCIONAL	
	Califique el grado de satisfacción si el sedimentador tiene facilidad de mantenimiento.		Califique el grado de satisfacción si el sedimentador <u>NO</u> tiene facilidad de mantenimiento.	
	Realmente me gusta.		Realmente me gusta.	
	Me gusta (DEBE tenerla).		Me gusta (DEBE tenerla).	
	Neutral (No me preocupa).		Neutral (No me preocupa).	
	No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma.		No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma.	
	Realmente no me gusta (insatisfecho).		Realmente no me gusta (insatisfecho).	

HUELLA DE CARBONO	PREGUNTA FUNCIONAL		PREGUNTA DISFUNCIONAL	
	Califique el grado de satisfacción si el sedimentador tiene una baja huella de carbono.		Califique el grado de satisfacción si el sedimentador <u>NO</u> tiene una baja huella de carbono.	
	Realmente me gusta.		Realmente me gusta.	
	Me gusta (DEBE tenerla).		Me gusta (DEBE tenerla).	
	Neutral (No me preocupa).		Neutral (No me preocupa).	
	No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma.		No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma.	
Realmente no me gusta (insatisfecho).		Realmente no me gusta (insatisfecho).		

USO DEL AGUA	PREGUNTA FUNCIONAL		PREGUNTA DISFUNCIONAL	
	Califique el grado de satisfacción sí el sedimentador hace un eficiente aprovechamiento y reutilización del agua.		Califique el grado de satisfacción sí el sedimentador <u>NO</u> hace un eficiente aprovechamiento y reutilización del agua.	
	Realmente me gusta.		Realmente me gusta.	
	Me gusta (DEBE tenerla).		Me gusta (DEBE tenerla).	
	Neutral (No me preocupa).		Neutral (No me preocupa).	
	No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma).		No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma).	
	Realmente no me gusta (insatisfecho).		Realmente no me gusta (insatisfecho).	

TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN	PREGUNTA FUNCIONAL		PREGUNTA DISFUNCIONAL	
	Califique el grado de satisfacción sí el sedimentador tiene un mínimo tiempo de sedimentador.		Califique el grado de satisfacción sí el sedimentador <u>NO</u> tiene un mínimo tiempo de sedimentador.	
	Realmente me gusta.		Realmente me gusta.	
	Me gusta (DEBE tenerla).		Me gusta (DEBE tenerla).	
	Neutral (No me preocupa).		Neutral (No me preocupa).	
	No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma).		No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma).	
Realmente no me gusta (insatisfecho).		Realmente no me gusta (insatisfecho).		

ESCALAMIENTO	PREGUNTA FUNCIONAL		PREGUNTA DISFUNCIONAL	
	Califique el grado de satisfacción sí el diseño del sedimentador considera el escalamiento de este.		Califique el grado de satisfacción sí el diseño del sedimentador <u>NO</u> considera el escalamiento de este.	
	Realmente me gusta.		Realmente me gusta.	
	Me gusta (DEBE tenerla).		Me gusta (DEBE tenerla).	
Neutral (No me preocupa).		Neutral (No me preocupa).		

	No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma.		No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma.	
	Realmente no me gusta (insatisfecho).		Realmente no me gusta (insatisfecho).	

ENSAMBLE	PREGUNTA FUNCIONAL	PREGUNTA DISFUNCIONAL		
	Califique el grado de satisfacción sí el diseño del sedimentador considera un fácil ensamble de los componentes.	Califique el grado de satisfacción sí el diseño del sedimentador <u>NO</u> considera un fácil ensamble de los componentes.		
	Realmente me gusta.		Realmente me gusta.	
	Me gusta (DEBE tenerla).		Me gusta (DEBE tenerla).	
	Neutral (No me preocupa).		Neutral (No me preocupa).	
	No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma.		No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma.	
	Realmente no me gusta (insatisfecho).		Realmente no me gusta (insatisfecho).	

CAPACIDAD	PREGUNTA FUNCIONAL	PREGUNTA DISFUNCIONAL		
	Califique el grado de satisfacción sí el sedimentador es capaz de sedimentar diferentes capacidades de biomasa producida (dependiendo del lote).	Califique el grado de satisfacción sí el sedimentador <u>NO</u> es capaz de sedimentar diferentes capacidades de biomasa producida (dependiendo del lote).		
	Realmente me gusta.		Realmente me gusta.	
	Me gusta (DEBE tenerla).		Me gusta (DEBE tenerla).	
	Neutral (No me preocupa).		Neutral (No me preocupa).	
	No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma.		No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma.	
Realmente no me gusta (insatisfecho).		Realmente no me gusta (insatisfecho).		

ENERGÍA	PREGUNTA FUNCIONAL		PREGUNTA DISFUNCIONAL	
	Califique el grado de satisfacción sí el sedimentador hace el mínimo uso de energías provenientes de fuentes no renovables.		Califique el grado de satisfacción sí el sedimentador <u>NO</u> hace el mínimo uso de energías provenientes de fuentes no renovables.	
	Realmente me gusta.		Realmente me gusta.	
	Me gusta (DEBE tenerla).		Me gusta (DEBE tenerla).	
	Neutral (No me preocupa).		Neutral (No me preocupa).	
	No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma).		No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma).	
	Realmente no me gusta (insatisfecho).		Realmente no me gusta (insatisfecho).	

NORMATIVAS	PREGUNTA FUNCIONAL		PREGUNTA DISFUNCIONAL	
	Califique el grado de satisfacción sí el sedimentador cumple con las normas y regulaciones vigentes.		Califique el grado de satisfacción sí el sedimentador <u>NO</u> cumple con las normas y regulaciones vigentes.	
	Realmente me gusta.		Realmente me gusta.	
	Me gusta (DEBE tenerla).		Me gusta (DEBE tenerla).	
	Neutral (No me preocupa).		Neutral (No me preocupa).	
	No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma).		No me gusta (puedo vivir con ella de esa forma).	
Realmente no me gusta (insatisfecho).		Realmente no me gusta (insatisfecho).		

VACIADO DE RESPUESTAS

TAMAÑO		Disfuncional				
		Realmente me gusta	Me gusta	Neutral	Me disgusta	Realmente me disgusta
Funcional	Realmente me gusta	C	A	A (1)	A (1)	L (1)
	Me gusta	R	I	I (1)	I (1)	E
	Neutral	R	I	I (1)	I	E
	Me disgusta	R	I	I	I (1)	E
	Realmente me disgusta	R	R	R	R	C
L= Característica unidimensional R= Respuesta inconsistente		E= Característica esperada A= Característica atractiva			I= Respuesta indiferente C= Característica cuestionable	

INOCUIDAD		Disfuncional				
		Realmente me gusta	Me gusta	Neutral	Me disgusta	Realmente me disgusta
Funcional	Realmente me gusta	C	A	A	A (1)	L (4)
	Me gusta	R	I	I	I (1)	E
	Neutral	R	I	I	I	E
	Me disgusta	R	I	I (1)	I	E
	Realmente me disgusta	R	R	R	R	C
L= Característica unidimensional R= Respuesta inconsistente		E= Característica esperada A= Característica atractiva			I= Respuesta indiferente C= Característica cuestionable	

MANTENIMIENTO		Disfuncional				
		Realmente me gusta	Me gusta	Neutral	Me disgusta	Realmente me disgusta
Funcional	Realmente me gusta	C	A (1)	A	A (2)	L (2)
	Me gusta	R	I	I (1)	I (1)	E
	Neutral	R	I	I	I	E
	Me disgusta	R	I	I	I	E
	Realmente me disgusta	R	R	R	R	C
L= Característica unidimensional R= Respuesta inconsistente		E= Característica esperada A= Característica atractiva			I= Respuesta indiferente C= Característica cuestionable	

HUELLA DE CARBONO		Disfuncional				
		Realmente me gusta	Me gusta	Neutral	Me disgusta	Realmente me disgusta
Funcional	Realmente me gusta	C	A	A	A (1)	L (3)
	Me gusta	R	I	I (1)	I	E
	Neutral	R	I	I (1)	I	E
	Me disgusta	R	I	I	I	E (1)
	Realmente me disgusta	R	R	R	R	C
L= Característica unidimensional R= Respuesta inconsistente		E= Característica esperada A= Característica atractiva			I= Respuesta indiferente C= Característica cuestionable	

USO DEL AGUA		Disfuncional				
		Realmente me gusta	Me gusta	Neutral	Me disgusta	Realmente me disgusta
Funcional	Realmente me gusta	C	A (1)	A	A	L (3)
	Me gusta	R	I	I (1)	I	E
	Neutral	R	I	I (2)	I	E
	Me disgusta	R	I	I	I	E
	Realmente me disgusta	R	R	R	R	C
L= Característica unidimensional R= Respuesta inconsistente		E= Característica esperada A= Característica atractiva			I= Respuesta indiferente C= Característica cuestionable	

TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN		Disfuncional				
		Realmente me gusta	Me gusta	Neutral	Me disgusta	Realmente me disgusta
Funcional	Realmente me gusta	C	A	A	A (1)	L (2)
	Me gusta	R	I (1)	I (1)	I (1)	E
	Neutral	R	I	I (1)	I	E
	Me disgusta	R	I	I	I	E
	Realmente me disgusta	R	R	R	R	C
L= Característica unidimensional R= Respuesta inconsistente		E= Característica esperada A= Característica atractiva			I= Respuesta indiferente C= Característica cuestionable	

ESCALAMIENTO		Disfuncional				
		Realmente me gusta	Me gusta	Neutral	Me disgusta	Realmente me disgusta
Funcional	Realmente me gusta	C	A	A	A	L (3)
	Me gusta	R	I	I (2)	I (1)	E
	Neutral	R	I	I (1)	I	E
	Me disgusta	R	I	I	I	E
	Realmente me disgusta	R	R	R	R	C
L= Característica unidimensional R= Respuesta inconsistente		E= Característica esperada A= Característica atractiva			I= Respuesta indiferente C= Característica cuestionable	

ENSAMBLE		Disfuncional				
		Realmente me gusta	Me gusta	Neutral	Me disgusta	Realmente me disgusta
Funcional	Realmente me gusta	C	A (1)	A	A	L (3)
	Me gusta	R	I	I (2)	I (1)	E
	Neutral	R	I	I	I	E
	Me disgusta	R	I	I	I	E
	Realmente me disgusta	R	R	R	R	C
L= Característica unidimensional R= Respuesta inconsistente		E= Característica esperada A= Característica atractiva			I= Respuesta indiferente C= Característica cuestionable	

CAPACIDAD		Disfuncional				
		Realmente me gusta	Me gusta	Neutral	Me disgusta	Realmente me disgusta
Funcional	Realmente me gusta	C	A	A (1)	A (2)	L (1)
	Me gusta	R	I	I (1)	I (2)	E
	Neutral	R	I	I	I	E
	Me disgusta	R	I	I	I	E
	Realmente me disgusta	R	R	R	R	C
L= Característica unidimensional R= Respuesta inconsistente		E= Característica esperada A= Característica atractiva			I= Respuesta indiferente C= Característica cuestionable	

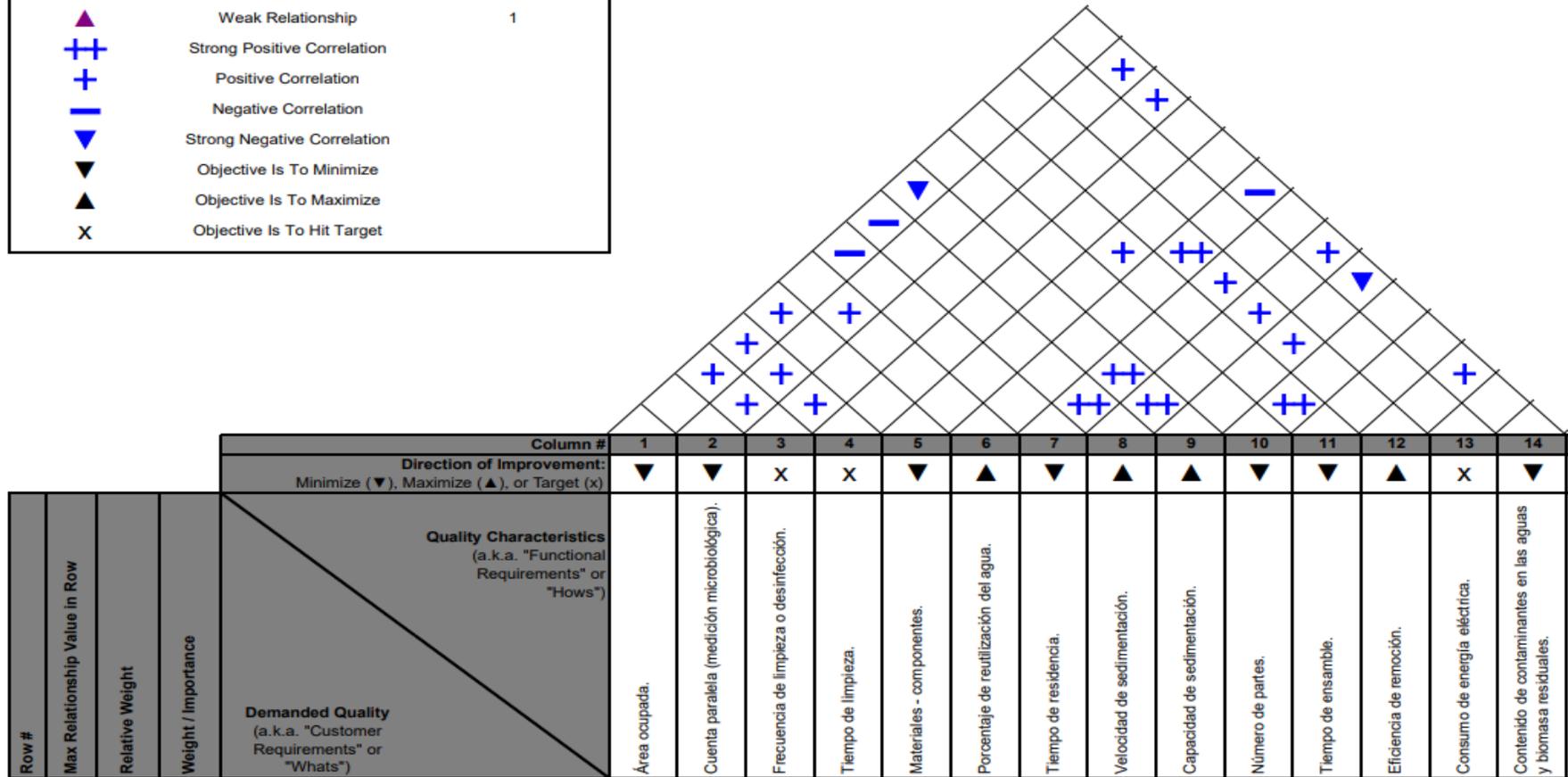
ENERGÍA		Disfuncional				
		Realmente me gusta	Me gusta	Neutral	Me disgusta	Realmente me disgusta
Funcional	Realmente me gusta	C	A	A	A (1)	L (1)
	Me gusta	R	I	I (2)	I (2)	E
	Neutral	R	I	I	I	E
	Me disgusta	R	I	I	I	E
	Realmente me disgusta	R (1)	R	R	R	C
L= Característica unidimensional		E= Característica esperada			I= Respuesta indiferente	
R= Respuesta inconsistente		A= Característica atractiva			C= Característica cuestionable	

NORMATIVAS		Disfuncional				
		Realmente me gusta	Me gusta	Neutral	Me disgusta	Realmente me disgusta
Funcional	Realmente me gusta	C	A	A (1)	A (1)	L (1)
	Me gusta	R	I	I	I	E (2)
	Neutral	R	I	I (2)	I	E
	Me disgusta	R	I	I	I	E
	Realmente me disgusta	R	R	R	R	C
L= Característica unidimensional		E= Característica esperada			I= Respuesta indiferente	
R= Respuesta inconsistente		A= Característica atractiva			C= Característica cuestionable	

ANEXO 3. QFD 1 (Productos)

Relación entre los CÓMOS

Legend		
⊙	Strong Relationship	9
○	Moderate Relationship	3
△	Weak Relationship	1
++	Strong Positive Correlation	
+	Positive Correlation	
-	Negative Correlation	
▼	Strong Negative Correlation	
▼	Objective Is To Minimize	
▲	Objective Is To Maximize	
X	Objective Is To Hit Target	

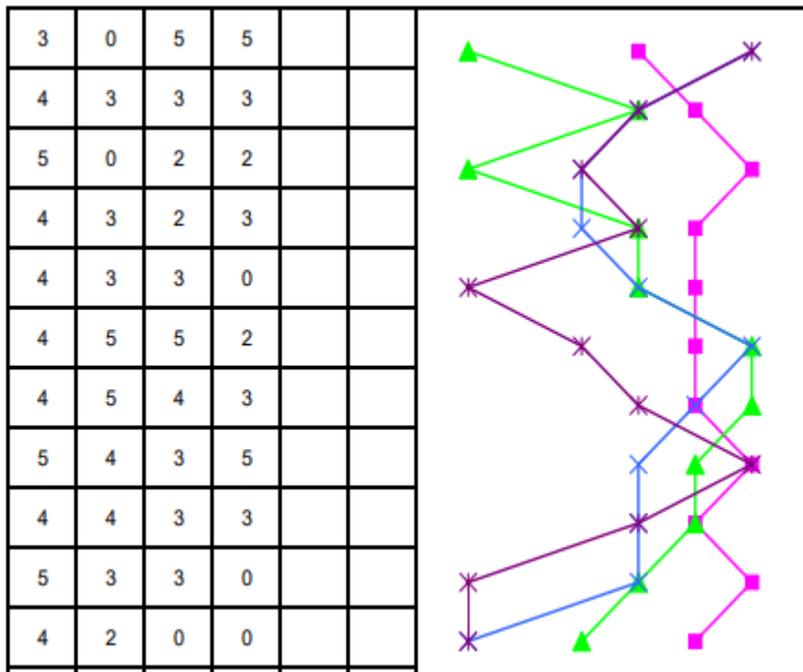
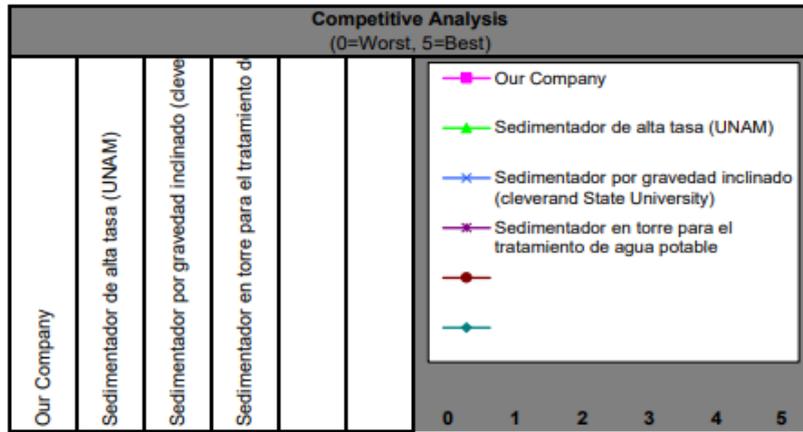


Matriz de relaciones.

1	9	6.6	5.0	Que el sedimentador sea de tamaño reducido, debido a la limitación de espacio disponible.	⊖	▲	○	⊖	○		○	⊖	⊖	▲	○	▲		
2	9	10.5	8.0	Que durante la puesta en marcha y operación, el sedimentador garantice la inocuidad de la biomasa.		⊖	⊖	○	○		▲							○
3	9	13.2	10.0	Que tenga una facilidad de mantenimiento.	▲	○	⊖	⊖	⊖			▲	○	○				
4	9	3.9	3.0	Que la huella de carbono del sedimentador debe ser mínima.	▲		▲		⊖	⊖				○			⊖	⊖
5	9	10.5	8.0	Que el agua utilizada pueda ser reutilizada.			○		▲	⊖	▲					○		○
6	9	9.2	7.0	Que el tiempo de cosecha sea corto para evitar que la vida de las microalgas se vea afectada.	▲				▲		⊖	⊖	○			○		
7	9	9.2	7.0	Que en el diseño se considere el escalamiento del sedimentador.	○				○		○	○	⊖			○	○	▲
8	9	10.5	8.0	Que sea fácil de ensamblar.	▲			▲	○	▲				⊖	⊖			
9	9	11.8	9.0	Que el sedimentador sea capaz de procesar toda la biomasa producida (dependiendo del lote).	○						○	⊖	⊖			⊖		
10	9	7.9	6.0	Que no se haga uso de energía proveniente de fuentes no renovables.					▲		○	○					⊖	
11	9	6.6	5.0	Que considere las normativas vigentes y aplicables.		▲											▲	⊖

Target or Limit Value	< 1 m2	< 10 UFC/ cm	1-2 meses	< 2 horas	CO2 minimizar	> 80 %	≤ 4 días	Determinada en experimentos	2-100 Litros	< 20 unidades	< 2 horas	>80 %	0 kW	lista ppm
Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)	6	8	2	4	8	7	5	5	9	3	4	8	3	7
Max Relationship Value in Column	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Weight / Importance	159.2	147.4	268.4	219.7	292.1	140.8	210.5	300.0	289.5	152.6	153.9	200.0	140.8	167.1
Relative Weight	5.6	5.2	9.4	7.7	10.3	5.0	7.4	10.6	10.2	5.4	5.4	7.0	5.0	5.9

Análisis de la competencia.

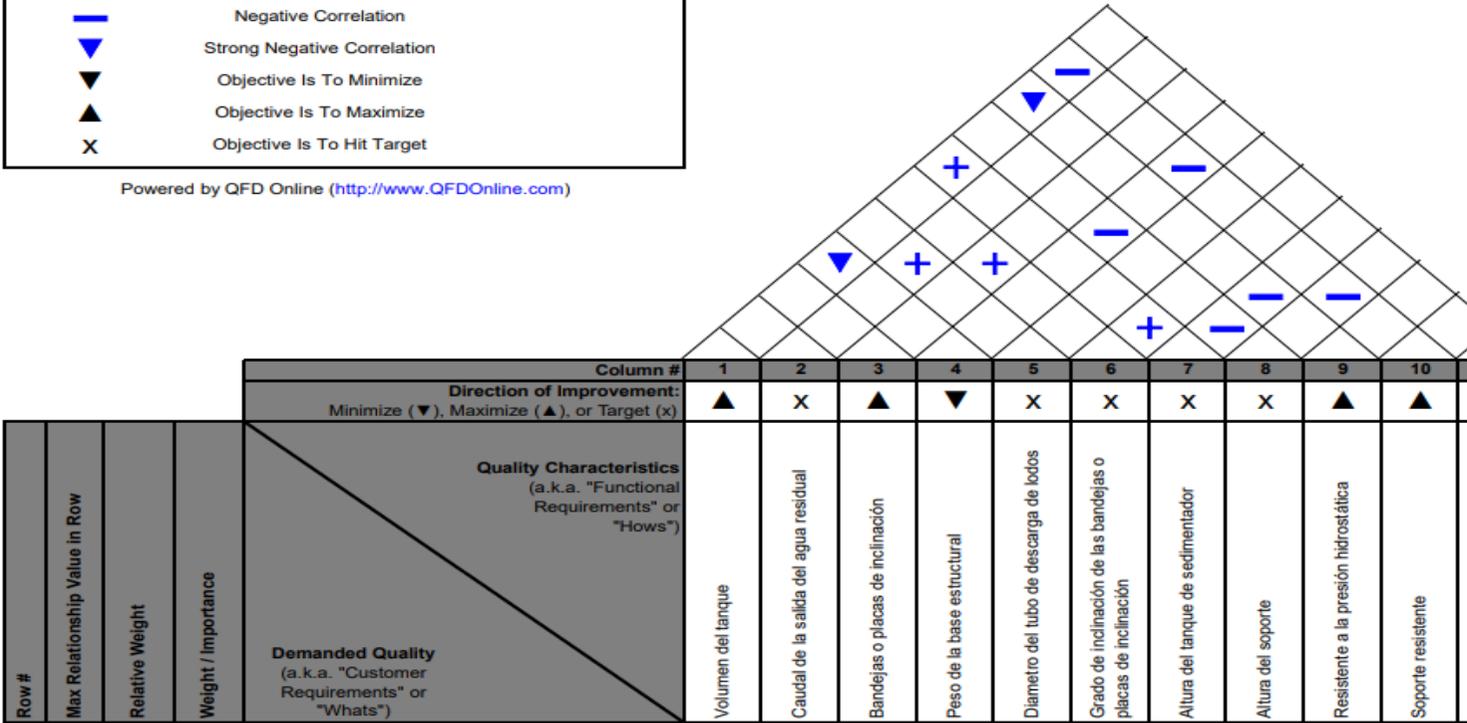


ANEXO 4. QFD 2 (Componentes)

Relación entre los CÓMOS

Legend		
⊙	Strong Relationship	9
○	Moderate Relationship	3
▲	Weak Relationship	1
⊕	Strong Positive Correlation	
+	Positive Correlation	
—	Negative Correlation	
▼	Strong Negative Correlation	
▼	Objective Is To Minimize	
▲	Objective Is To Maximize	
X	Objective Is To Hit Target	

Powered by QFD Online (<http://www.QFDOnline.com>)



Matriz de relaciones.

1	9	5.6	159.2	Área ocupada.	○		○	⊖	▲		⊖		○	○
2	3	5.2	147.4	Cuenta paralela (medición microbiológica).	○						▲			
3	9	9.4	268.4	Frecuencia de limpieza o desinfección.	⊖	▲	⊖		○	▲	○	▲		
4	9	7.7	219.7	Tiempo de limpieza.	⊖	○	⊖	▲			⊖	○		▲
5	9	10.3	292.1	Materiales - componentes.	⊖		▲				⊖	⊖	○	○
6	9	5.0	140.8	Porcentaje de reutilización del agua.	○	○				⊖	○	▲	○	
7	9	7.4	210.5	Tiempo de residencia.	○		⊖			⊖	⊖			
8	9	10.6	300.0	Velocidad de sedimentación.	○		⊖			⊖	○			
9	9	10.2	289.5	Capacidad de sedimentación.	⊖	▲	○	▲	▲		⊖			
10	9	5.4	152.6	Número de partes.	⊖		⊖		○			○	▲	○
11	3	5.4	153.9	Tiempo de ensamble.	○	○	○		○		▲	▲		▲
12	9	7.0	200.0	Eficiencia de remoción.	○	○	⊖		⊖	⊖	○			
13	3	5.0	140.8	Consumo de energía eléctrica.		▲	○			○				
14	9	5.9	167.1	Contenido de contaminantes en las aguas y biomasa residuales.	⊖	⊖			▲	○	○		▲	

Target or Limit Value	≤ 100 litros	Aceptable	> 1 m2	< 10 kg	0.5-2 pulgadas	55 °-60 °	< 55 cm	50 cm	Suficiente	Suficiente
Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)	4	8	5	8	6	7	2	2	7	5
Max Relationship Value in Column	9	9	9	9	9	9	9	9	3	3
Weight / Importance	578.5	152.9	516.7	68.3	145.7	311.5	495.0	151.6	73.8	76.9
Relative Weight	22.5	5.9	20.1	2.7	5.7	12.1	19.3	5.9	2.9	3.0

ANEXO 5. Peso seco.

1. Se colocan los recipientes de aluminio dentro de estufa para eliminar toda la humedad que pueda tener.
2. Con ayuda de las pinzas se sacan los recipientes de la estufa y se dejan reposar y enfriar por 15 minutos en el desecador.



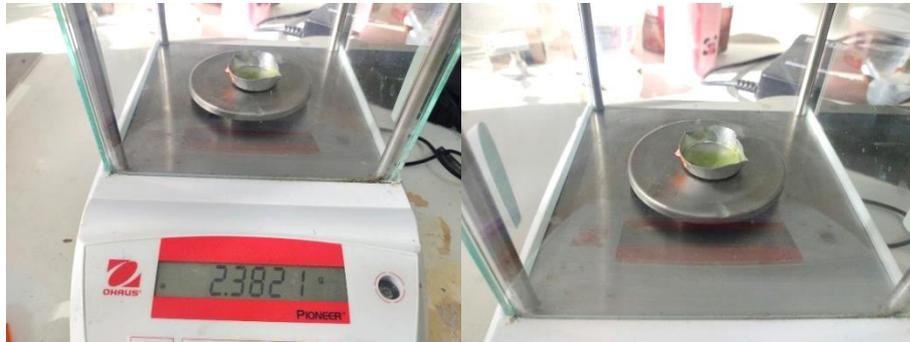
3. Con ayuda de pinzas se pesa en la báscula granataria el recipiente, esto con el fin de no agregar humedad al recipiente.



4. Con una micropipeta se toma 1 ml de microalgas y se coloca dentro del recipiente.



5. Se pesan nuevamente las muestras en la báscula granataria.



6. Se introduce la muestra dentro de la estufa por 3 horas, estas horas se cuentan a partir de que la estufa llegue a 105 °C.



7. Con ayuda de las pinzas se sacan los recipientes de la estufa y se dejan reposar por 15 minutos en el desecador.



8. Se pesa en la báscula granataria



9. Resultados.

Muestra	Peso del recipiente [g]		Peso de las microalgas en 1 ml [g]	Peso del recipiente con microalgas secas [g]	Peso de las microalgas secas [g]	Concentración [gramos de microalgas secas / gramos de microalgas húmedas]
	Sin microalgas	Peso con microalgas				
1	1.8098	2.8246	1.0148	1.8123	0.0025	0.00246354
2	1.6143	2.6283	1.014	1.6167	0.0024	0.002366864
3	1.3158	2.3256	1.0098	1.3182	0.0024	0.002376708
4	1.6162	2.6434	1.0272	1.6186	0.0024	0.002336449
5	1.3162	2.3821	1.0659	1.3188	0.0026	0.002439253

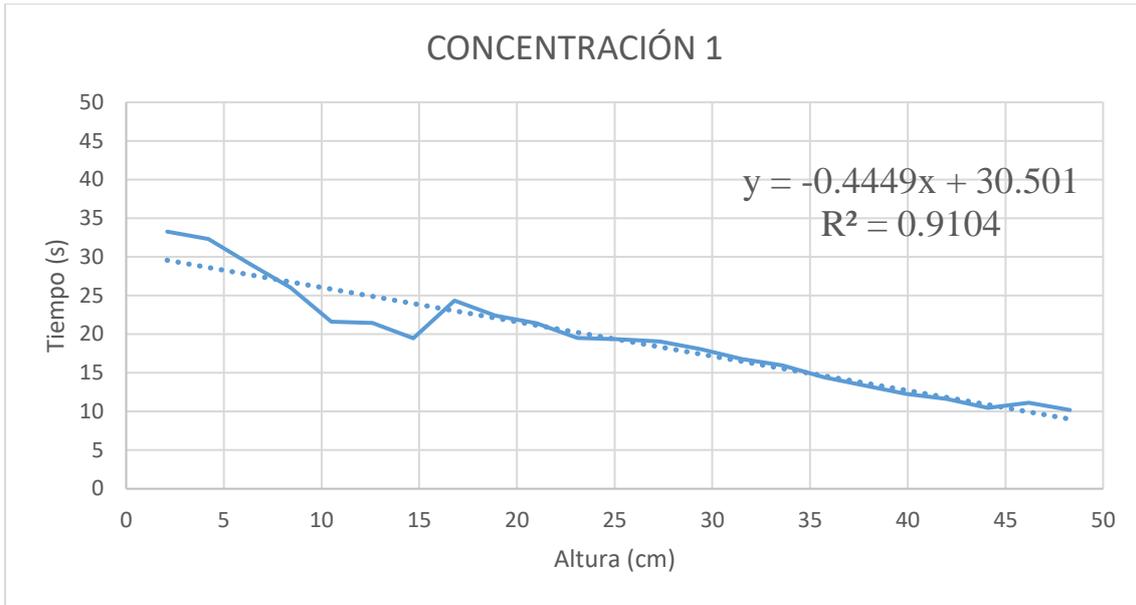
	Concentración
Media	0.00239656
Desviación estándar	5.291E-05
Coficiente de variación	0.02207788

Como el coeficiente de variación es $< 20\%$ los datos son homogéneos, por lo que el promedio de la muestra es representativo [31].

ANEXO 6. Experimentación de la velocidad de sedimentación (rápidas)

Muestra de 5 ml	
Microalgas	5 ml
Agua	0 ml

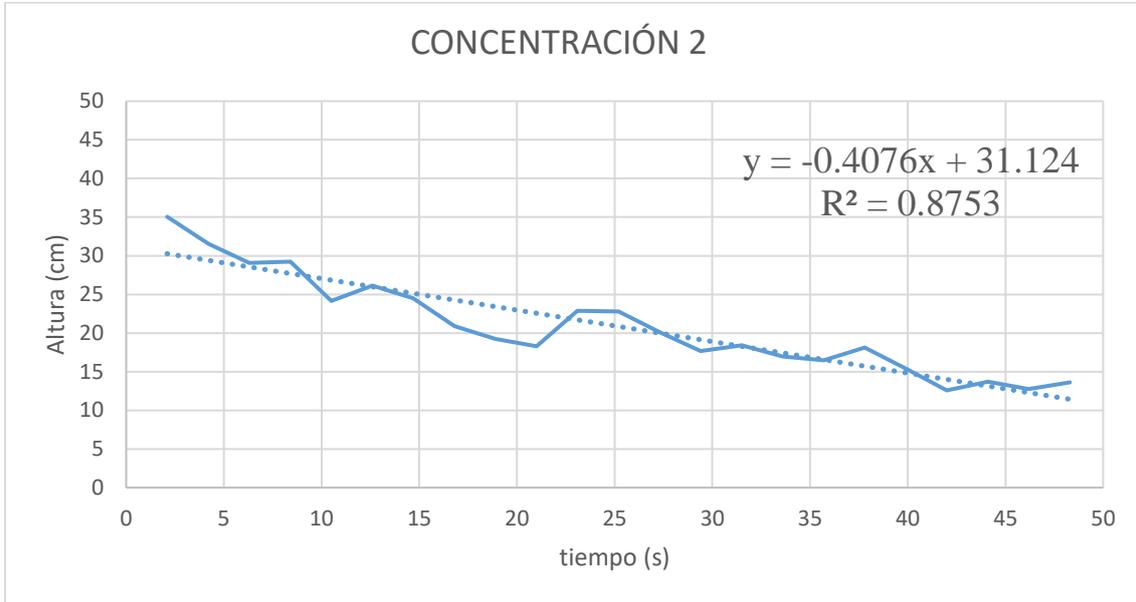
ml	Altura (cm)	Altura acumulada (cm)	T1	V1	T2	V2	T3	V3	T4	V4	Tiempo promedio [s]	Velocidad [cm/s]
2	2.10	48.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
3	2.10	46.20	10.41	0.20	9.91	0.21	9.64	0.22	10.81	0.19	10.193	0.206
4	2.10	44.10	11.85	0.18	10.36	0.20	10.78	0.19	11.53	0.18	11.130	0.189
5	2.10	42.00	11.30	0.19	10.96	0.19	9.34	0.22	10.33	0.20	10.483	0.201
6	2.10	39.90	12.02	0.17	11.58	0.18	12.10	0.17	10.72	0.20	11.605	0.181
7	2.10	37.80	14.18	0.15	12.55	0.17	11.88	0.18	10.53	0.20	12.285	0.173
8	2.10	35.70	17.02	0.12	13.62	0.15	13.79	0.15	8.94	0.23	13.343	0.166
9	2.10	33.60	16.73	0.13	16.26	0.13	15.40	0.14	9.38	0.22	14.443	0.154
10	2.10	31.50	16.95	0.12	19.69	0.11	15.35	0.14	11.81	0.18	15.950	0.136
11	2.10	29.40	18.34	0.11	19.30	0.11	14.52	0.14	14.92	0.14	16.770	0.127
12	2.10	27.30	19.90	0.11	16.77	0.13	18.00	0.12	17.68	0.12	18.088	0.117
13	2.10	25.20	18.58	0.11	18.43	0.11	19.65	0.11	19.58	0.11	19.060	0.110
14	2.10	23.10	21.03	0.10	19.17	0.11	17.58	0.12	19.66	0.11	19.360	0.109
15	2.10	21.00	20.70	0.10	22.47	0.09	19.48	0.11	15.32	0.14	19.493	0.110
16	2.10	18.90	20.66	0.10	23.68	0.09	21.66	0.10	19.71	0.11	21.428	0.098
17	2.10	16.80	22.76	0.09	26.03	0.08	23.11	0.09	17.70	0.12	22.400	0.096
18	2.10	14.70	26.18	0.08	25.32	0.08	23.50	0.09	22.34	0.09	24.335	0.087
19	2.10	12.60	13.76	0.15	22.41	0.09	21.21	0.10	20.48	0.10	19.465	0.112
20	2.10	10.50	20.56	0.10	26.69	0.08	20.39	0.10	18.11	0.12	21.438	0.100
21	2.10	8.40	22.15	0.09	25.72	0.08	19.90	0.11	18.68	0.11	21.613	0.099
22	2.10	6.30	29.45	0.07	27.33	0.08	24.29	0.09	23.04	0.09	26.028	0.081
23	2.10	4.20	33.29	0.06	29.55	0.07	26.93	0.08	26.71	0.08	29.120	0.073
24	2.10	2.10	36.10	0.06	34.30	0.06	29.63	0.07	29.32	0.07	32.338	0.065
25	2.10	0.00	36.20	0.06	35.20	0.06	29.35	0.07	32.33	0.06	33.270	0.064
PROM.											19.288	0.124



Muestra de 5 ml	
Microalgas	4 ml
Agua	1 ml

ml	Altura (cm)	Altura acumulada (cm)	T1	V1	T2	V2	T3	V3	T4	V4	Tiempo promedio [s]	Velocidad [cm/s]
2	2.10	48.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
3	2.10	46.20	14.99	0.14	13.45	0.16	14.75	0.14	11.36	0.18	13.638	0.156
4	2.10	44.10	13.69	0.15	11.28	0.19	14.09	0.15	11.98	0.18	12.760	0.166
5	2.10	42.00	14.67	0.14	11.66	0.18	15.17	0.14	13.30	0.16	13.700	0.155
6	2.10	39.90	12.38	0.17	12.61	0.17	12.93	0.16	12.42	0.17	12.585	0.167
7	2.10	37.80	16.49	0.13	14.34	0.15	17.47	0.12	13.30	0.16	15.400	0.138
8	2.10	35.70	23.43	0.09	14.34	0.15	17.68	0.12	17.10	0.12	18.138	0.119
9	2.10	33.60	21.36	0.10	14.10	0.15	16.32	0.13	14.13	0.15	16.478	0.131
10	2.10	31.50	18.43	0.11	16.08	0.13	17.73	0.12	15.59	0.13	16.958	0.124
11	2.10	29.40	21.37	0.10	14.69	0.14	18.57	0.11	19.10	0.11	18.433	0.116
12	2.10	27.30	20.11	0.10	14.23	0.15	18.57	0.11	17.77	0.12	17.670	0.121
13	2.10	25.20	23.16	0.09	16.84	0.12	20.60	0.10	19.79	0.11	20.098	0.106
14	2.10	23.10	26.70	0.08	19.83	0.11	22.76	0.09	21.81	0.10	22.775	0.093
15	2.10	21.00	18.78	0.11	21.80	0.10	20.84	0.10	30.01	0.07	22.858	0.095
16	2.10	18.90	19.40	0.11	14.88	0.14	24.68	0.09	14.27	0.15	18.308	0.120
17	2.10	16.80	19.06	0.11	13.70	0.15	26.71	0.08	17.45	0.12	19.230	0.116
18	2.10	14.70	21.03	0.10	20.03	0.10	18.41	0.11	24.05	0.09	20.880	0.102
19	2.10	12.60	23.89	0.09	26.02	0.08	21.46	0.10	26.64	0.08	24.503	0.086
20	2.10	10.50	18.46	0.11	30.70	0.07	25.56	0.08	29.80	0.07	26.130	0.084
21	2.10	8.40	20.91	0.10	18.50	0.11	29.88	0.07	27.40	0.08	24.173	0.090
22	2.10	6.30	30.88	0.07	23.60	0.09	34.08	0.06	28.44	0.07	29.250	0.073

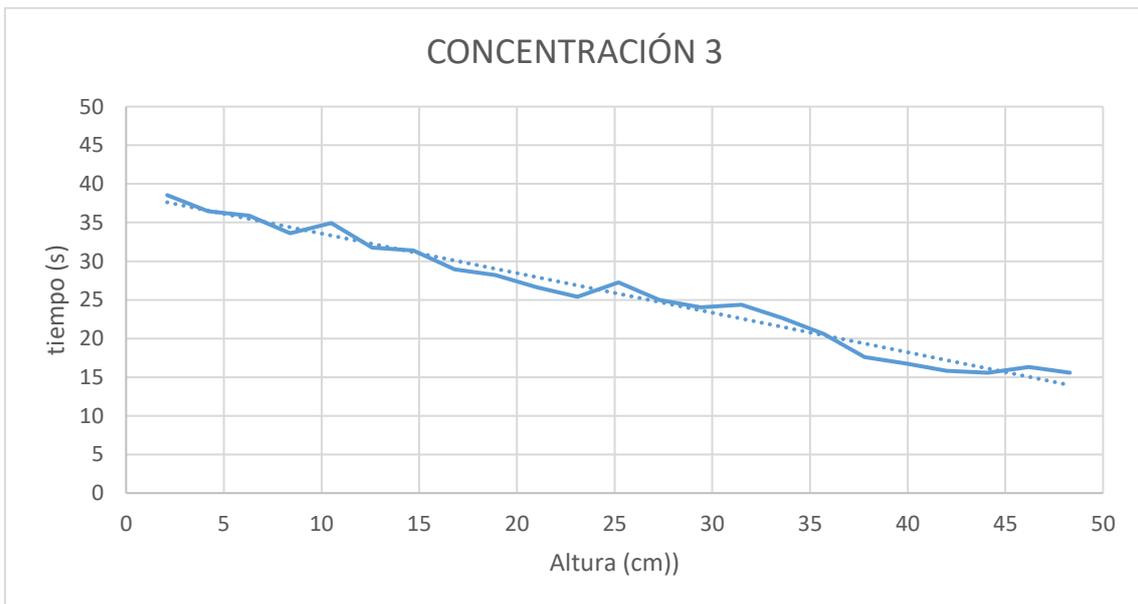
23	2.10	4.20	30.98	0.07	28.89	0.07	23.59	0.09	32.75	0.06	29.053	0.073
24	2.10	2.10	33.75	0.06	32.23	0.07	23.33	0.09	36.82	0.06	31.533	0.069
25	2.10	0.00	35.59	0.06	37.89	0.06	29.33	0.07	37.36	0.06	35.043	0.061
PROM.											20.852	0.111



Muestra de 5 ml	
Microalgas	3 ml
Agua	2 ml

ml	Altura (cm)	Altura acumulada (cm)	T1	V1	T2	V2	T3	V3	T4	V4	Tiempo promedio [s]	Velocidad [cm/s]
2	2.10	48.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
3	2.10	46.20	15.77	0.13	13.37	0.16	12.45	0.17	20.70	0.10	15.573	0.140
4	2.10	44.10	19.28	0.11	15.32	0.14	14.66	0.14	15.93	0.13	16.298	0.130
5	2.10	42.00	14.96	0.14	18.03	0.12	14.06	0.15	15.28	0.14	15.583	0.136
6	2.10	39.90	15.79	0.13	16.47	0.13	15.09	0.14	15.94	0.13	15.823	0.133
7	2.10	37.80	16.71	0.13	18.07	0.12	16.22	0.13	16.03	0.13	16.758	0.126
8	2.10	35.70	17.93	0.12	17.81	0.12	17.13	0.12	17.44	0.12	17.578	0.120
9	2.10	33.60	20.55	0.10	23.53	0.09	19.03	0.11	19.24	0.11	20.588	0.103
10	2.10	31.50	22.30	0.09	27.37	0.08	20.14	0.10	20.64	0.10	22.613	0.094
11	2.10	29.40	24.26	0.09	29.65	0.07	22.61	0.09	20.88	0.10	24.350	0.088
12	2.10	27.30	26.41	0.08	24.30	0.09	22.27	0.09	23.14	0.09	24.030	0.088
13	2.10	25.20	26.17	0.08	25.88	0.08	23.23	0.09	24.72	0.08	25.000	0.084
14	2.10	23.10	29.33	0.07	25.37	0.08	27.69	0.08	26.58	0.08	27.243	0.077
15	2.10	21.00	24.28	0.09	29.29	0.07	21.75	0.10	26.32	0.08	25.410	0.084
16	2.10	18.90	33.35	0.06	29.35	0.07	16.78	0.13	27.12	0.08	26.650	0.084

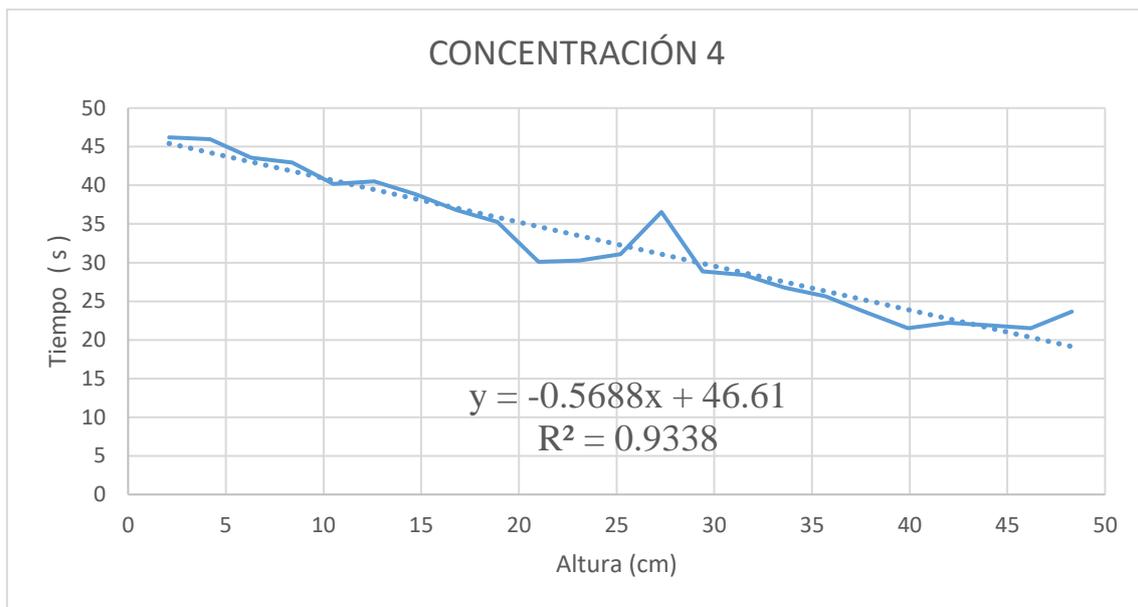
17	2.10	16.80	31.04	0.07	30.31	0.07	20.58	0.10	30.84	0.07	28.193	0.077
18	2.10	14.70	32.18	0.07	32.36	0.06	25.78	0.08	25.39	0.08	28.928	0.074
19	2.10	12.60	30.84	0.07	33.64	0.06	30.35	0.07	30.67	0.07	31.375	0.067
20	2.10	10.50	35.20	0.06	34.50	0.06	23.51	0.09	33.80	0.06	31.753	0.068
21	2.10	8.40	35.44	0.06	35.43	0.06	35.43	0.06	33.50	0.06	34.950	0.060
22	2.10	6.30	37.20	0.06	29.85	0.07	33.45	0.06	33.99	0.06	33.623	0.063
23	2.10	4.20	37.16	0.06	36.03	0.06	33.02	0.06	37.29	0.06	35.875	0.059
24	2.10	2.10	37.29	0.06	35.71	0.06	35.76	0.06	37.05	0.06	36.453	0.058
25	2.10	0.00	40.37	0.05	38.50	0.05	38.14	0.06	37.18	0.06	38.548	0.055
PROM.											25.791	0.090



Muestra de 5 ml	
Microalgas	3 ml
Agua	2 ml

ml	Altura (cm)	Altura acumulada (cm)	T1	V1	T2	V2	T3	V3	T4	V4	Tiempo promedio [s]	Velocidad [cm/s]
2	2.10	48.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
3	2.10	46.20	27.71	0.08	22.84	0.09	23.37	0.09	20.70	0.10	23.655	0.090
4	2.10	44.10	24.49	0.09	20.90	0.10	24.78	0.08	15.93	0.13	21.525	0.101
5	2.10	42.00	26.05	0.08	22.41	0.09	23.80	0.09	15.28	0.14	21.885	0.100
6	2.10	39.90	23.29	0.09	26.28	0.08	23.43	0.09	15.94	0.13	22.235	0.098
7	2.10	37.80	22.44	0.09	21.44	0.10	26.17	0.08	16.03	0.13	21.520	0.101
8	2.10	35.70	24.08	0.09	26.01	0.08	26.63	0.08	17.44	0.12	23.540	0.092
9	2.10	33.60	25.13	0.08	29.04	0.07	29.18	0.07	19.24	0.11	25.648	0.084
10	2.10	31.50	27.69	0.08	30.04	0.07	28.60	0.07	20.64	0.10	26.743	0.080

11	2.10	29.40	31.21	0.07	29.77	0.07	31.87	0.07	20.80	0.10	28.413	0.076
12	2.10	27.30	33.20	0.06	26.46	0.08	32.73	0.06	23.14	0.09	28.883	0.074
13	2.10	25.20	34.01	0.06	52.61	0.04	34.91	0.06	24.72	0.08	36.563	0.062
14	2.10	23.10	36.09	0.06	26.93	0.08	34.81	0.06	26.58	0.08	31.103	0.069
15	2.10	21.00	32.51	0.06	25.55	0.08	36.64	0.06	26.32	0.08	30.255	0.071
16	2.10	18.90	28.69	0.07	29.11	0.07	35.48	0.06	27.12	0.08	30.100	0.070
17	2.10	16.80	34.15	0.06	35.05	0.06	41.00	0.05	30.84	0.07	35.260	0.060
18	2.10	14.70	39.95	0.05	40.96	0.05	40.82	0.05	25.39	0.08	36.780	0.059
19	2.10	12.60	40.60	0.05	41.31	0.05	42.91	0.05	30.67	0.07	38.873	0.055
20	2.10	10.50	49.01	0.04	41.11	0.05	38.70	0.05	33.28	0.06	40.525	0.053
21	2.10	8.40	49.35	0.04	40.94	0.05	37.01	0.06	33.50	0.06	40.200	0.053
22	2.10	6.30	50.37	0.04	47.64	0.04	39.76	0.05	33.99	0.06	42.940	0.050
23	2.10	4.20	47.22	0.04	47.75	0.04	41.42	0.05	37.90	0.06	43.573	0.049
24	2.10	2.10	56.45	0.04	47.82	0.04	42.48	0.05	37.05	0.06	45.950	0.047
25	2.10	0.00	59.89	0.04	47.19	0.04	40.56	0.05	37.18	0.06	46.205	0.047
PROM.											32.277	0.071

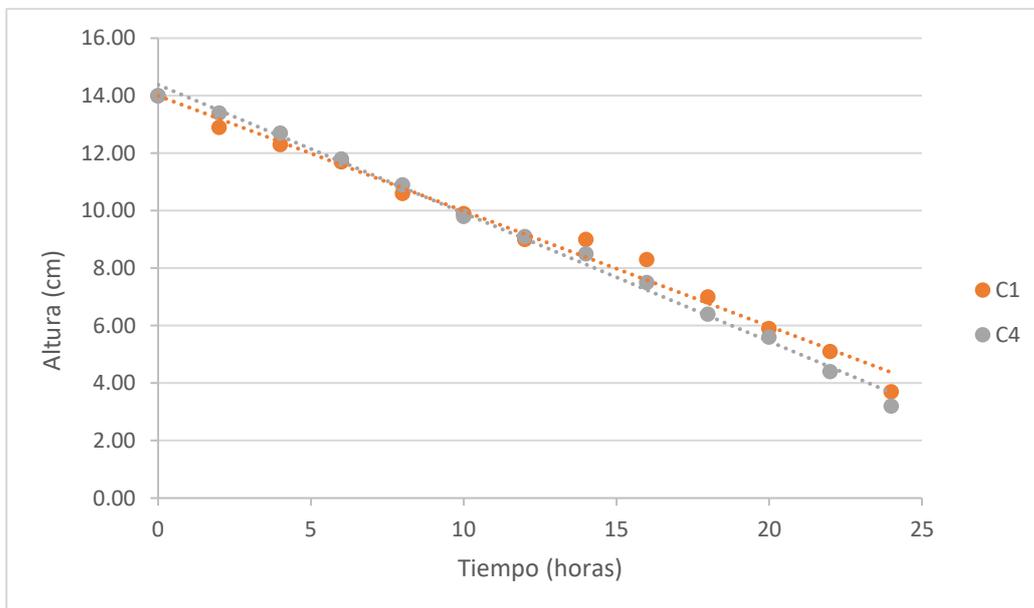


ANEXO 7. Experimentación de la velocidad de sedimentación (lentas)

C1	
microalgas	50 ml
agua	0 ml

C4	
microalgas	20 ml
agua	30 ml

NO. DE MEDICIÓN	TIEMPO [horas]	Altura [cm]	
		C1	C4
0	0	14.00	14.00
1	2	12.90	13.40
2	4	12.30	12.70
3	6	11.70	11.80
4	8	10.60	10.90
5	10	9.90	9.80
6	12	9.00	9.10
7	14	9.00	8.50
8	16	8.30	7.50
9	18	7.00	6.40
10	20	5.90	5.60
11	22	5.10	4.40
12	24	3.70	3.20



ANEXO 8. Tablas auxiliares AMEF.

Se utilizaron tablas estandarizadas [32] para evaluar la severidad de los posibles modos de fallo las cuales se presentan a continuación:

Tabla 1. Clasificación de la gravedad

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observaría un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

Tabla 2. Clasificación de la frecuencia

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9-10

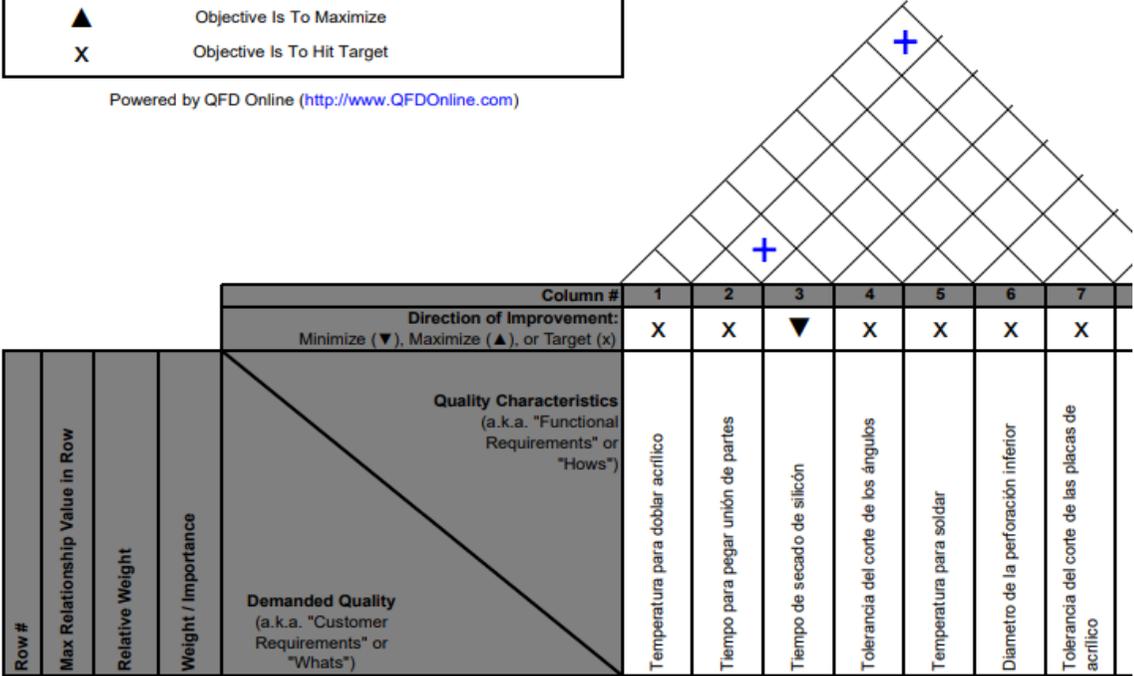
Tabla 3. Clasificación de la detección del modo de fallo

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9-10

ANEXO 9. QFD 3 (Procesos)
Relación entre los CÓMOS

Legend		
⊕	Strong Relationship	9
○	Moderate Relationship	3
▲	Weak Relationship	1
⦶	Strong Positive Correlation	
+	Positive Correlation	
—	Negative Correlation	
▼	Strong Negative Correlation	
▼	Objective Is To Minimize	
▲	Objective Is To Maximize	
X	Objective Is To Hit Target	

Powered by QFD Online (<http://www.QFDOnline.com>)



Matriz de relaciones.

1	3	22.5	578.5	Volumen del tanque		○						▲
2	3	5.9	152.9	Caudal de la salida del agua residual							○	
3	3	20.1	516.7	Bandejas o placas de inclinación	○							○
4	3	2.7	68.3	Peso de la base estructural				○				
5	9	5.7	145.7	Diametro del tubo de descarga de lodos							⊖	
6	3	12.1	311.5	Grado de inclinación de las bandejas o placas de inclinación								○
7	3	19.3	495.0	Altura del tanque de sedimentador	▲							○
8	3	5.9	151.6	Altura del soporte				○	▲			
9	9	2.9	73.8	Resistente a la presión hidrostática		⊖	⊖				▲	▲
10	9	3.0	76.9	Soporte resistente				▲	⊖			

Target or Limit Value	160°C - 180°C	25 min	3-5 días	3 mm	150°C-300°C	Igual al diametro de la llave	± 1 mm
Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)	6	1	1	5	3	3	6
Max Relationship Value in Column	3	9	9	3	9	9	3
Weight / Importance	79.5	93.3	25.8	28.7	32.8	71.7	179.8
Relative Weight	15.5	18.2	5.0	5.6	6.4	14.0	35.1

ANEXO 10. Planeación de procesos.

Código: PDP-SD-001

Nombre: Medir el acrílico.

Tiempo: 20 min.

Herramientas: Lapicero para marcar el acrílico, escuadra de 50 cm y flexómetro.

- A. Para marcar el acrílico se recomienda no quitar el plástico de protección para evitar dañar el acrílico.
- B. Colocar la placa de acrílico en la mesa de trabajo.
- C. Medir la tira de acrílico necesaria y marcar la posición para realizar el corte.
- D. Posicionar la escuadra.



Código: PDP-SD-002

Nombre: Cortar acrílico.

Tiempo: 25 min.

Herramientas: Cortador de acrílico, cúter y escuadra 50 cm.

- A. Se recomienda no quitar el plástico de protección para evitar rayar el acrílico durante su manipulación.
- B. Colocar la placa de acrílico en la mesa de trabajo.
- C. Posicionar la escuadra sobre las marcas donde se cortará el acrílico.
- D. Con ayuda de la escuadra se guía el cortador, para obtener la tira de acrílico.
- E. El cortador pasa a través del acrílico hasta penetrar la mitad de filo.
- F. Se retira el acrílico excedente.
- G. Con ayuda del cúter se retira el plástico de protección sobrante.



Código: PDP-SD-003

Nombre: Doblar acrílico.

Tiempo: 35 min.

Herramientas: Dobladora y guías para doblar (92° y 55°).

- A. Se recomienda no quitar el plástico de protección para evitar rayar el acrílico durante su manipulación.
- B. Colocar el acrílico sobre la dobladora y esperar a que caliente.
- C. Una vez que se haya calentado se doblará las placas de acrílico, con ayuda de las guías, las cuales indicaran la inclinación.

Nota: Para esta actividad se recomienda que la lleven a cabo mínimo 3 personas para poder realizar la inclinación correctamente.



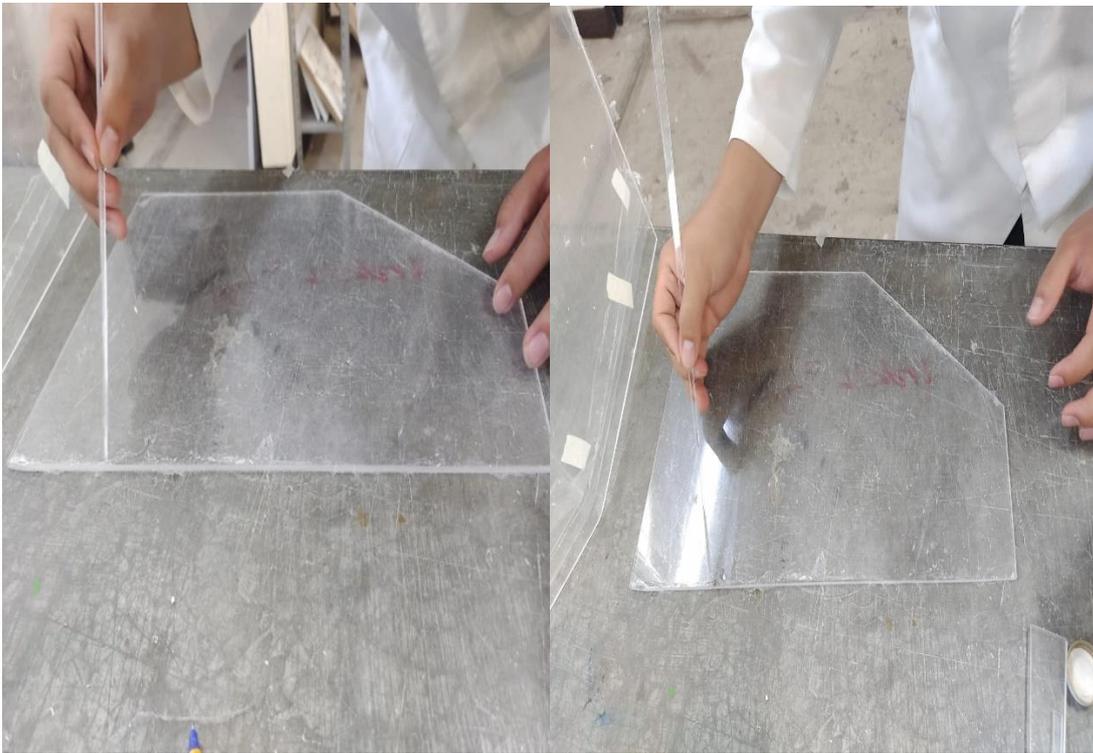
Código: PDP-SD-004

Nombre: Pegar acrílico.

Tiempo: 35 min.

Herramientas: Adhesivo tipo cemento (Marca Plastiglas) y aplicador o brocha.

- A. Se recomienda quitar el plástico de protección solo en los extremos a adherir para evitar dañar el acrílico durante su manipulación.
- B. Con ayuda de un aplicador, se toma el adhesivo y se coloca sobre la superficie a adherir.
- C. Unir las piezas y sostener por 15 min aproximadamente.



Código: PDP-SD-005

Nombre: Medir y cortar ángulos.

Tiempo: 35 min.

Herramientas: Flexómetro, lápiz, sierra de banco, ángulos y lima.

- A. Se miden los ángulos hasta las dimensiones deseadas y se marcan con ayuda del lápiz.
- B. Para cortar se utiliza la sierra de banco (nota: considerar los 3 mm del disco).
- C. Se quita el filo y rebaba de los ángulos con la lima.



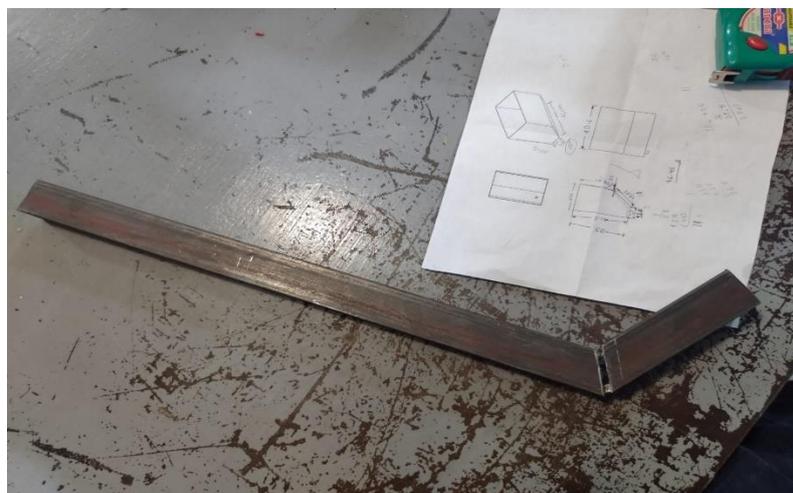
Código: PDP-SD-006

Nombre: Doblar y cortar ángulos inclinados.

Tiempo: 45 min.

Herramientas: Flexómetro, lápiz, transportador, ángulos, lima, segueta y arco.

- A. Se miden los ángulos hasta las dimensiones deseadas y se marcan con ayuda del lápiz.
- B. Basándose en la línea marcada y con ayuda del transportador se marca la inclinación deseada.
- C. Con ayuda de la segueta se corta el triángulo marcado.
- D. Se dobla el ángulo.



Código: PDP-SD-007

Nombre: Soldar ángulos.

Tiempo: 3 horas.

Herramientas: Electrodo, fuente de energía de soldadura, porta electrodo, casco de soldadura, pulidora y guantes de carnaza.

- A. Colocar las piezas en la posición deseada para la soldadura y colocarlas en su lugar correspondiente.
- B. Colocar el electrodo en la porta electrodo y sujetar firmemente la pinza de tierra a la pieza de trabajo.
- C. Colocarse el equipo de protección personal, casco de soldador y guantes.
- D. Unir las piezas depositando el material de soldadura y fundiendo las superficies para formar el cordón de soldadura.
- E. Inspeccionar el cordón de soldadura para asegurarse de que esté completo y sin defectos. Si es necesario, repetir el proceso en las áreas que requieran más soldadura.
- F. Limpiar la escoria e impurezas y pulir.



Código: PDP-SD-008

Nombre: Colocación de la llave de salida.

Tiempo: 15 min.

Herramientas: Taladro inalámbrico, broca de 22 mm, llave de bola, adaptador macho y 2 empaques (juntas tóricas).

- A. Se recomienda no quitar el plástico de protección para evitar rayar el acrílico durante su manipulación.
- B. Se marca el centro de la perforación
- C. Se coloca la broca en el taladro y se posiciona la herramienta.
- D. Una vez hecha la perforación se coloca el adaptador macho de PVC en el interior del tanque junto con un empaque.
- E. Se ajusta la llave de bola en el exterior y se enrosca, también se coloca el empaque en el exterior.



Código: PDP-SD-009

Nombre: Colocar silicón

Tiempo: 15 min.

Herramientas: Silicón acético, pistola calafateadora y cinta tipo masking.

- A. Se recomienda no quitar el plástico de protección para evitar rayar el acrílico durante su manipulación.
- B. Se coloca la cinta alrededor de las uniones para evitar que caiga en las paredes del sedimentador.
- C. Con ayuda de la pistola calafateadora se colocan el silicón en las juntas de las paredes (con el objetivo de evitar fugas).

