

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de los sistemas de mezclado en una línea de
producción de fragancias en Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Daniel Alejandro Alvarez Donis
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica
Industrial

Guatemala, 2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de los sistemas de mezclado en una línea de
producción de fragancias en Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Daniel Alejandro Alvarez Donis
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica
Industrial

Guatemala, 2025


Vo.Bo. Asesor


Ing. José Rodrigo Aragón Cabrera

Vo.Bo. Terna Examinadora


MBA Gustavo Adolfo Barrera Noriega


Ing. José Rodrigo Aragón Cabrera


Inga. Laura María Roldan Reyes

Fecha de aprobación de examen de graduación: Guatemala, 19 de junio 2025.

A través de una colaboración entre la empresa Aromas, Perfumes, Aceites Esenciales y Sabores S.A. (APAESA) y la Universidad del Valle de Guatemala (UVG), surgió la oportunidad de desarrollar un proyecto de investigación para identificar oportunidades de mejora en el proceso de fabricación de fragancias. La investigación permitió aplicar los conocimientos adquiridos durante el estudio de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica Industrial para resolver un reto de una industria nacional. El proyecto de investigación se enfoca en la mejora de la productividad de uno de los procesos operativos de la empresa. A través de los resultados, se podrán implementar soluciones que mejoren los tiempos de producción. De este modo, proyectos similares permiten aportar al desarrollo económico, tecnológico y social del país.

Prefacio	III
Lista de figuras	IX
Lista de cuadros	X
Resumen	XI
<i>Abstract</i>	XII
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
2.1. Diseño, fabricación y comercialización de tanques de mezclado	3
2.2. Programas de simulación CFD para tanques de mezclado	4
3. Justificación	6
4. Objetivos	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
5. Marco teórico	8
5.1. Descripción de mezcladores	8
5.2. Tipos de mezcladores	8
5.2.1. Mezcladores portátiles	9
5.2.2. Mezcladores de entrada superior	9
5.2.3. Mezcladores de turbina	10
5.2.4. Mezcladores de entrada lateral	10
5.2.5. Mezclador de entrada inferior	11
5.2.6. Mezclador de alta viscosidad	12
5.2.7. Mezcladores de alto cizallamiento	12
5.3. Impulsores	13
5.3.1. Turbinas	14

5.3.2.	Hélices	15
5.3.3.	Alto cizallamiento vs. bajo cizallamiento	17
5.4.	Patrones de flujo	18
5.4.1.	Prevención del vórtice	18
5.5.	Mecanismo de impulso	22
5.6.	Montaje del equipo	22
5.7.	Flecha de la mezcladora	22
6.	Metodología	25
6.1.	Descripción de la metodología	25
6.2.	Identificación de necesidades	25
6.2.1.	Descripción de los sistemas de mezclado diseñados por APAESA	25
6.3.	Definición de requisitos	29
6.4.	Simulación de mezclado en ANSYS	30
6.4.1.	Preparación del modelo CAD	30
6.4.2.	Preparación del modelo en <i>design modeler</i>	30
6.4.3.	Mallado del modelo	31
6.4.4.	Configuración de ANSYS Fluent	33
6.4.5.	Ejecución de la simulación en ANSYS Fluent	41
6.5.	Pruebas preliminares	42
6.6.	Diseño de prototipo para fabricación	46
6.6.1.	Cálculos preliminares	46
6.6.2.	Selección del diámetro del impulsor	47
6.6.3.	Cálculo de la potencia requerida	48
6.6.4.	Consideración de materiales y método de manufactura	50
6.6.5.	Diseño de maquinado CNC	52
6.6.6.	Diseño de deflectores	61
6.6.7.	Dimensionamiento del eje	66
6.7.	Pruebas realizadas	68
6.7.1.	Uso de la hélice de tres palas inclinadas con dobleces en las palas	68
6.7.2.	Uso de deflectores en los tanques	75
6.7.3.	Análisis financiero	79
7.	Resultados	82
7.1.	Simulación de mezclado con diferentes impulsores	82
7.1.1.	Simulaciones para el tanque de 40 kg	82
7.1.2.	Simulaciones para el tanque de 200 kg	84
7.2.	Pruebas realizadas	86
7.2.1.	Agitación utilizando hélice P3B	86
7.2.2.	Agitación utilizando deflectores y hélice de APAESA	86
7.3.	Especificaciones técnicas del mezclador diseñado	86
7.3.1.	Cotización de materiales necesarios	87
7.3.2.	Requisitos de diseño	88
8.	Análisis de resultados	89
8.1.	Simulación de mezclado con diferentes impulsores	89
8.2.	Tiempos originales de mezclado	90
8.3.	Pruebas realizadas	90

8.3.1. Diseño de hélice P3B	90
8.3.2. Diseño de agitador	91
8.3.3. Diseño de deflectores	91
8.3.4. Análisis financiero	91
9. Conclusiones	93
10. Recomendaciones	94
11. Bibliografía	95
12. Anexos	98
12.1. Certificado de pruebas en APAESA	98
12.2. Plano de hélice y deflectores diseñados	102
12.3. Protocolo de pruebas	109

Lista de figuras

1.	Mezclador portátil con montaje de tipo sargento	9
2.	Mezclador de entrada superior con con montaje tipo brida	10
3.	Mezclador de entrada lateral	11
4.	Mezclador de entrada inferior	11
5.	Mezcladores para alta viscosidad	12
7.	Tipos de flujo	14
8.	Diseño estándar de una turbina	15
9.	Tipos de turbinas	16
10.	Hélices Scaba SHP	16
11.	Impulsores de alta eficiencia	17
12.	Agitadores para líquidos de viscosidad moderada: a) agitador marino de tres palas, b) turbina simple de pala recta, c) turbina de disco, d) agitador de pala cóncava CD-6, e) turbina de pala inclinada	17
13.	Efecto del vórtice	18
14.	Opciones de descentrado	19
15.	Tanque con deflectores	20
16.	Diseño estándar de los deflectores	21
17.	Número de potencia N_p en función del número de Reynolds Re para turbinas e impulsores de alta eficiencia	23
18.	Número de potencia N_p vs número de Reynolds Re para hélices marinas (paso = 1.5:1) y cintas helicoidales	23
19.	Placa del motor de 0.50 HP	26
20.	Placa del motor de 0.25 HP	26
21.	Formación de un vórtice durante proceso de agitación	27
22.	Equipos de agitación utilizados en APAESA	28
23.	Agitador en estado de reposo	28
24.	Impulsor utilizado por APAESA	29
25.	Tanque de 200 kg con impulsor de APAESA en Inventor	31
26.	Tanque de 200 kg con impulsor Rushton en Autodesk Inventor [®]	31
27.	Sesgo o <i>skewness</i> vs. cantidad de elementos para el modelo del impulsor de APAESA	32
28.	Elementos con sesgo de 0.833 del modelo del impulsor de APAESA	32

29.	Sesgo o <i>skewness</i> vs. cantidad de elementos para el modelo del impulsor Rushton	33
30.	Elementos con sesgo de 0.837 del modelo del impulsor Rushton	33
31.	Configuración del <i>solver</i> de ANSYS Fluent	34
32.	Vista de la ventana del <i>solver</i> de <i>fluid flow (fluent)</i> de ANSYS	34
33.	Configuración en <i>multiphase model</i>	35
34.	Configuración en <i>viscous model</i>	36
35.	Configuración en <i>multiphase model > phases</i>	37
36.	Configuración del <i>cell zone condition</i> para el flujo del impulsor	37
37.	Configuración del <i>cell zone condition</i> para el tanque	38
38.	Creación de zona para la fase del aceite en la mezcla	38
39.	Zona creada para la fase del aceite	39
40.	Creación de <i>iso-surface</i>	39
41.	Creación de una animación de la solución	40
42.	Inicialización del programa y <i>patch</i> de la región del aceite	41
43.	Parámetros para ejecutar la simulación en Ansys Fluent	42
44.	Agitador superior OS-20L	43
45.	Agitador centrado en agua	43
46.	Agitador descentrado en agua	44
47.	Agitador en agua con deflector	44
48.	Mezcla de agua y manzanilla con agitador centrado	45
49.	Mezcla de agua y manzanilla con agitador centrado y deflector	45
50.	Curva de operación de motor W22 NEMA <i>premium efficiency</i> trifásico con convertor de frecuencia	49
51.	Turbina de 3 palas inclinada con dobles diagonales en las palas de acuerdo al estándar CVS 69 1043	50
52.	Diseño CAD de la hélice P3B	52
53.	Diseño CAD de la hélice P3B con material de <i>stock</i>	53
54.	Modelado CAM del primer maquinado en Autodesk Inventor®	54
55.	Ruta de la operación <i>face</i> en el primer maquinado	54
56.	Resultado de la operación <i>pocket</i> en el primer maquinado	55
57.	Resultado de la operación <i>contour</i> en el primer maquinado	55
58.	Resultado del primer maquinado y duración total	56
59.	Alineación del <i>stock</i> al eje <i>Y</i> de la mesa de trabajo	56
60.	Ruta de la operación <i>face</i> en el segundo maquinado	57
61.	Resultado de la operación <i>adaptive 3D</i> en el segundo maquinado	57
62.	Resultado de la operación <i>parallel 3D</i> en el segundo maquinado	58
63.	Primer maquinado volteado y duración total del segundo maquinado	58
64.	Fresadora CNC vertical Hass VF1	59
65.	Inicio del primer maquinado CNC	59
66.	Acabado del primer maquinado	60
67.	Calibrado del <i>stock</i> de material para el segundo maquinado	60
68.	Acabado del segundo maquinado CNC	60
69.	Diseño A de deflectores removibles	61
70.	Diseño A de deflectores removibles en tanque de 25 kg	62
71.	Diseño B de deflectores removibles	62
72.	Diseño B de deflectores removibles en tanque de 25 kg	63
73.	Prensa de 1 pulgada de profundidad	64
74.	Corte de deflectores	65

75.	Deflector con sargento soldado y acabado de pintura	65
76.	Preparación del agitador para mezclar en tanque de 200 kg	69
77.	Hélice centrada en el tanque de 200 kg	69
78.	Formación del vórtice en el tanque de 200 kg	70
79.	Hélice desfasada del centro del tanque de 200 kg	70
80.	Agitación del tanque de 200 kg con el eje desfasado	71
81.	Tanque con 150 kg de Citronela y diámetro del tanque	72
82.	Medición del desfase de la hélice del centro del tanque	72
83.	Agitación de 150 kg de Citronela	72
84.	Formación de espuma al finalizar la mezcla de la Citronela	73
85.	Toma de muestra de la Citronela	73
86.	Resultado de la densidad de Almendras Amargas Intense luego de 10 minutos de agitación	74
87.	Muestras de la fragancia Floral Tide en diferentes momentos de la agitación .	74
88.	Estado inicial de Vanilla Cares	76
89.	Vista ampliada de la superficie de Vanilla Cares antes de iniciar la agitación .	76
90.	Agitación de Vanilla Cares	77
91.	Proceso de agitación terminado para Vanilla Cares	77
92.	Agitación de producto sin utilizar deflectores	78
93.	Agitación de producto utilizando deflectores	78
94.	Estado inicial de los tanques de mezclado con capacidad de 40 kg	82
95.	Estado de los tanques de mezclado con capacidad de 40 kg luego de unos segundos de mezcla	83
96.	Estado inicial de los tanques de mezclado con capacidad de 200 kg	84
97.	Estado de los tanques de mezclado con capacidad de 200 kg luego de 10 segundos de mezcla	85

Lista de cuadros

1.	Características de impulsores para agitadores	21
2.	Dimensiones de los tanque de agitación utilizados en APAESA	26
3.	Propiedades de los vehículos utilizados en las mezclas	27
4.	Identificación de códigos	29
5.	Requisitos de diseño	29
6.	Potencia requerida para agitar en diferentes tanques de APAESA	47
7.	Relación diámetro impulsor/tanque (%)	47
8.	Requerimiento de potencia para un impulsor Rushton de 13.5 cm de diámetro	48
9.	Requerimiento de potencia para una turbina de tres palas inclinada según estándar CVS 69 1043 de 13.5 cm de diámetro	50
10.	Cotización de materiales para la fabricación de un prototipo de hélice	51
11.	Comparación de modelos de deflectores diseñados	64
12.	Velocidades críticas de los ejes de 0.5 y 1.0 pulgadas de diámetro con impulsor P3B	68
13.	Historial de tiempos de mezclado para Almendras Amargas Intense	86
14.	Resultados de las pruebas de estándares de calidad para la fragancia de Almendras Amargas Intense	86
15.	Resultados de las pruebas de estándares de calidad para diferentes fragancias de APAESA	86
16.	Resultado de la prueba de estándares de calidad para la fragancia de Vanilla Cares	86
17.	Características seleccionadas para el mezclador industrial	87
18.	Presupuesto para una mezcladora de 1.0 hp	87
19.	Presupuesto para fabricación de deflectores	87
20.	Cotizaciones para fabricación en CNC	88
21.	Requisitos de diseño	88

APAESA, una empresa de fabricación de fragancias en Guatemala, desea mejorar los tiempos de mezclado de sustancias que debe realizar para poder elaborar sus esencias. Los parámetros de las mezclas que manejan actualmente indican que los tiempos de mezclado son más largos de lo esperado. Se investigó las causas de los retrasos en las líneas de fabricación de la planta, centrandó el estudio en las máquinas de mezclado que utilizan. Se utilizó un software de análisis de elementos finitos para comprobar los efectos del uso de diferentes hélices. La solución propuesta y ejecutada consistió en el diseño y fabricación de una hélice de mezclado que cumpliera con los requisitos de homogeneización de los procesos productivos de la empresa. Se utilizaron tecnologías CAD/CAM para la manufactura de la hélice. Así también, se diseñaron deflectores removibles para aumentar la eficiencia de las mezclas de la empresa. Como resultado, se logró reducir más del 60 % del tiempo requerido para completar los procesos de agitación de APAESA.

APAESA, a fragrance manufacturing company in Guatemala, aims to improve the mixing times of substances required to produce its essences. The parameters of the mixtures they currently manage indicate that the mixing times are longer than expected. The causes of delays in the plant's manufacturing lines were investigated, focusing the study on the mixing machines they use. A finite element analysis software was used to assess the effects of using different propellers. The proposed and implemented solution involved the design and fabrication of a mixing propeller that met the homogenization requirements of the company's production processes. CAD/CAM technologies were utilized for the manufacturing of the propeller. Additionally, removable deflectors were designed to increase the efficiency of the company's mixtures. As a result, more than 60 % of the time required to complete APAESA's agitation processes was reduced.

CAPÍTULO 1

Introducción

Para la industria de producción de fragancias, la eficiencia en los procesos de mezclado es un factor crucial, donde la homogeneidad de las mezclas afecta directamente la calidad del producto final. APAESA ha identificado que los tiempos de mezclado actuales se pueden reducir, incrementando la productividad de la empresa.

El presente trabajo surge a partir de la necesidad de mejorar dichos tiempos de mezclado, optimizando tanto el diseño de las hélices como el uso de deflectores en los tanques de la empresa. Los antecedentes indican que el diseño de tanques de mezclado y sus componentes mecánicos ha sido objeto de estudio durante décadas, con importantes contribuciones de autores como Dickey y Fasano (2003) y Harriot y McCabe (2007), quienes han descrito las bases del diseño de mezcladores y la dinámica de fluidos en aplicaciones industriales. Asimismo, estudios más recientes, como los de Jirout y Rieger (2011), han mostrado que la mejora en el diseño de impulsores, más que en los tanques en sí, puede ofrecer incrementos significativos en la eficiencia energética y la reducción de tiempos de proceso.

Los sistemas de mezclado industrial se componen de diversos elementos que trabajan en conjunto para asegurar la homogeneidad de las mezclas. Entre los componentes principales de estos sistemas se encuentran el motor, la caja reductora, la flecha, los impulsores y el tanque. Cada uno de estos elementos debe diseñarse según las necesidades específicas del proceso, teniendo en cuenta factores como el tipo de fluido, su viscosidad, y el volumen a mezclar (Injeti, 2015). Los mezcladores se clasifican en distintos tipos, como los portátiles, los de entrada superior, los de turbina y los de alta viscosidad, cada uno con características que se adaptan a diferentes aplicaciones industriales (Dickey y Fasano, 2003).

La selección del impulsor es crucial para determinar el patrón de flujo en el tanque. Los impulsores de hélice generan un flujo axial, adecuado para mezclas de baja viscosidad, mientras que las turbinas, que pueden ser de palas planas o inclinadas, se emplean en procesos que requieren mayor cizallamiento, como en fluidos de alta viscosidad. La elección de los impulsores también depende del tipo de flujo que se busca generar: axial, radial o tangencial. Además, para evitar la formación de vórtices, es común utilizar deflectores en los tanques de mezclado, lo que ayuda a mejorar el flujo axial y a mantener la uniformidad en la mezcla

(Injeti, 2012).

El diseño de estos sistemas también se ve beneficiado por el uso de herramientas de simulación computacional, como la dinámica de fluidos computacional (CFD), que permite modelar y optimizar el comportamiento del fluido dentro del tanque bajo diferentes configuraciones. Estas simulaciones reducen la necesidad de pruebas físicas y ayudan a ajustar variables como la potencia requerida, el diseño del impulsor y la disposición de los deflectores, lo que aumenta la eficiencia operativa y reduce los costos.

Durante el desarrollo de este proyecto, se detectaron varias oportunidades de mejora, siendo la principal la manufactura de hélices en aluminio 6061 y la incorporación de deflectores adecuados para los tanques. Este enfoque permitió una reducción significativa en los tiempos de mezclado, brindando una oportunidad para que la empresa pueda aumentar su eficiencia operativa. Los materiales fueron seleccionados con el fin de que fueran resistentes a la corrosión al entrar en contacto con los químicos utilizados durante las agitaciones.

2.1. Diseño, fabricación y comercialización de tanques de mezclado

El diseño de tanques de mezclado es un campo que ha sido estudiado ampliamente desde hace más de 20 años. Sin embargo, los diseños de tanques presentados por diferentes autores presentan poca variación durante este período de tiempo. Dickey y Fasano (2003) desarrollaron un capítulo completo para el diseño de tanques de mezclado en el libro *Handbook of industrial mixing: Science and practice*. El diseño presentado por otros autores siguen normas similares presentadas en este manual. Kars-Jordan (2007) desarrolló un manual de agitadores en su presentación para tesis de maestría en ciencias para la Universidad KTH. En común con Dickey y Fasano mencionan los componentes mecánicos indispensables de un agitador. Sin embargo, como información adicional presenta la descripción de los diferentes tipos de agitación, y principios de la mecánica de fluidos en esta aplicación. Harriot y McCabe (2007) describen en su libro de *Operaciones unitarias en ingeniería química* varias características importantes de los tanques de agitación. Los temas que abarcan incluyen la definición de tanques de mezclado, tipos de impulsores, dimensionamiento general de impulsores y tanque, y patrones de flujo. Principalmente, su literatura se enfoca ampliamente en el estudio de la mecánica de fluidos en los tanques agitadores. Castillo Uribe (2013) desarrolló un trabajo de titulación en ingeniería mecánica, centrado en el diseño de un agitador de fluidos. Los principios utilizados para su diseño concuerdan con la información expuesta por varios de los autores antes mencionados.

Algunos estudios donde se ha procurado la innovación se enfocan en el diseño de hélices de mezclado, más que en el tanque de agitación completo. Jirout realizó estudios para determinar el efecto y eficiencia de diferentes impulsores en la suspensión de partículas (Jirout y Rieger, 2011). Sharrow Marine se ha dedicado a la fabricación de impulsores que reduzcan el consumo energético y aumente la eficiencia de las hélices utilizadas en barcos, drones y aires acondicionados. Una de sus creaciones, la Sharrow CX, presenta un 30 % de mayor eficiencia y 80 % más silencioso que hélices estándar (Díaz, 2024).

En la industria, existen diversas empresas dedicadas al diseño, fabricación, comercialización o utilización de tanques de mezclado. Los principios en los que se basan también concuerdan con la información descrita por los demás autores de diseño de tanque de mezclado. Dynamix Agitators es una industria con 45 años de experiencia dedicada específicamente al diseño, fabricación y asesoría en el campo de mezcladores y agitadores industriales. Uno de los servicios con los que cuentan es el diseño de tanques de mezclado específico para las necesidades del cliente. Dentro de su página oficial, cuentan con una recopilación de artículos con información relevante en el tema de diseño de agitadores industriales (Dynamix Agitators, 2020).

2.2. Programas de simulación CFD para tanques de mezclado

El uso de CFD es crucial para optimizar el diseño de tanques de mezclado, simulando el comportamiento de fluidos bajo diferentes condiciones operativas. Existen diversas empresas que se han dedicado al desarrollo de software específico para el estudio de agitadores. Sin embargo, softwares de análisis de elementos finitos con módulos de CFD también pueden ser utilizados para este propósito. Entre los que existen se encuentran:

- ANSYS Fluent: ampliamente utilizado en la industria para analizar fluidos, puede ser utilizado para el estudio de flujos complejos en tanques de mezclado (ANSYS, 2024). Adicionalmente, ANSYS (2019) ha desarrollado un complemento específico para tanque de mezclado, que permite optimizar la geometría del impulsor y calcular variables como potencia requerida y distribución de velocidad del fluido.
- COMSOL Multiphysics: el *mixer module* de COMSOL Multiphysics es una herramienta especializada para la simulación de tanques de mezclado, permitiendo modelar flujos complejos generados por impulsores rotatorios en sistemas multifásicos y con transferencia de calor. Ofrece opciones avanzadas para analizar la dinámica de fluidos en movimiento relativo, como con el método de rotor congelado y mallados deslizantes. Este módulo también permite estudiar la interacción fluido-estructura y ajustar parámetros operativos para optimizar la eficiencia del mezclado. Es ideal para industrias como la química, farmacéutica y de alimentos, ayudando a reducir tiempos de desarrollo y costos mediante simulaciones precisas y flexibles (COMSOL, 2024).
- SimScale: es una herramienta CFD basada en la nube que permite simular la dinámica de fluidos en tanques de mezclado con agitadores. Facilita la optimización del diseño de impulsores y la predicción de fenómenos complejos, como la formación de vórtices o la eficiencia de transferencia de masa y calor. Al operar en línea, permite colaboraciones en tiempo real y análisis precisos de flujos multifásicos, clave para procesos en industrias químicas y farmacéuticas. Además, su capacidad de simulación reduce los costos asociados a pruebas físicas y mejora la eficiencia energética del sistema de mezclado (SimScale, s. f.).
- MixIT: es un software de análisis diseñado para predecir el rendimiento de mezcladores en tanques, especializado en procesos de mezcla industrial. Ofrece una interfaz intuitiva que permite a los usuarios definir las geometrías del tanque, incluyendo formas de fondo, *baffles* y tipos de impulsores, facilitando un diseño personalizado y eficiente.

Además, MixIT realiza análisis CFD automatizados, lo que permite evaluar parámetros como el flujo, la distribución de velocidades y la eficiencia de mezcla. Su capacidad para escalar desde aplicaciones de laboratorio hasta producción a gran escala, combinada con su biblioteca de impulsores, lo convierte en una herramienta valiosa para ingenieros de procesos.

- OpenFOAM: un software de código abierto que ofrece flexibilidad en la personalización de modelos CFD para empresas que necesitan adaptaciones específicas para sus procesos (Ltd., 2024).

El principal beneficio de estos programas es la reducción de costos mediante la simulación previa, evitando errores en el diseño físico. Además, permiten la mejora continua mediante la experimentación virtual, probando distintos escenarios operativos antes de la implementación final en planta.

APAESA es una empresa guatemalteca dedicada a la fabricación de fragancias, actividad que implica el mezclado de ingredientes en distintos solventes para lograr la homogenización de esencias disueltas. De acuerdo con estudios internos, se ha identificado la oportunidad de optimizar los tiempos de mezclado para alcanzar con mayor eficiencia los parámetros fisicoquímicos y organolépticos requeridos para cada tipo de fragancia.

El desempeño de una empresa puede estar influenciado por diversos factores del sistema productivo. Para lograr sus objetivos estratégicos, es fundamental identificar y gestionar aquellos elementos que causan un efecto en su eficiencia operativa. Si bien las organizaciones pueden tener múltiples metas, Goldratt (1990) señala que, en última instancia, toda empresa busca generar rentabilidad sostenida. En ese sentido, cualquier acción que contribuya a alcanzar esta meta fortalecen su competitividad y continuidad a largo plazo (Chase et al., 2009). Dentro de este contexto, el proceso de mezclado juega un papel clave en la cadena de valor de la producción de fragancias. Su diseño y operación deben responder a los requerimientos tanto del proceso como de los aspectos mecánicos, ya que estos influyen directamente en la calidad y consistencia del producto final. Un diseño mecánico eficiente es, por tanto, esencial para asegurar el rendimiento óptimo de los equipos de mezcla y el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos (Dickey y Fasano, 2003).

Con la finalidad de mejorar los tiempo de agitación de APAESA, se estudió el desempeño actual del proceso de mezclado de producto y se presentó una propuesta de diseño de máquina mezcladora que fuera capaz de mejorarlo. La solución involucró la selección apropiada de componentes mecánicos y eléctricos de acuerdo con los requisitos de los productos y volúmenes que maneja la empresa, entre ellos el estudio y selección de un diseño de una hélice de mezclado que pueda realizar mezclas homogéneas en un menor tiempo de trabajo que las máquinas actuales. El resultado esperado al final del proyecto es una propuesta que brinde un aumento de la capacidad de producción de la empresa.

4.1. Objetivo general

Diseñar una solución que aumente la productividad de las máquinas de mezclado para lotes menores a 200 kg en APAESA.

4.2. Objetivos específicos

1. Realizar un levantamiento de los tiempos de mezclado actuales de la empresa para lotes menores a 200 kg.
2. Seleccionar los componentes de una máquina mezcladora de acuerdo con un proceso de diseño y un análisis financiero enfocado en las especificaciones de los productos que fabrica APAESA.
3. Diseñar una hélice que se pueda adaptar a las mezcladoras actuales de la empresa.
4. Reducir los tiempos de mezclado en un 25 % de su rendimiento actual por medio del diseño seleccionado.
5. Comprobar la necesidad de manufacturar una hélice de mezclado con un proceso formal de diseño mecánico y mecanizado CNC.

5.1. Descripción de mezcladores

Un mezclador o agitador industrial se puede describir como una máquina que tiene el propósito de reducir la falta de homogeneidad de una mezcla. En la industria existe una gran variedad de aplicaciones para mezcladoras. Debido a esto, cada aplicación requiere el diseño de un equipo de mezclado se adapte a las características y requerimientos del proceso. A pesar de que la mezcladora se puede considerar como una sola máquina, se compone de varios elementos individuales, como el motor, una caja reductora, sellos, una flecha, impulsores y un tanque. Comúnmente cada uno de estos es diseñado y comprado por separado (Dickey y Fasano, 2003).

La mezcladora se puede dividir en cuatro secciones principales de acuerdo a sus componentes: mecanismo de impulso, montaje, flecha e impulsor. De acuerdo con Injeti (2015), existen 4 factores que influyen en la configuración de estas secciones. Estos son: tipo de tanque y volumen, viscosidad del fluido, gravedad específica, ambiente de trabajo y proceso. El diseñador primero debe conocer los requerimientos y características de su procesos para luego tomar decisiones sobre el diseño de su agitador.

5.2. Tipos de mezcladores

Dado que existen múltiples aplicaciones para los mezcladores, diversas configuraciones de diseño y múltiples proveedores, la clasificación de estas máquinas aborda aspectos que son comunes encontrar en todas ellas. Aunque es posible que esta descripción omita situaciones específicas, proporciona una referencia ordenada y una perspectiva introductoria para su estudio y comprensión.

5.2.1. Mezcladores portátiles

Estas hacen referencia a agitadores que trabajan entre 1/4 a 3 hp de potencia. Por lo general su montaje puede ser de tipo sargento o sujetador de tornillo. El hecho de que realmente sea portátil dependerá de su tamaño y el montaje utilizado. En su mayoría operan a velocidad del motor (1800 o 1200 rpm), o pueden trabajar con un engranaje simple de una sola reducción, aproximadamente 5:1 para operar a 350 rpm (Dickey y Fasano, 2003).

Figura 1: Mezclador portátil con montaje de tipo sargento

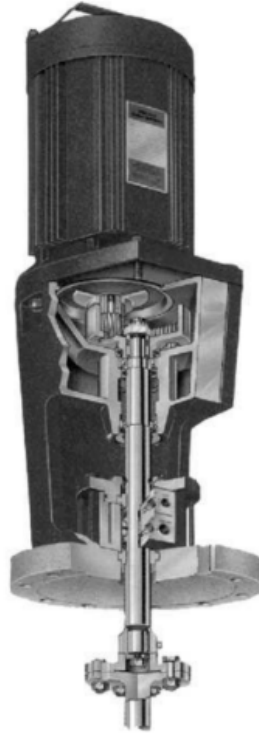


Fuente. (Dickey y Fasano, 2003).

5.2.2. Mezcladores de entrada superior

Se consideran equivalentes a los mezcladores portátiles, con la diferencia que su tipo de montaje es de brida o de pedestal, o que poseen cajas reductoras pequeñas con un motor menor a los 10 hp. La mayoría se monta en el centro de tanques de mezclado que cuentan con deflectores, o se montan descentrados verticalmente o con ángulo. También suelen utilizar un impulsor axial, como un impulsor de hidroala (*hydrofoil*), o una hélice marina. Para aplicaciones selladas, las presiones típicas son de 30 psig. Por razones de costo, es común utilizar sellos mecánicos de corrida en seco (Dickey y Fasano, 2003).

Figura 2: Mezclador de entrada superior con con montaje tipo brida



Fuente. (Dickey y Fasano, 2003).

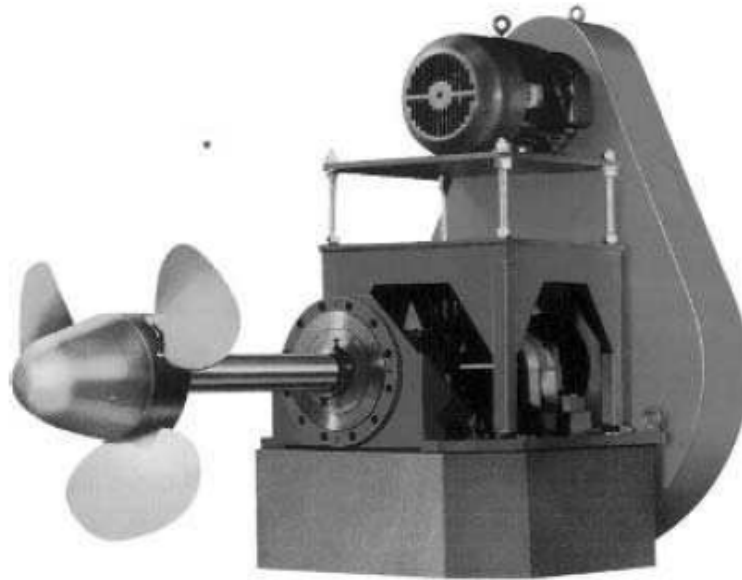
5.2.3. Mezcladores de turbina

Esta clasificación se utiliza para mezcladoras más robustas, que utilizan una mayor variedad de impulsores y tipos de sellos, y los motores pueden ser desde 1 Hp hasta 1000 Hp. Se montan centradas verticalmente en tanques cilíndricos o rectangulares. Son recomendadas para trabajar con alta viscosidad e impulsores de espacio reducido. Estas mezcladoras cuentan con cajas reductoras más elaboradas (Dickey y Fasano, 2003).

5.2.4. Mezcladores de entrada lateral

Estas mezcladoras son lo que el nombre indica. El tanque o el mezclador es el que se monta desde el lateral de la máquina. La hélice se ubica cerca del fondo del tanque, para que quede cubierta por la sustancia aún con bajos niveles de llenado y garantizar la mezcla. Su mayor desventaja es la necesidad de un sello de flecha sumergida. Cuando se mezclan lubricantes o derivados del petróleo en estas mezcladoras se suele requerir un sello positivo, mientras que productos abrasivos como pulpa de papel o lodos pueden dar problemas de desgaste de sellos. Sus ventajas son costo inicial de operación bajo, no hay necesidad de un soporte para montaje superior, y reducciones simples de velocidad debido a que operan a velocidades más altas que las mezcladoras de turbinas (Dickey y Fasano, 2003).

Figura 3: Mezclador de entrada lateral



Fuente. (Dickey y Fasano, 2003).

5.2.5. Mezclador de entrada inferior

Poseen la misma configuración que un mezclador de turbina, con la diferencia que la hélice se monta en la parte inferior del tanque. Su desventaja es la necesidad de un sello sumergido sin la ventaja de un costo bajo como las de entrada lateral. Se utilizan cuando el proceso no permite un montaje de entrada superior o lateral (Dickey y Fasano, 2003).

Figura 4: Mezclador de entrada inferior



Fuente. (Dickey y Fasano, 2003).

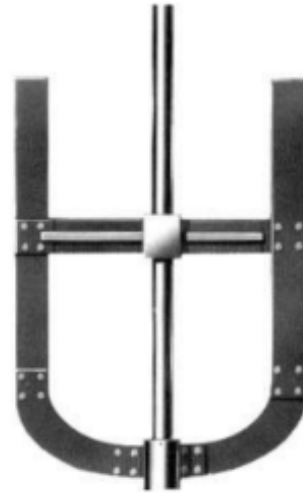
5.2.6. Mezclador de alta viscosidad

Un mezclador de turbina bien diseñado puede manejar hasta $50 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (Harriott et al., 2007). Sin embargo, para viscosidades mayores a $100 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ($100,000 \text{ cP}$) se requiere de un diseño especial de impulsores de paso cerrado. Los diámetros de estos impulsores suelen ser del 85 % al 95 % el diámetro del tanque, mientras que los mezcladores de turbina no superan el 70 %. Algunas de las formas más comunes de estos impulsores son los tipo ancla, o de cinta de doble trayectoria helicoidal. Otras características importantes son la baja velocidad y alto torque requerido para hacer girar los largos impulsores en fluidos viscosos. También se considera la necesidad de tener tanques circulares para garantizar una holgura constante entre las hélices y la pared, y la flecha se debe montar centrada al tanque (Dickey y Fasano, 2003).

Figura 5: Mezcladores para alta viscosidad



(a) Hélice de cinta de doble trayectoria



(b) Hélice tipo ancla

Fuente. (Dickey y Fasano, 2003).

5.2.7. Mezcladores de alto cizallamiento

Estos mezcladores tienen características opuestas a las que poseen los mezcladores de alta viscosidad. Sus impulsores son solo el 10 % o 20 % del diámetro del tanque, y operan a altas velocidades, desde 1000 rpm hasta 3600 rpm. Para reducir el consumo de energía con altas velocidades, los impulsores utilizan álabes pequeños. Uno de los posibles diseños de álabes es la apariencia de dientes en la orilla de un disco. Otro diseño es el de un cilindro ranurado en un elemento rotatorio y estacionario. Algunos de estos sistemas se usan en bombas con paletas de alto cizallamiento en una carcasa pequeña, por donde se bombea el líquido (Dickey y Fasano, 2003).

(a) Mezcladores de alto cizallamiento



(b) Impulsor de disco dentado



(c) Impulsor rotor-estator

Fuentes. (Dickey y Fasano, 2003).

5.3. Impulsores

El impulsor es uno de los componentes clave de un agitador industria. Este determinará el tipo de mezcla y flujo dinámico que se quiere realizar. Su diseño y selección se basa en las propiedades de los elementos o sustancias que se quieren agitar, tales como la viscosidad, densidad, volumen de la mezcla, tipo de flujo y tamaño y tipo de tanque de mezclado (Injeti, 2015).

A pesar de que los impulsores varían dependiendo del proveedor, hay cinco características que son comunes en todos estos (ProQuip Inc., s. f.):

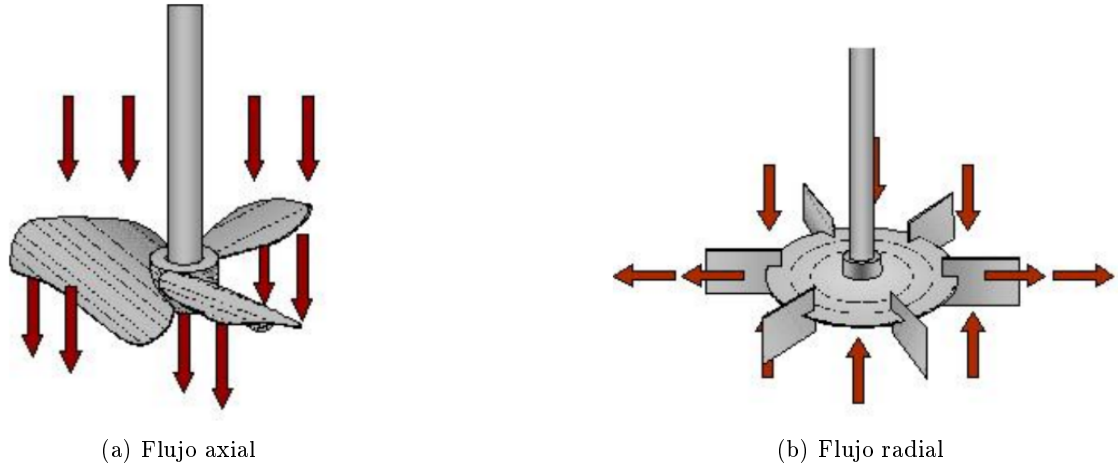
- Patrón de flujo: es la descripción del movimiento de los fluidos en un tanque de mezclado por la rotación del impulsor.
- Potencia del impulsor: la potencia necesaria para hacer rotar un impulsor específico según su diámetro y velocidad.
- Razón de bombeo del flujo: la tasa volumétrica de descarga de un impulsor que opera a una velocidad determinada, medida desde el impulsor.
- Velocidad de flujo: el vector que indica la tasa de cambio de posición de la sustancia.
- Cizallamiento del flujo: la porción de la potencia que se convierte en turbulencia en el fluido. Produce una mezcla más profunda a una escala microscópica y molecular.

Por lo tanto, la selección del impulsor dependerá de las necesidades de la aplicación de mezcla. Por ejemplo, para aplicaciones con sustancias de baja viscosidad, se necesitará un impulsor de bajo cizallamiento, pero alto flujo axial. Para aplicaciones de mayor viscosidad, el impulsor debe tener alto cizallamiento, lo que provocará un flujo radial (Kars-Jordan y Hiltunen, 2007). Para inducir un flujo en todo el tanque en estos casos se deben implementar métodos que fomenten el flujo axial, como la adición de placas deflectoras al tanque (Injeti, 2012).

Los impulsores se pueden clasificar en dos categorías: hélices y turbinas. Las hélices son diseñadas para un flujo axial, lo que significa que de un lado succiona el líquido y sale por el

otro lado en línea recta, con dirección axial a la flecha. Una turbina absorbe de forma axial el líquido y lo expulsa en forma radial (Kars-Jordan y Hiltunen, 2007).

Figura 7: Tipos de flujo



Fuente. (Kars-Jordan y Hiltunen, 2007).

5.3.1. Turbinas

Las turbinas se utilizan en procesos que requieren esfuerzos grandes de cizallamiento, por lo general cuando la sustancia es viscosa. Un buen diseño puede trabajar con sustancias de hasta 50 Pa * s de viscosidad. El movimiento radial de salida provoca un flujo tangencial en estos casos. Son usadas para dispersión de líquidos y gases (Kars-Jordan y Hiltunen, 2007).

El diseño estándar de turbinas suele ser un punto de partida al momento de diseñar un mezclador para problemas ordinarios. Sus dimensiones, descritas en la Figura 8, comúnmente tienen las siguientes proporciones:

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{H}{D_t} = 1 \quad \frac{j}{D_t} = \frac{1}{12}$$

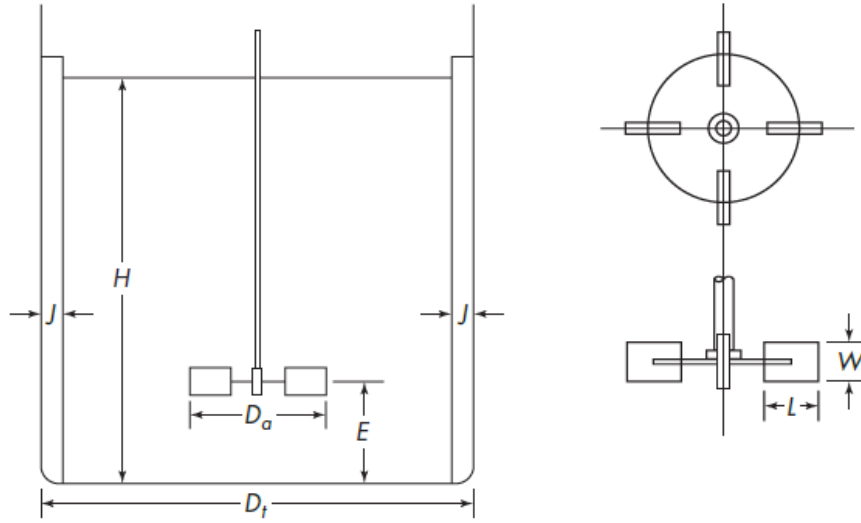
$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

Situaciones especiales pueden modificar las proporciones mencionadas. Sin embargo, estas medidas son ampliamente aceptadas y se utilizan como base de muchas correlaciones publicadas sobre el funcionamiento de agitadores (Harriott et al., 2007).

Adicional al estándar, hay algunos diseños que se pueden encontrar:

- Turbina Rushton: una de las turbinas más conocidas, cuyo diseño está patentado por Scaba AB. Consiste en un disco con 6 álabes con orientación completamente vertical. Es usado para líquidos con viscosidad de hasta 10 Pa * s y altas velocidades de mezclado en tanques con deflectores o con montaje descentrado de la flecha. Se refieren a ellas

Figura 8: Diseño estándar de una turbina



Fuente. (Harriott et al., 2007).

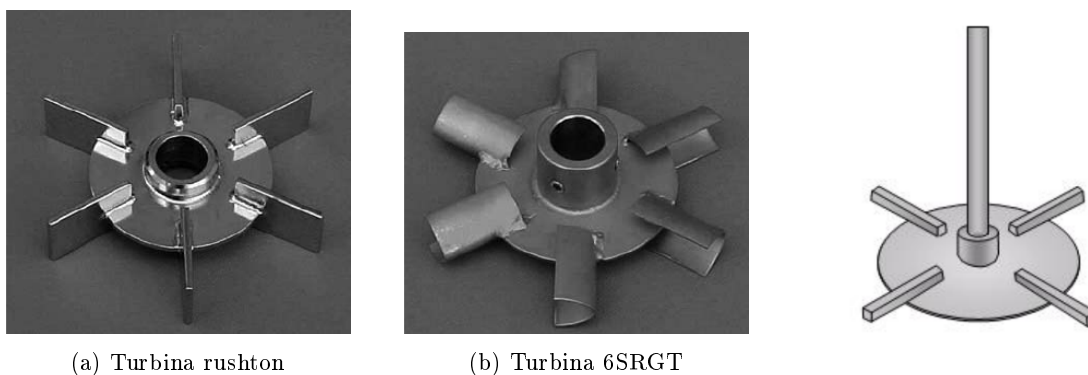
como 6RFT. La diferencia entre esta y una turbina de disco es que su diseño ya está estandarizado, descritos por una correlación entre el diámetro de la turbina d , y el diámetro interno del tanque D . La correlación es: el disco $2d/3$, los álabes son $d/5$ de alto y $d/5$ de ancho. La relación del diámetro de la turbina es $D/d = 1/5$ (Kars-Jordan y Hiltunen, 2007).

- 6SRGT: es un diseño similar a la turbina Rushton, pero su geometría mejorada proporciona mayor estabilidad en el consumo de potencia. Esta cuenta con álabes redondeados, a diferencia de los planos. Esto evita la formación de cavidades llenas de gas por detrás del álabes. También, ayuda a que la potencia impartida al fluido sea constante en comparación con la 6RFT (Kars-Jordan y Hiltunen, 2007). Esta también puede llegar a trabajar con sustancias de hasta $10 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (Whittle, s. f.).
- Turbina HD: son usadas cuando el proceso requiere alto cizallamiento. Sus álabes consisten en barras rectangulares. Se pueden ubicar cerca del fondo para prevenir sedimentación y mala mezcla de materiales. Por lo general giran a altas rpm (Kars-Jordan y Hiltunen, 2007).
- Turbina con álabes inclinados (PBT por sus siglas en inglés): son usadas cuando se necesitan flujo y cizallamiento en una mezcla. Esto dado a que sus álabes comúnmente inclinados a 45° proporciona características de flujo radial y axial. Adicional, pueden ser utilizados en fluidos de hasta $25 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ de viscosidad (Whittle, s. f.).

5.3.2. Hélices

La mayoría de las aplicaciones de los impulsores de hélice están dadas para bajas viscosidades, menores a $8 \text{ Pa} \cdot \text{s}$. Las hélices pequeñas pueden girar a altas velocidades, desde

Figura 9: Tipos de turbinas



(a) Turbina rushton

(b) Turbina 6SRGT

Fuentes. (Hoeks et al., 2003; Kars-Jordan y Hiltunen, 2007).

1150 rpm hasta 1750. Las grandes giran entre 400 y 800 rpm. Su flujo es axial y altamente turbulento. Esto genera remolinos al dejar la hélice y arrastrando el líquido que se estanca en las paredes o el fondo del tanque (Castillo, 2013).

Cuando se desean mezclar líquidos o un líquido con partículas, una de las opciones disponibles es una hélice tipo SHP. Estas hélices son un diseño patentado en 1997 por Scaba. Tienen el propósito de un gran flujo con la menor cantidad de esfuerzos de cizallamiento posibles (Kars-Jordan y Hiltunen, 2007). La hélice de designación SHP1 tiene una apariencia similar a una hélice convencional, pero su diseño proporciona un eficiente consumo de energía. Como característica excepcional a otras hélices, esta puede trabajar hasta $50 \text{ Pa} \cdot \text{s}$. La designación SHP18 es una variante de la anterior pero con un diseño ligero, lo que permite disminuir las cargas en la flecha, y para alcanzar su alta eficiencia esta sí requiere bajas viscosidades (Pomdirect, 2008).

Figura 10: Hélices Scaba SHP



(a) Hélice 3SHP1

(b) Hélice 3SHP18

Fuentes. (S. Industry, s. f.).

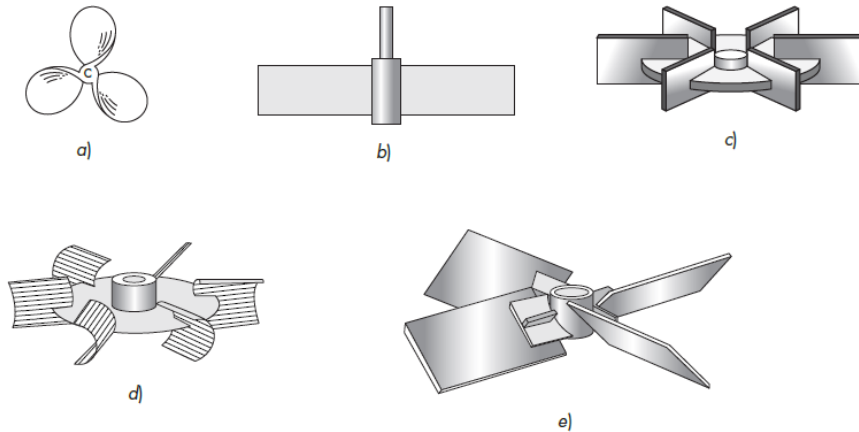
También existen variantes de las turbinas de aspas inclinadas, cuyo diseño genera una mejor mezcla y un flujo axial más uniforme, al mismo tiempo que se disminuye la potencia requerida para lograr el flujo deseado. La hélice HE-3 tiene tres aspas inclinadas que están plegadas por dentro para disminuir el ángulo de cada aspa en el extremo. El agitador *fluidfoil* A310 usa un diseño aerodinámico, donde los extremos son más delgados que la base. Estos se recomiendan para mezclas de baja a media viscosidad, pero no para viscosidades altas o dispersar gases (Harriott et al., 2007).

Figura 11: Impulsores de alta eficiencia



Fuentes. (D. Industry, s. f.-b).

Figura 12: Agitadores para líquidos de viscosidad moderada: a) agitador marino de tres palas, b) turbina simple de pala recta, c) turbina de disco, d) agitador de pala cóncava CD-6, e) turbina de pala inclinada



Fuente. (Harriott et al., 2007).

5.3.3. Alto cizallamiento vs. bajo cizallamiento

El cizallamiento en mezclas consiste en una fuerza empujando una parte del fluido en una dirección mientras otra fuerza empuja otra parte del fluido en dirección contraria en planos paralelos. Mientras más alta es la fuerza de cizallamiento, mejor se incorporan los materiales entre sí, aún en mezclas con líquidos viscosos y sólidos. Los mezcladores de alto cizallamiento funcionan a altas velocidades del motor. En el caso de que el propósito de la mezcla sea dispersión, la cantidad de potencia del motor que se necesitará aumentará conforme más grandes sean los valores de cizallamiento deseados en el proceso (Caruso, 2021).

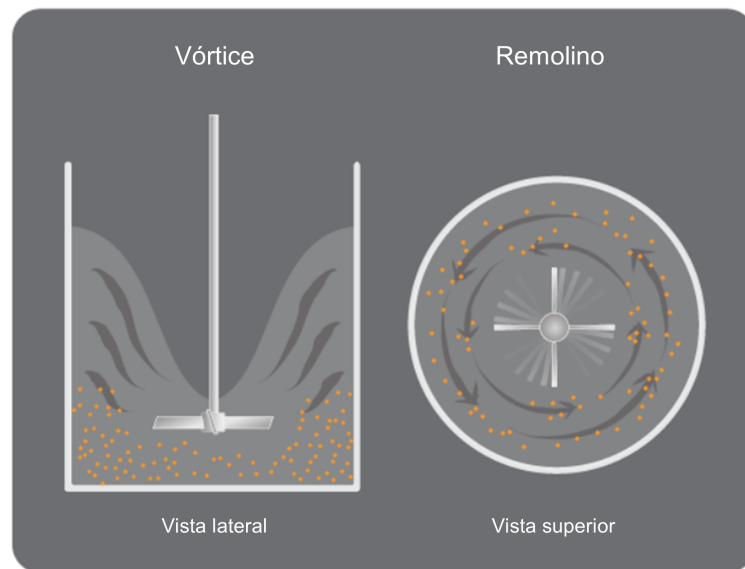
Por otro lado, los mezcladores de bajo cizallamiento se usan en aplicaciones donde no son necesarias grandes cantidades de fuerza para lograr una mezcla. Esto puede ser sustancias miscibles que requieren poca energía para combinarse. Pueden manejar también materiales delicados, como adhesivos, polímeros, y productos de estructura alimenticia, donde ciertas

partículas se requiere que no se rompan durante el proceso. Estos mezcladores utilizan el flujo y la turbulencia en el tanque para combinar los materiales (Caruso, 2021).

5.4. Patrones de flujo

La velocidad del líquido en cualquier parte de la mezcla tiene tres componentes: radial que es en dirección perpendicular al eje del impulsor, longitudinal o axial que es paralela al eje, y tangencial que es tangente a la trayectoria circular del eje. Los primeros dos son útiles para tener el flujo necesario en la acción de mezclado. Por otro lado, el tercero es desventajoso cuando el eje es vertical y está en el centro del tanque. Al seguir una trayectoria circular, el flujo tangencial crea un vórtice en el líquido. La turbulencia provoca estratificación en varios niveles del líquido, lo que anula el flujo longitudinal entre ellos. Si hay partículas sólidas, el movimiento lanza las partículas contra las paredes por la fuerza centrífuga y provoca concentración en el fondo del tanque, lo que es contrario a lo que se desea. En un tanque sin deflectores, el flujo circulatorio es inducido por todos los tipos de impulsores, sin importar si es de flujo axial o radial. Si se trabaja a velocidades muy altas, el vórtice puede alcanzar al impulsor, ocasionando que el gas encima de él también se mezcle con la sustancia, lo que es indeseable (Harriott et al., 2007).

Figura 13: Efecto del vórtice



Fuente. (Injeti, 2012).

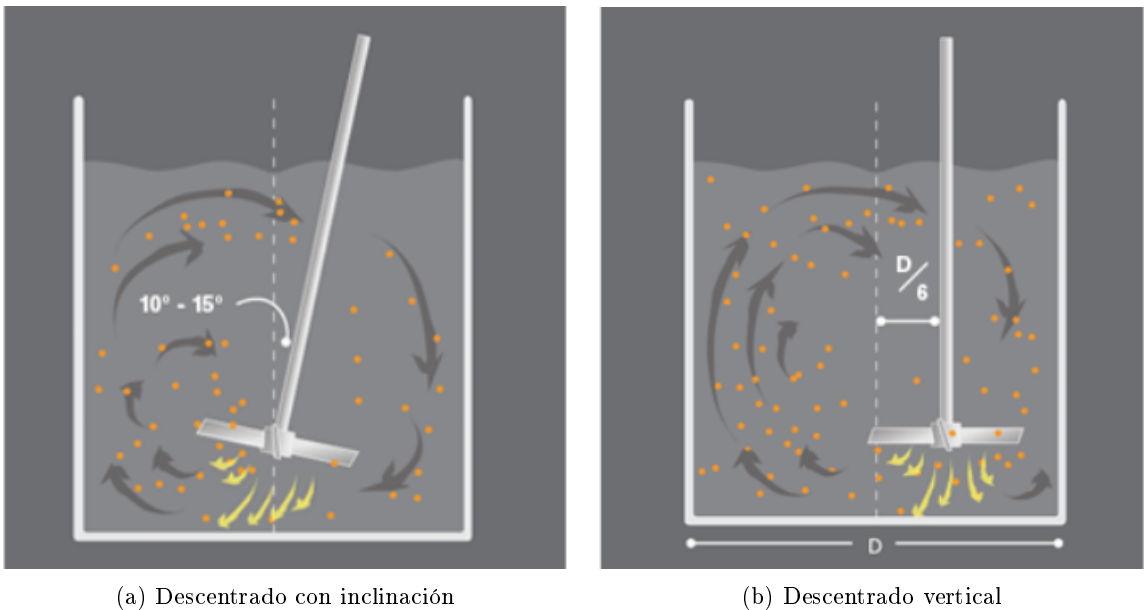
5.4.1. Prevención del vórtice

Existen tres métodos por los cuales se puede evitar la creación de un vórtice: descentrado vertical, descentrado inclinado o la adición de deflectores (Harriott et al., 2007). Cualquiera de estos tres métodos provocará cargas desbalanceadas en el eje del impulsor. Si las cargas

se vuelven significativas, será necesario modificar la caja reductora y los rodamientos para que soporten mayores cargas, lo que aumentará los costos (Injeti, 2012).

Para tanques pequeños, menores a 10 pulgadas de diámetro, se puede tomar la opción del descentrado. Los costos asociados por las cargas adicionales será mínimas en este caso. Para un descentrado inclinando, el eje se inclina en un plano perpendicular a la dirección del movimiento. La inclinación suele ser entre 10° y 15° de la vertical, y se recomienda solo para unidades que trabajen a menos de 3 hp. En tanques más grandes y donde la inclinación no es posible, el eje se coloca descentrado de forma vertical. En estos casos, la flecha se debe separa del centro $1/6$ la longitud del diámetro del tanque (Injeti, 2012).

Figura 14: Opciones de descentrado



(a) Descentrado con inclinación

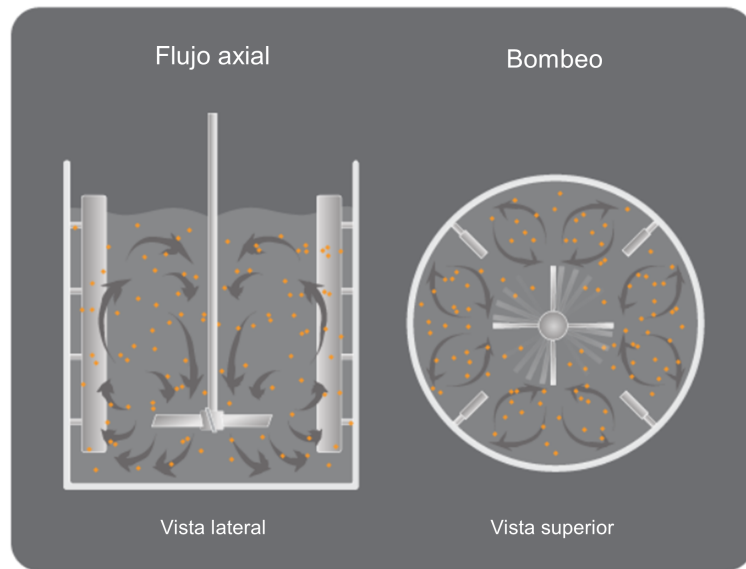
(b) Descentrado vertical

Fuente. (Injeti, 2012).

Los deflectores son largas placas instaladas en las paredes del tanque que impiden el flujo rotacional sin interrumpir el flujo radial y axial (Harriott et al., 2007). Se recomiendan para tanques más grandes, donde el costo para compensar las cargas por descentrado sería menos efectivo. La configuración que se sigue para diseñar deflectores son las siguientes:

- Número de deflectores: 3 a 4 (Injeti, 2012). La mejora en el flujo deja de ser significativo al agregar más de 4 deflectores. Sin embargo, añadir uno o dos ya muestra un efecto significativo en el patrón de flujo (Harriott et al., 2007).
- Ancho: $1/12$ del diámetro del tanque. Pero para viscosidades moderadas, es decir, mayores a $3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ o números de Reynolds entre 10 y 10,000, el ancho se considera de $1/4$ el diámetro del tanque (Injeti, 2012).
- Longitud: inicia a 6 pulgadas del fondo del tanque y termina justo arriba del nivel máximo de líquido (Injeti, 2012).

Figura 15: Tanque con deflectores



Fuente. (Injeti, 2012).

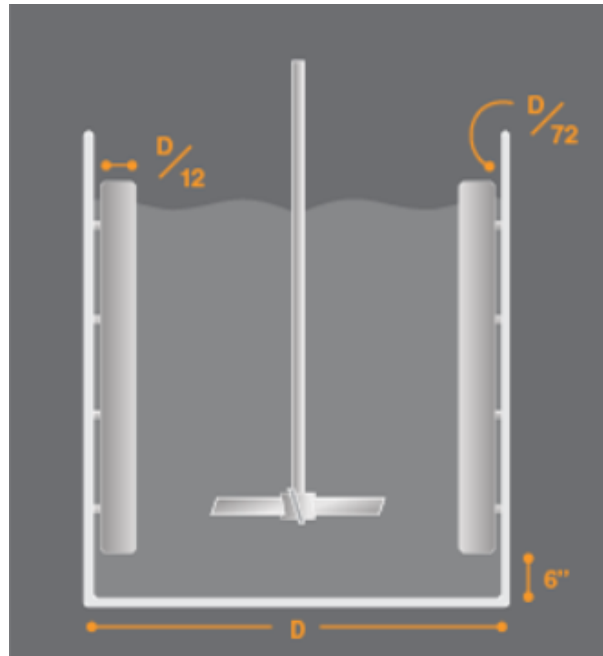
- Posición del montaje: $1/6$ del diámetro del tanque de separación con la pared. Al agitar lodos, se recomienda que esta distancia sea $1/2$ del ancho del deflector para minimizar la acumulación de sólidos detrás de él (Injeti, 2012).

Existen dos casos donde los deflectores no son necesarios. En los tanques cuadrados, la geometría del tanque provoca el mismo efecto que el de un tanque circular con deflectores. Pero estos tanques no se recomiendan para la suspensión de sólidos debido a la acumulación de material que se puede formar en sus esquinas. El segundo caso es cuando la viscosidad es mayor a $5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ o el número de Reynolds del fluido es menor a 10. Esto debido a que el consumo de potencia por el impulsor es igual si se tuvieran o no se tuvieran las placas deflectoras (Injeti, 2012).

Una vez se controla el problema del vórtice, queda determinar el patrón de flujo por medio de la selección del impulsor. Cuando se desean fuertes corrientes verticales, se utilizan impulsores de hélice. Un ejemplo es para mantener partículas en suspensión. Sin embargo, no se usan cuando la viscosidad es mayor a $5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Las turbinas de pala con inclinación de 45° también se utilizan para provocar flujos axiales fuertes para suspensión de sólidos. Pero estos pueden variar entre el tipo de flujo axial para viscosidades bajas a flujo radial cuando la viscosidad del fluido es alta. Las turbinas de palas planas provocan un buen flujo radial, pero en tanques sin deflectores también hay un fuerte flujo tangencial. Añadir deflectores aumenta el flujo vertical y puede producir una mezcla más rápida del líquido (Harriott et al., 2007).

En los tanques cilíndricos verticales, se recomienda que la altura del líquido sea igual al diámetro del tanque. Cuando se necesita mayor profundidad, es conveniente instalar dos o más impulsores sobre el eje. El inferior por lo general es de un flujo radial, como el de palas planas, mientras que el superior es de un flujo axial (Harriott et al., 2007).

Figura 16: Diseño estándar de los deflectores



Fuente. (Injeti, 2012).

Aunque se presentan algunas opciones de hélices y turbinas, existe otra gran variedad de opciones en el mercado. Los impulsores disponibles y sus características de operación dependerán del proveedor, y por lo tanto se recomienda consultarle los detalles específicos de cada uno. El Cuadro 1 brinda un resumen de las características generales de los impulsores ya descritos, la cual puede servir como referencia para comenzar la búsqueda de un impulsor específico para una aplicación determinada.

Cuadro 1: Características de impulsores para agitadores

Impulsor	Flujo	Velocidad (rpm)	Viscosidad (Pa*s)	Cizallamiento	Da/Dt (%)
Hélices	Axial	30 - 800	< 8	Bajo	33 - 40
SHP1	Axial	30 - 800	< 50	Bajo-Medio	33 - 40
Turbinas de paletas rectas	Radial	30 - 800	< 50	Alto	33 - 40
Turbinas de paletas inclinadas	Radial - Axial	30 - 800	< 50	Alto	33 - 40
Hélice de cinta de doble trayectoria	Axial	20 - 45	> 100	Bajo - Medio	85 - 95
Hélice tipo ancla	Radial	20 - 45	> 100	Bajo - Medio	85 - 95
Impulsor de alto cizallamiento	Radial	1000 - 3600	> 100	Alto	10 - 20

Nota. Da: Diámetro del impulsor, Dt: Diámetro del tanque. Fuente. Elaboración propia.

5.5. Mecanismo de impulso

Un mecanismo de impulso consiste en un motor con la potencia adecuada y una caja reductora con el torque correcto para la capacidad de mezclado. El motor generalmente utilizado es el eléctrico, pero para aplicaciones de menos de 10 hp de potencia puede considerarse un motor hidráulico o neumático (Injeti, 2015). Para su selección, es necesario calcular la potencia que el impulsor requiere para la aplicación con la siguiente ecuación:

$$Potencia = N_p \rho n^3 D^5 \quad (1)$$

Donde N_p es un número adimensional de potencia, ρ es la densidad del fluido, n es la velocidad del impulsor en revoluciones por segundo y D es el diámetro del impulsor (Weetman, Gigas et al., 2002). Una vez calculado este valor, se recomienda seleccionar un motor tal que la potencia del impulsor no supere al 85 o 90 % del valor de la potencia del motor seleccionado (Dickey y Fasano, 2003).

Para determinar el número de potencia, algunos libros de diseño de agitadores y empresas dedicadas a este campo proporcionan valores de referencia. Sin embargo, dichos valores se pueden utilizar si van de acuerdo al impulsor que se haya seleccionado para la aplicación de agitación para la que se esté diseñando. Harriot et al. (2007) proporcionan las Figuras 17 y 18 en donde N_p es un valor que es dependiente al tipo de impulsor que se está utilizando y al número de Reynolds del fluido a mezclar. El número de Reynolds se calcula mediante la Ecuación 2, donde μ es la viscosidad dinámica.

$$Re = D_a^2 n \rho / \mu \quad (2)$$

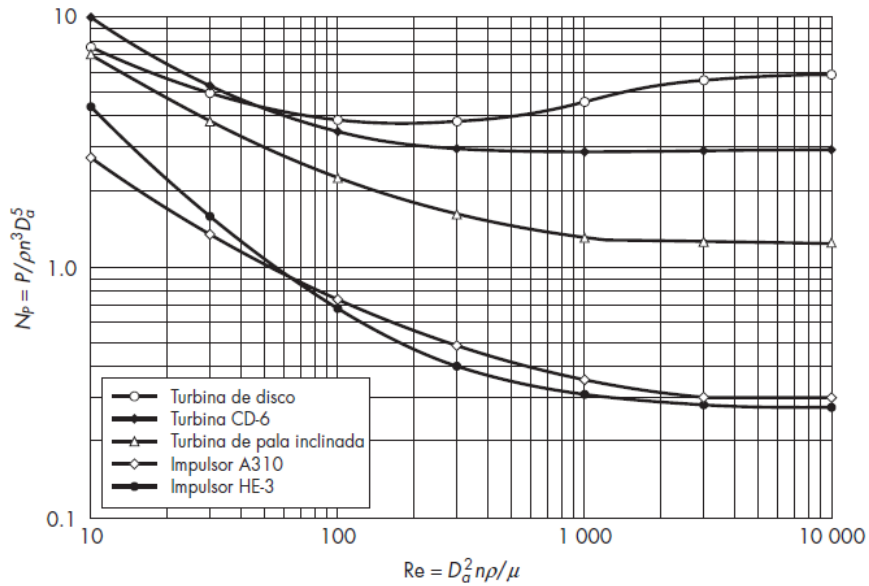
5.6. Montaje del equipo

Algunos tipos de montaje que existen son: soportes de puente, abrazadera o sargento, placa, brida, pedestal y entrada lateral. El montaje está determinado por varios factores: el tamaño y tipo de tanque, el tamaño de la mezcladora y su orientación, lugar de operación, espacio disponible y el patrón de flujo deseado (Injeti, 2015). Por ejemplo, los mezcladores portátiles se caracterizan por utilizar montajes de tipo sargento o montaje de tornillo. Los agitadores de entrada superior tienen montaje de brida o de pedestal (Dickey y Fasano, 2003).

5.7. Flecha de la mezcladora

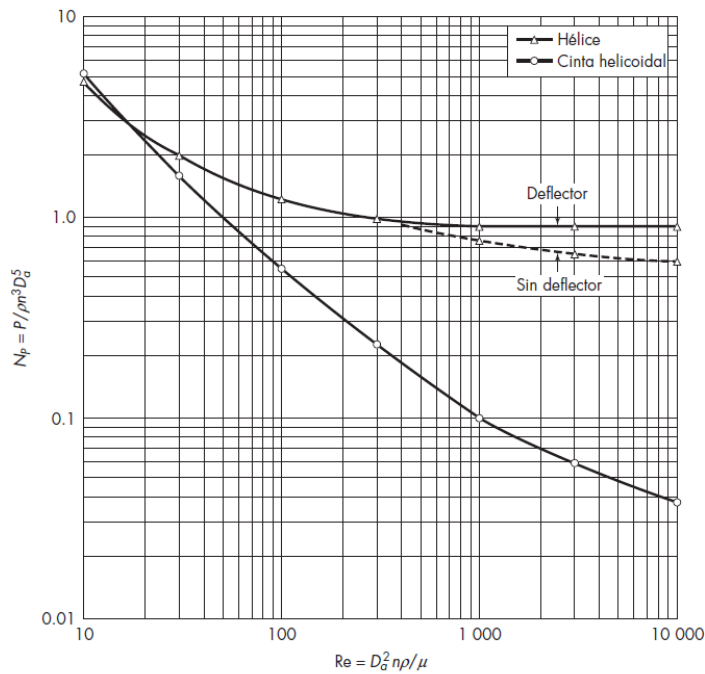
Se deben tomar en cuenta dos consideraciones importantes en el diseño de este componente. La primera consideración involucra los esfuerzos de corte y tensión causado por las cargas transmitidas a través del eje. La segunda consideración se relaciona con la velocidad crítica, en la cual se debe asegurar que la velocidad de rotación opere a una velocidad menor a la primera velocidad crítica (Injeti, 2015).

Figura 17: Número de potencia N_p en función del número de Reynolds Re para turbinas e impulsores de alta eficiencia



Fuente. (Harriott et al., 2007).

Figura 18: Número de potencia N_p vs número de Reynolds Re para hélices marinas (paso = 1.5:1) y cintas helicoidales



Fuente. (Harriott et al., 2007).

Las cargas que se aplican sobre la flecha se deben principalmente a las que se aplican al

impulsor. Primero, para hacerlo girar, se requiere un torque proporcionado por el motor, y una la caja reductora si estuviera instalada en el sistema. La posición en la que se encuentra el impulsor sobre la flecha y la longitud de esta influye en la cantidad de momento flector que sufre. Fluctuaciones en las cargas de torsión pueden ser provocadas por cambios aleatorios en el flujo del fluido, así como cambios aleatorios en las fuerzas hidráulicas pueden provocar fluctuaciones en las cargas de flexión. Se debe recordar que colocar descentrado el eje en el tanque de agitación, o añadir deflectores al tanque también provoca cargas desbalanceadas en la flecha (Dickey y Fasano, 2003).

La flecha también sufre de cargas axiales. La primera se debe al peso del impulsor, el cual crea una carga hacia abajo a lo largo de la flecha. La presión en un taque cerrado provocará una fuerza hacia arriba, que será igual a la presión por la sección transversal de la flecha. En un tanque al vacío, la fuerza será hacia abajo, pero su magnitud raramente es un problema. Por último, impulsores de flujo axial producen una fuerza hacia arriba debido al flujo del líquido. Esto resulta en muchos casos suficiente para contrarrestar el peso del impulsor (Dickey y Fasano, 2003).

6.1. Descripción de la metodología

Para diseñar una solución que se adapte a las necesidades de APAESA, se requirió una comprensión de los detalles involucrados en su proceso de mezclado. Para ello, se realizaron visitas a la empresa para obtener esta información, y también se mantuvo una comunicación constante con los encargados de la operación de la mezcla. La información recolectada para la elaboración de una máquina de agitación se utilizó para determinar los parámetros teóricos en los que la homogeneización sería eficiente. Utilizando los resultados, se seleccionaron los componentes que serían apropiados tanto para el diseño completo de una estación de mezclado, como cambios que se le pueden realizar a las estaciones de agitación con las que actualmente cuenta la empresa.

6.2. Identificación de necesidades

6.2.1. Descripción de los sistemas de mezclado diseñados por APAESA

La empresa cuenta con cinco agitadores que se pueden clasificar como portátiles, con los cuales mezclan desde 5 kg hasta 200 kg de producto. Tres de los agitadores son de 0.5 Hp, y cuentan con un impulsor de 10 cm de diámetro (véase Figura 24). Los otros dos son de 0.25 Hp, con variador de frecuencia y un impulsor de 5 cm de diámetro. La Figura 19 muestra la placa del primer motor mencionado, mientras que la figura 20 muestra la placa del segundo.

Figura 19: Placa del motor de 0.50 HP

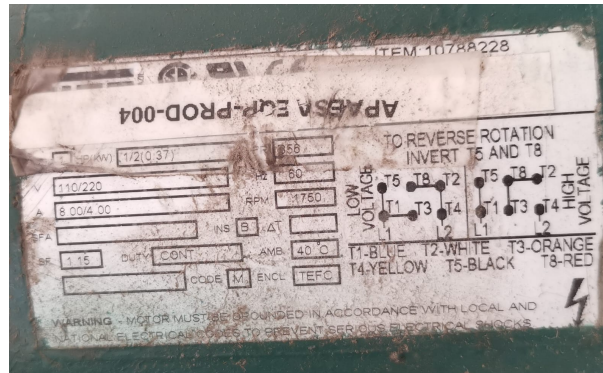
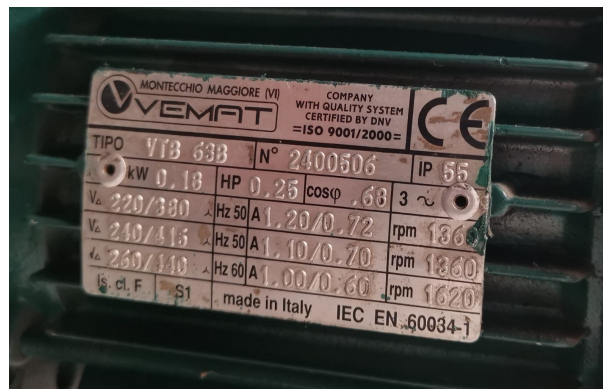


Figura 20: Placa del motor de 0.25 HP



APAESA utiliza diferentes contenedores o tanques dependiendo de la cantidad de producto que desean agitar. Las dimensiones de estos se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Dimensiones de los tanques de agitación utilizados en APAESA

Capacidad (kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)
5	22	18
5	24	25
5	26	24
10	29	34
15	24	34
15	31.5	31
25	33	40
40	40	42
50	37.5	57
200	56.5	88

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 21 se puede observar la formación de un vórtice durante el proceso de

agitación. Esto es un indicador de que existen deficiencias en el proceso de mezclado, y existe una oportunidad de mejorar la homogeneización de las sustancias.

Figura 21: Formación de un vórtice durante proceso de agitación



Los productos que desean producir se componen de un vehículo o una sustancia en la que se diluyen los demás componentes de la mezcla y diferentes solutos, tanto sólidos como líquidos. Todos estos son preparados adecuadamente antes de colocarlos juntos en el tanque para garantizar que únicamente sea necesaria la agitación para lograr una disolución completa. La densidad y la viscosidad de los vehículos fue utilizada para realizar los cálculos de potencia necesaria para lograr una óptima agitación. Para conservar la confidencialidad, los nombres de los materiales no fueron mencionados en este trabajo, pero en el Cuadro 3 se proporcionan la densidad y la viscosidad de algunos con los cuales se realizaron los cálculos.

Cuadro 3: Propiedades de los vehículos utilizados en las mezclas

	Vehículo A	Vehículo B	Vehículo C	Vehículo D	Vehículo E
Densidad (kg/m^3)	1022	1090	1118	1036	789
Viscosidad ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)	0.075	0.45	0.0109	0.062	0.001095

Fuente. Elaboración propia

Figura 22: Equipos de agitación utilizados en APAESA



Figura 23: Agitador en estado de reposo



Figura 24: Impulsor utilizado por APAESA



6.3. Definición de requisitos

Considerando lo observado en la empresa, sus necesidades y la teoría detrás del diseño de una mezcladora, se han establecido los siguientes requisitos:

Cuadro 4: Identificación de códigos

ID	Definición
DM	Diseño mecánico
OP	Operativos
DE	Diseño de deflector
CA	Capital utilizado

Cuadro 5: Requisitos de diseño

Código	Requisito
DM01	El impulsor a utilizar debe de tener un diámetro entre el 33 % y el 42 % del diámetro del tanque.
DM02	El motor debe ser eléctrico.
DM03	La potencia máxima necesaria para realizar la agitación debe ser menor a 1 Hp.
DM04	La velocidad de operación debe ser inferior al 80 % de la velocidad crítica del eje de la mezcladora o superior al 120 % de la misma.
OP01	La homogeneización debe ocurrir en menos de 45 minutos.
OP02	No debe formarse un vórtice al momento de la agitación.
DE01	La acumulación de residuos alrededor de los deflectores debe ser menor al 10 % del producto final o nula.
CA01	El tiempo de recuperación del capital invertido debe ser menor a un año.

6.4. Simulación de mezclado en ANSYS

Se desea conocer el efecto de cambiar un impulsor en el tanque de mezclado, y comprobar si mejoraría su desempeño. Para ello, antes de la fabricación se preparó una simulación con el software de análisis de elementos finitos ANSYS. Se elaboró primero un modelo simplificado del tanque de mezclado en Autodesk Inventor [®].

6.4.1. Preparación del modelo CAD

El modelo preparado consiste en tres piezas: la geometría del impulsor, un cilindro con las dimensiones del tanque a utilizar y otro cilindro que representa el flujo del líquido alrededor del impulsor. El impulsor se ubicó al centro del eje vertical del tanque y a una distancia de la parte inferior del tanque de $1/3$ el diámetro del cilindro. El tanque simulado corresponde al que posee una capacidad de 200 kg, con el propósito de conocer los efectos en el tanque más grande que posee la empresa.

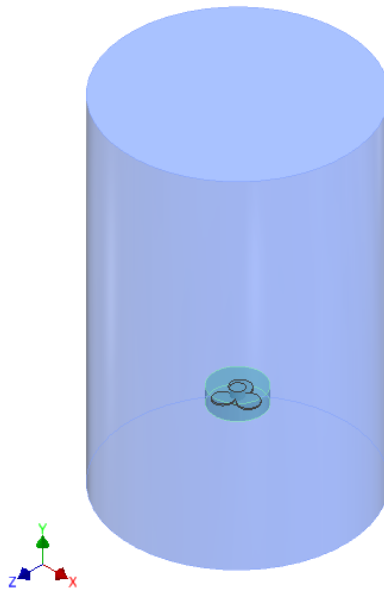
El impulsor utilizado para simular fue una turbina Rushton. Este cuenta con un diámetro de 21 cm, correspondiente al 37 % del diámetro del tanque (56.5 cm). Para su geometría, se eliminaron u obviaron chaflanes y redondeos, a fin de simplificar el modelo de simulación. También se elaboró un modelo CAD que representara el impulsor observado en la empresa (véase la Figura 24).

El flujo del impulsor es una geometría que se requiere para la simulación en ANSYS. Representa el líquido inmediato a los alrededores del impulsor que sufrirá del movimiento rotacional de la mezcladora. Para el impulsor Rushton, el flujo se representó como 2 cm más grande en diámetro que el impulsor, y 7.5 mm de distancia entre la parte superior y la parte inferior del mismo. Para el impulsor original se dejaron 5 mm de separación entre la parte superior y la inferior, y el diámetro del flujo fue igualmente 2 cm más grande que el del impulsor.

6.4.2. Preparación del modelo en *design modeler*

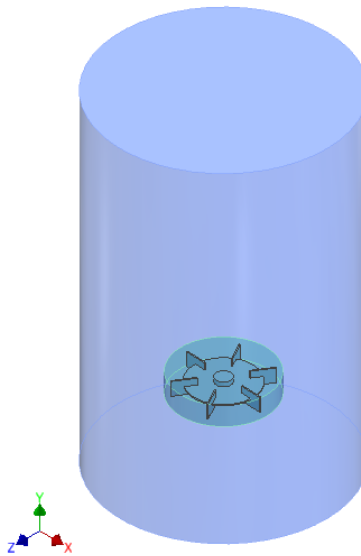
Para simular el proceso de mezclado en ANSYS, se utiliza el sistema de análisis llamado *fluid flow (fluent)*. Tanto el tanque como el flujo del impulsor se representan como líquidos. No se utilizan sólidos en la simulación sino que únicamente se trabaja con la parte líquida del sistema. Utilizando *design modeler* en ANSYS, se sustrajo el área de flujo del área del tanque, y luego, la geometría del impulsor se sustrajo del flujo del impulsor. En ambos casos se seleccionó que se conservara el cuerpo que sirvió como herramienta de sustracción. Luego, se suprimió el impulsor del modelo, para conservar únicamente los cuerpos que representan fluidos. Luego, en la sección detalles del cuerpo (*body details*) se selecciona que es un fluido, tanto para el tanque como para el flujo del impulsor. El cuerpo que representa el flujo es al que se le aplicará la energía rotacional, y al tener la geometría sustraída del impulsor, representará los efectos de la forma del impulsor en el momento de mezclar las sustancias.

Figura 25: Tanque de 200 kg con impulsor de APAESA en Inventor



Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 26: Tanque de 200 kg con impulsor Rushton en Autodesk Inventor ®



Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

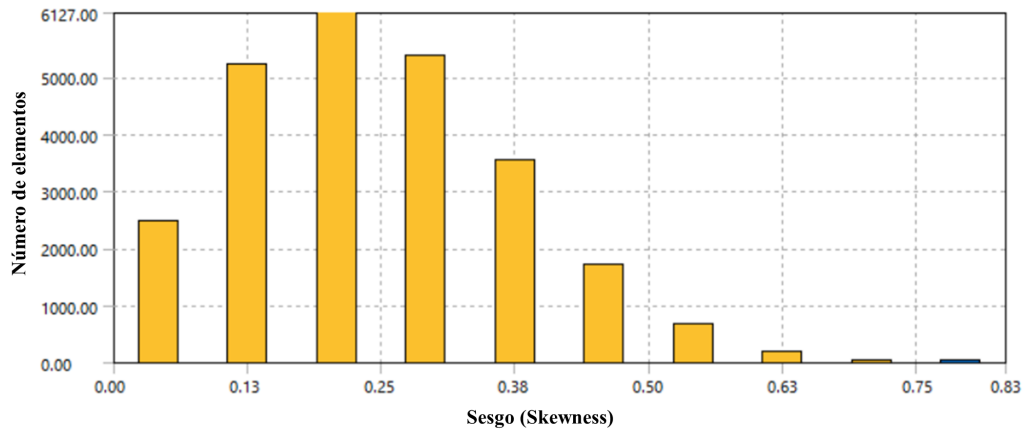
6.4.3. Mallado del modelo

La simulación requirió de optimizar el mallado del modelo para simular correctamente el proceso de mezclado. El cuerpo con mayor complejidad es el flujo del impulsor. Para

el modelo del impulsor Rushton, en la sección de dimensionamiento (*sizing*) del mallado (*mesh*) en el árbol de operaciones, se seleccionó que se deseaba usar un dimensionamiento adaptativo (*use adaptive sizing*) para todo el modelo, y una resolución de 4. Además, se aplicó un método automático y un dimensionamiento (*sizing*) de 0.01 m al cuerpo que correspondía al flujo del impulsor. Para el modelo del impulsor original, no fue necesario seleccionar el dimensionamiento adaptativo ni la resolución, pero sí se aplicó un método de *patch conforming, tetrahedron* al flujo del impulsor.

El *skewness* o sesgo mide la calidad del mallado, donde un valor cercano a 0 representa buena calidad, y un valor a 1 representa mala calidad. El valor promedio obtenido para el modelo del impulsor Rushton fue de 0.2449, con una cantidad muy reducida de elementos con el valor máximo de 0.837. El modelo del impulsor original obtuvo valores similares, 0.24486 en promedio y 0.833 como máximo, con muy pocos elementos con este valor.

Figura 27: Sesgo o *skewness* vs. cantidad de elementos para el modelo del impulsor de APAESA



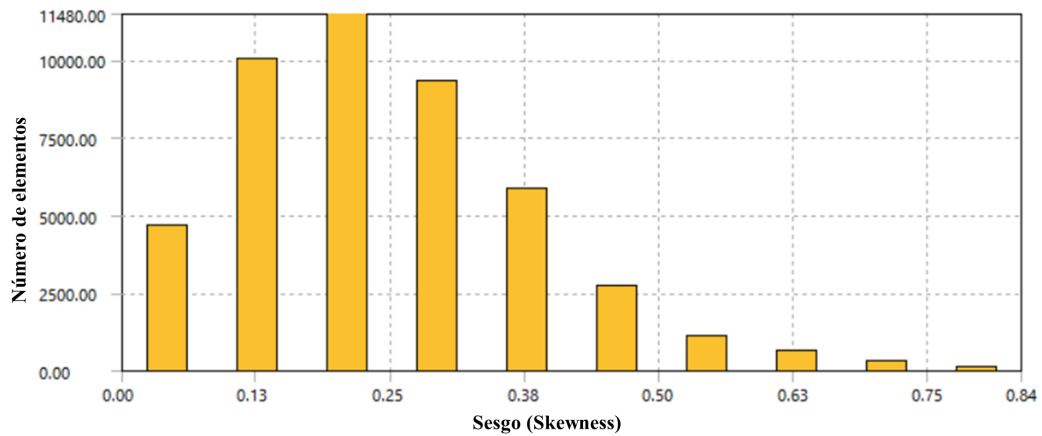
Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Figura 28: Elementos con sesgo de 0.833 del modelo del impulsor de APAESA



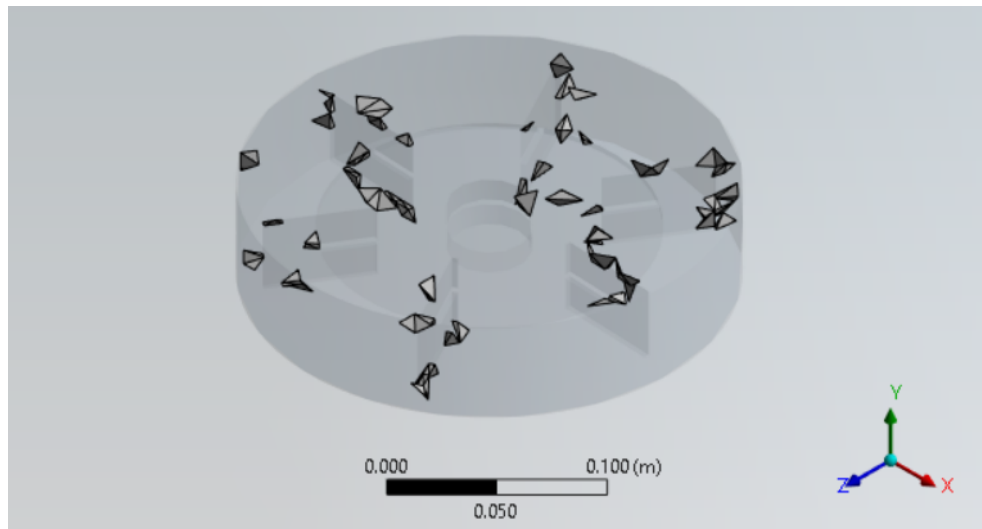
Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Figura 29: Sesgo o *skewness* vs. cantidad de elementos para el modelo del impulsor Rushton



Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Figura 30: Elementos con sesgo de 0.837 del modelo del impulsor Rushton

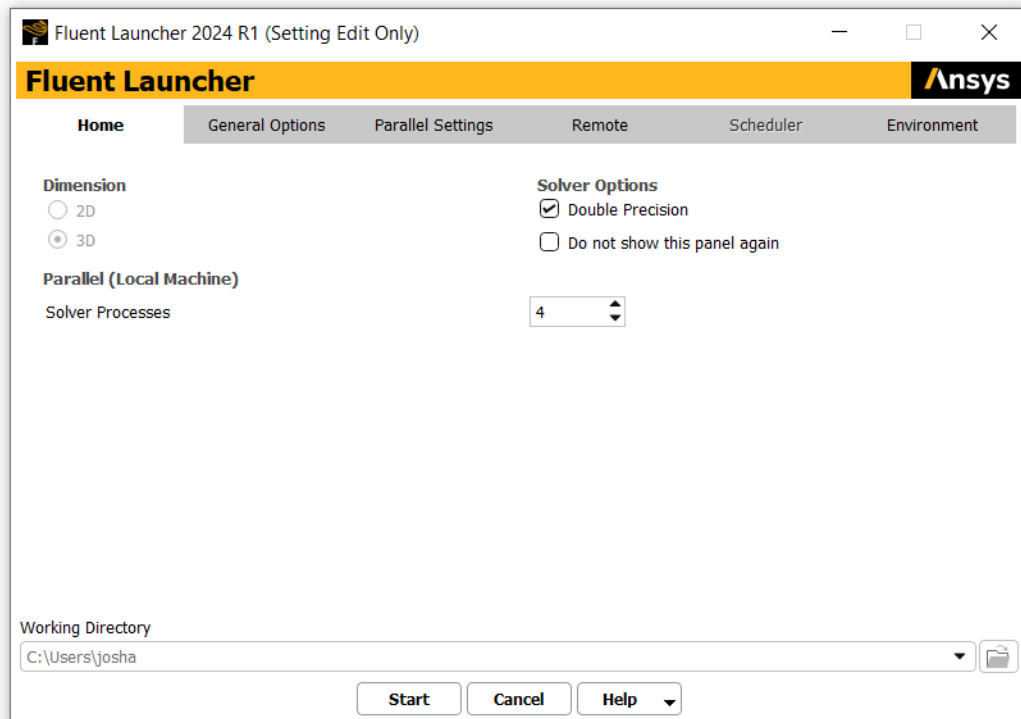


Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

6.4.4. Configuración de ANSYS Fluent

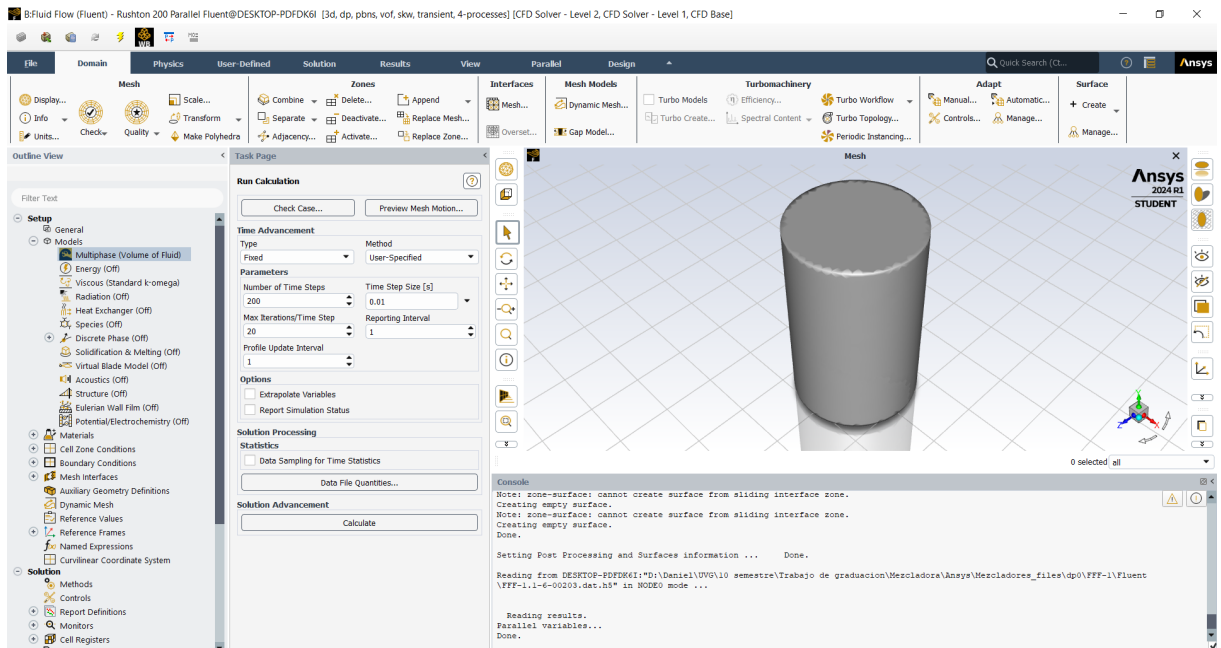
Al abrir la configuración o *setup* de *fluent*, se debe seleccionar en las opciones del *solver* que este debe ser de doble precisión, o *double precision*. Para ayudar a la computación de la simulación, se seleccionó que opere con 4 procesos simultáneos en la opción *solver processes*. Esto solo es necesario realizarlo la primera vez que se abra el *solver*. Las siguientes veces, puede abrirse desde *solution*.

Figura 31: Configuración del *solver* de ANSYS Fluent



Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Figura 32: Vista de la ventana del *solver* de *fluid flow (fluent)* de ANSYS



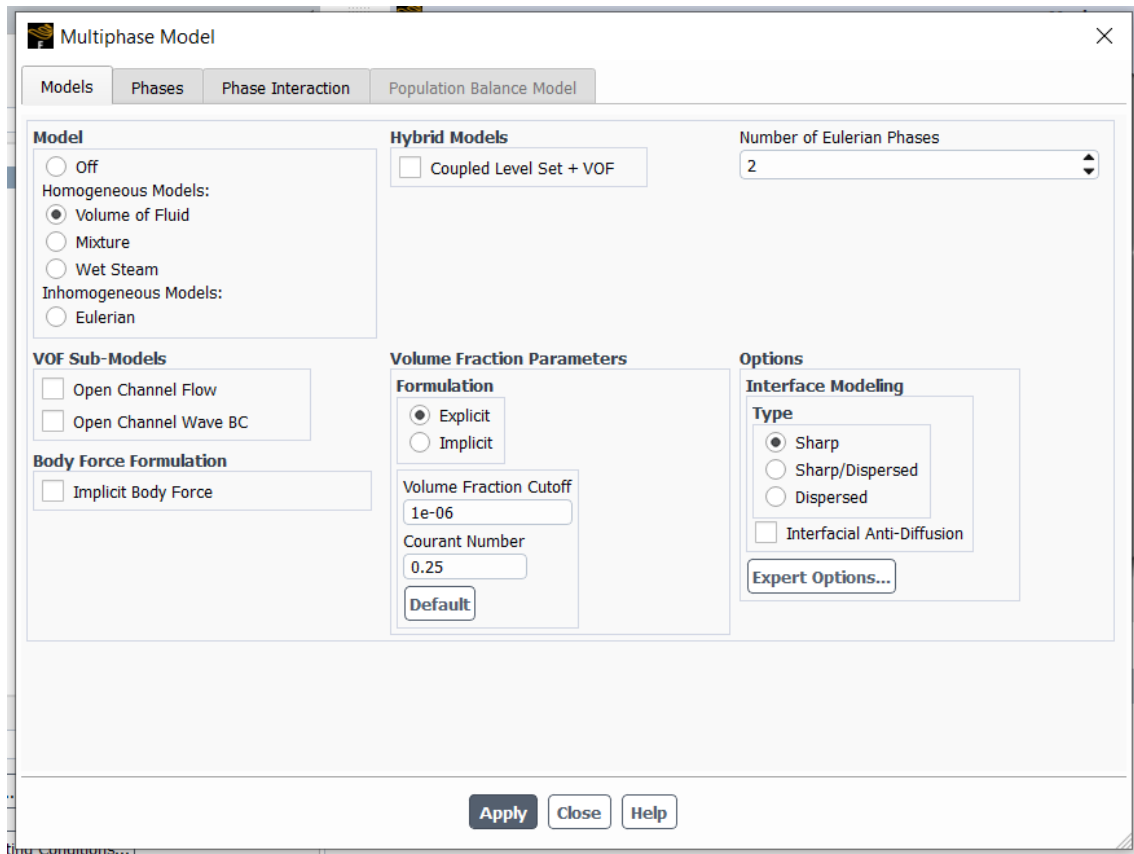
Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Una vez dentro del solver, se debe proceder a configurar varios parámetros importantes para la simulación. Primero, en la pestaña de *domain*, en la sección de *mesh*, seleccionar *make polyhedra*. Esto modificará el mallado, reduciendo la cantidad de elementos necesarios y facilitará la simulación.

En el lado derecho del *solver*, en la barra del *outline view*, se encuentran las opciones para configurar el *solver*. En la sección de configuración *general*, se seleccionó que el *solver* es de tipo *pressure-based*, con velocidad de formulación absoluta. En *time* o tiempo se seleccionó *transient*. Y por último se activó la gravedad con un valor de -9.8 m/s^2 en el eje Y (ver Figura 40 como referencia).

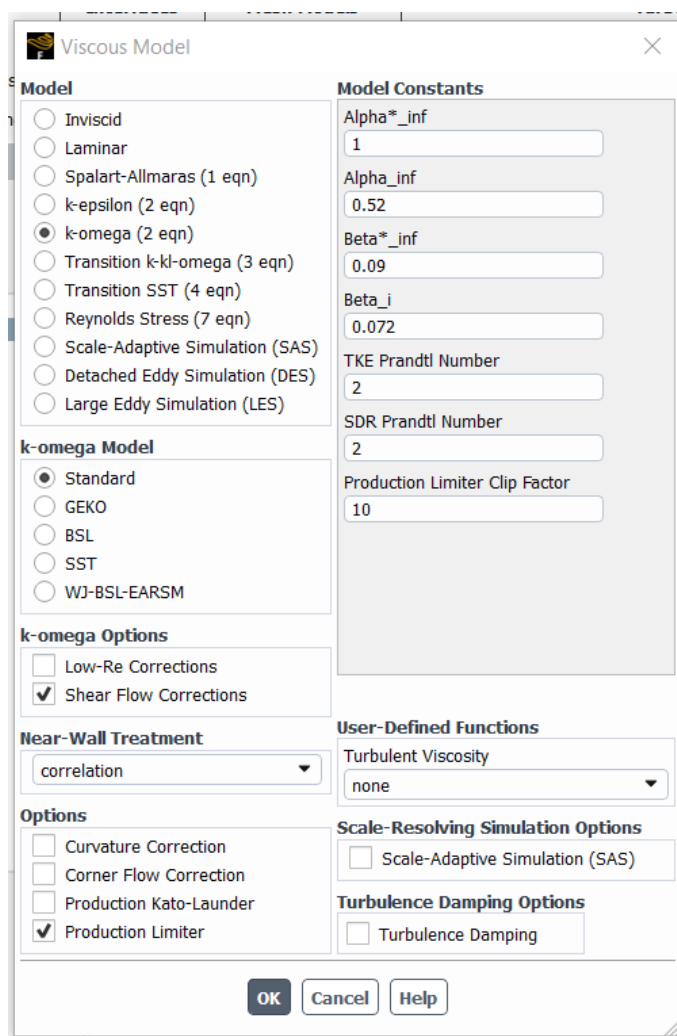
En la sección *model*, la primera opción es *multiphase*. Entrando en ella, se selecciona que se analizará como el volumen de un fluido, tal como se muestra en la Figura 33. Luego, en la opción de viscosidad (*viscous*), se selecciona *standar k-omega*, como se observa en la Figura 34. Esta condición ayuda a analizar la turbulencia y sus efectos cuando hay cambios en gradientes, como cerca de paredes.

Figura 33: Configuración en *multiphase model*



Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Figura 34: Configuración en *viscous model*

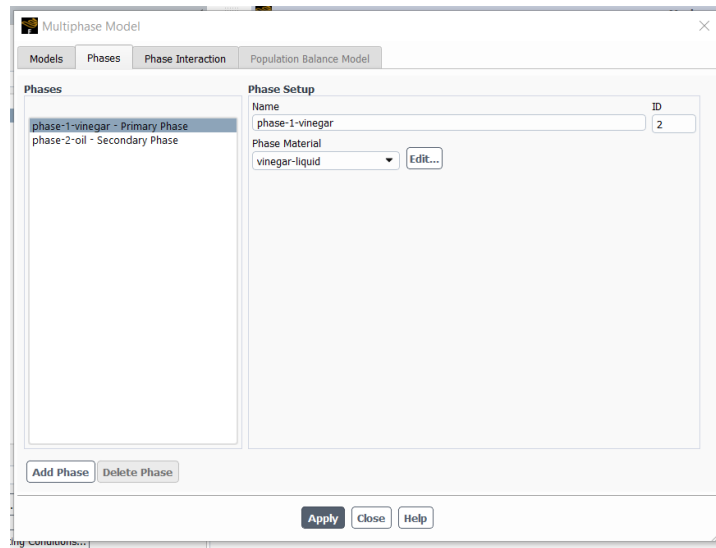


Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

La siguiente etapa consiste en agregar las propiedades de los materiales que se mezclarán en la sección *materials*. Dado que la empresa maneja muchos productos, con diferentes ingredientes cada uno, para la simulación se decidió realizar una mezcla simple de aceite con vinagre. Al utilizar las mismas sustancias tanto para el mezclador con el impulsor de APAESA, como con el impulsor Rushton, los resultados son comparables para determinar si uno produce una mejor mezcla que otro. Se agregó el aceite con una densidad de 911 kg/m^3 , y una viscosidad de 0.084 kg/(m * s) . El vinagre se configuró con $1,010 \text{ kg/m}^3$ y $0.0012 \text{ kg/(m * s)}$.

Después de añadir los materiales, se debe regresar a la ventana de *multiphase model*, en esta ocasión para asignar un material a cada fase que se va a analizar. Esto se realiza en la pestaña *phases*. Se configuró el vinagre como la fase 1, y el aceite como la fase 2. Los nombres de las fases se modificaron para identificar fácilmente qué material corresponde a cada fase.

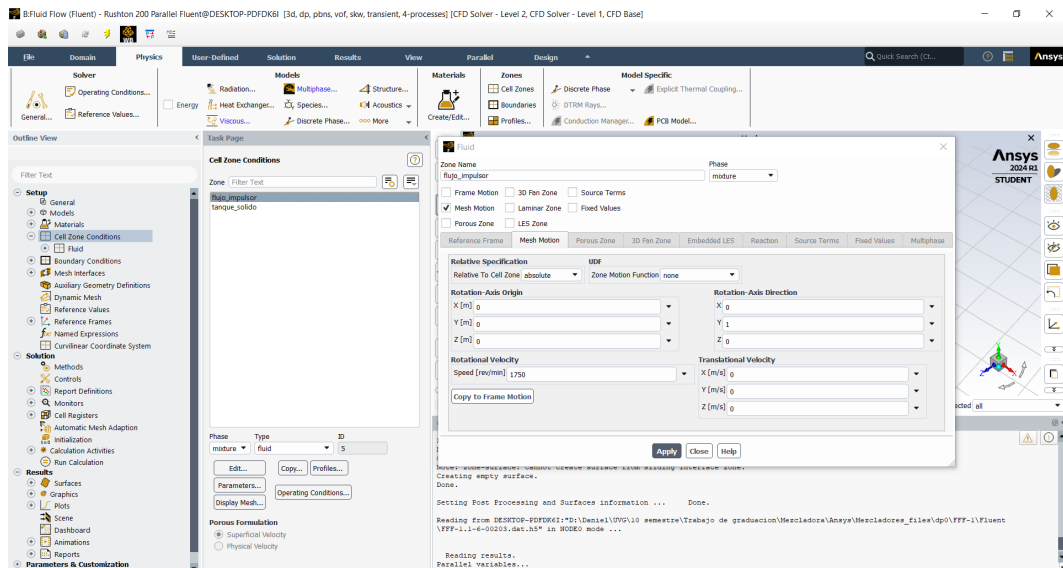
Figura 35: Configuración en *multiphase model > phases*



Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

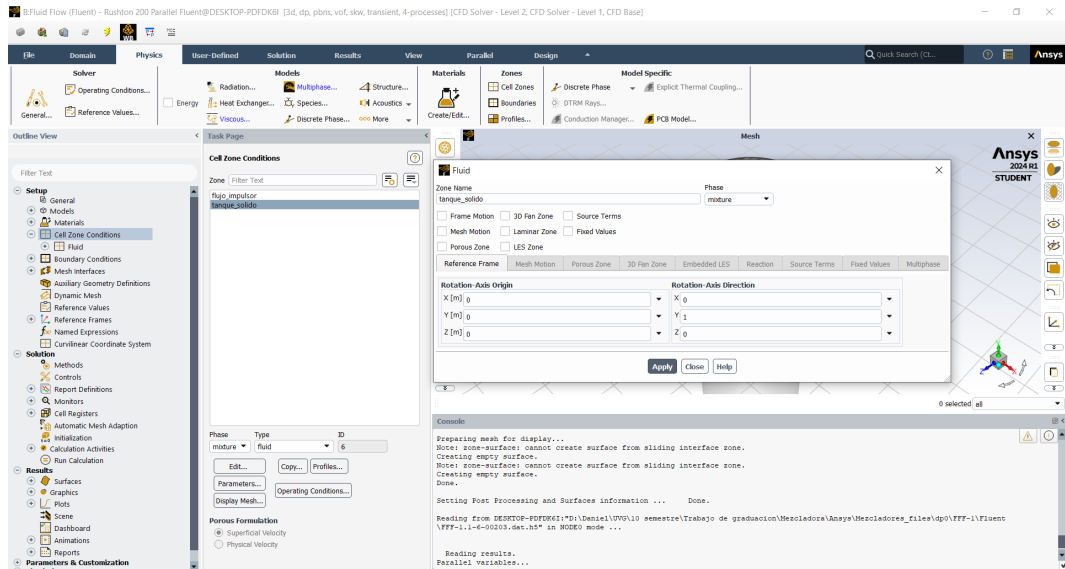
Luego, se continuó con la configuración de *cell zone conditions*. En esta opción deben aparecer dos zonas para configurar. Una de ellas corresponde al flujo del impulsor, y la otra corresponde al resto del tanque. Para el flujo del impulsor, se selecciona la opción de *mesh motion*. Luego, se verifica que el eje en el que debe girar el impulsor tenga un valor de 1, y los demás de 0 en *rotation-axis direction*. Por último, se configuró la velocidad de rotación a 1,750 rpm, que es la velocidad a la que operan los motores de 0.5 hp de APAESA. Para el tanque, únicamente se verificó que el eje de rotación tuviera un valor de 1.

Figura 36: Configuración del *cell zone condition* para el flujo del impulsor



Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

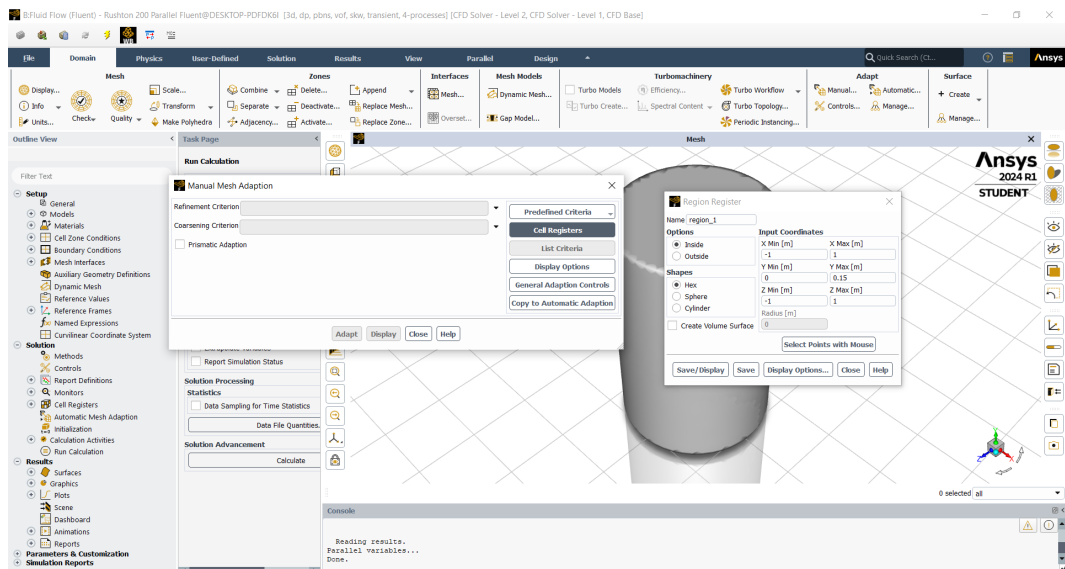
Figura 37: Configuración del *cell zone condition* para el tanque



Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

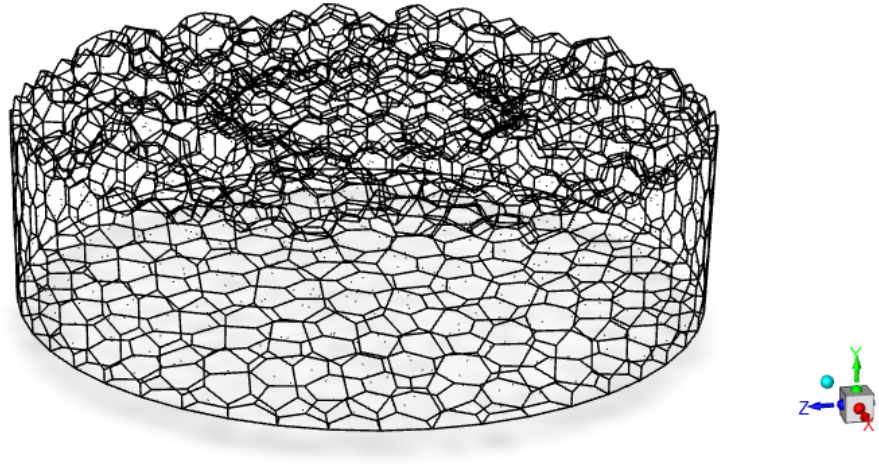
El siguiente paso que se realizó fue crear una región donde estará representada una de las fases a mezclar. Para ello, se debe ir a la pestaña superior *domain*, a la sección *adapt*, y seleccionar *manual mesh adaptation > cell register > region*. En la ventana *region register*, se configuró para que la zona sea mayor que el diámetro del tanque en el eje X y Z. Al crear la zona, no afecta que sea más grande que el tanque, ya que lo hará del tamaño del tanque. En el eje Y, 0.15 m fue la mayor altura que permitió, dado que si es más alto, requiere de más elementos en el mallado, y excede el límite de elementos permitidos para una licencia de estudiante del programa. A esta región se le puso por nombre *region_0*.

Figura 38: Creación de zona para la fase del aceite en la mezcla



Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

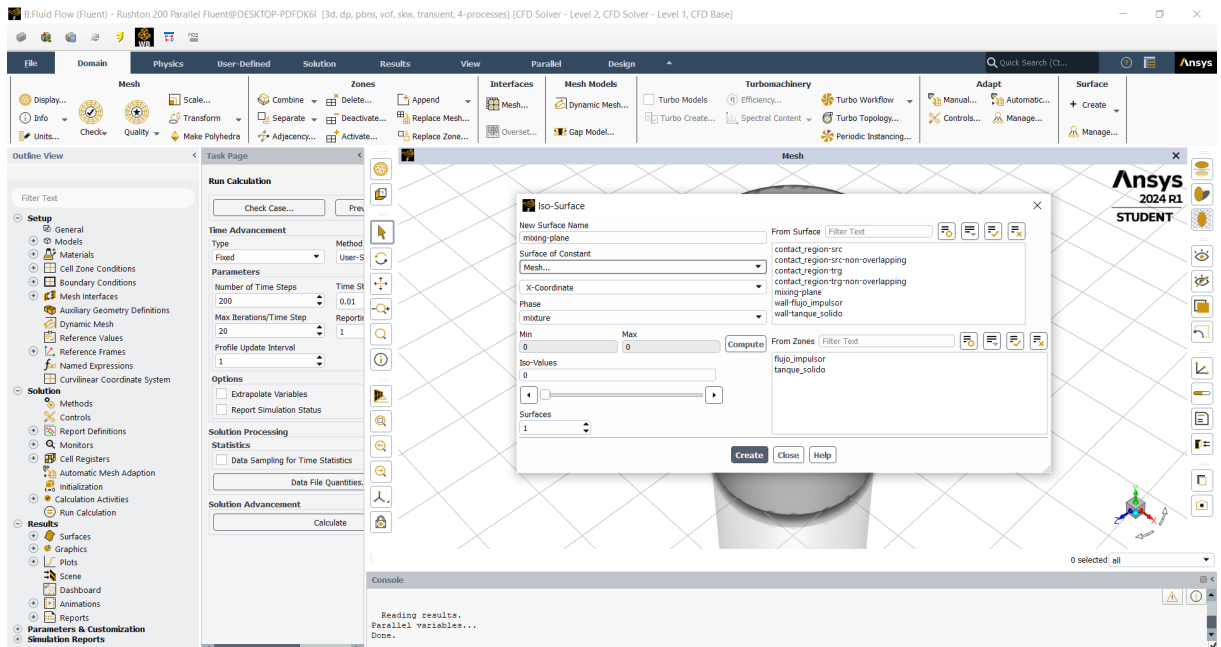
Figura 39: Zona creada para la fase del aceite



Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Para poder observar los resultados de la simulación, se creó un plano transversal al tanque. Para ello, en la pestaña superior *domain*, en la sección *surface*, se seleccionó *create > iso-surface*. En la ventana *iso-surface*, en la opción *surface of constant*, se seleccionó *mesh*. La opción *X-coordinate* indica que el plano se creará transversal al eje X. Se le dio el nombre de *mixing-plane* a la superficie y se seleccionó *create* o crear.

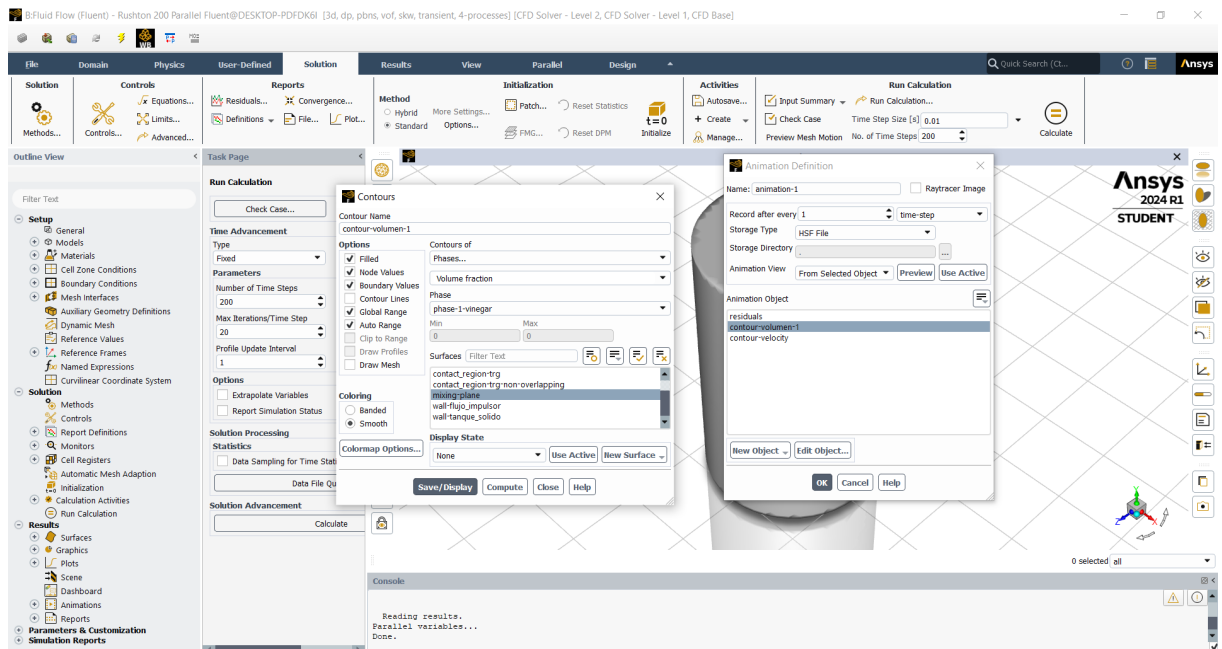
Figura 40: Creación de *iso-surface*



Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Para crear una animación de la solución, dentro de la pestaña superior *solution*, en la sección *activities*, se seleccionó *create > solution animation > new object > contours*. Dentro de la ventana *contours*, se seleccionó como el contorno a graficar el correspondiente a las fases o *phases...*, y luego *volumen fraction* para representar las fracciones de volúmenes de las diferentes sustancias en la mezcla. En la fase, se seleccionó la del vinagre. Esto indica que se representará como la sustancia principal el vinagre en la escala de color, en este caso azul, y el resto de la sustancia serán representada de un segundo color, rojo para esta situación. En *surfaces*, se seleccionó el plano creado anteriormente, *mixing-plane*, para que sobre este se mostrara la animación. En la ventana *animation definition*, se configuró grabar después de cada *time-step* de la solución. Se guardó como un archivo tipo HSF, que es un formato utilizado por ANSYS para guardar las imágenes de cada iteración.

Figura 41: Creación de una animación de la solución

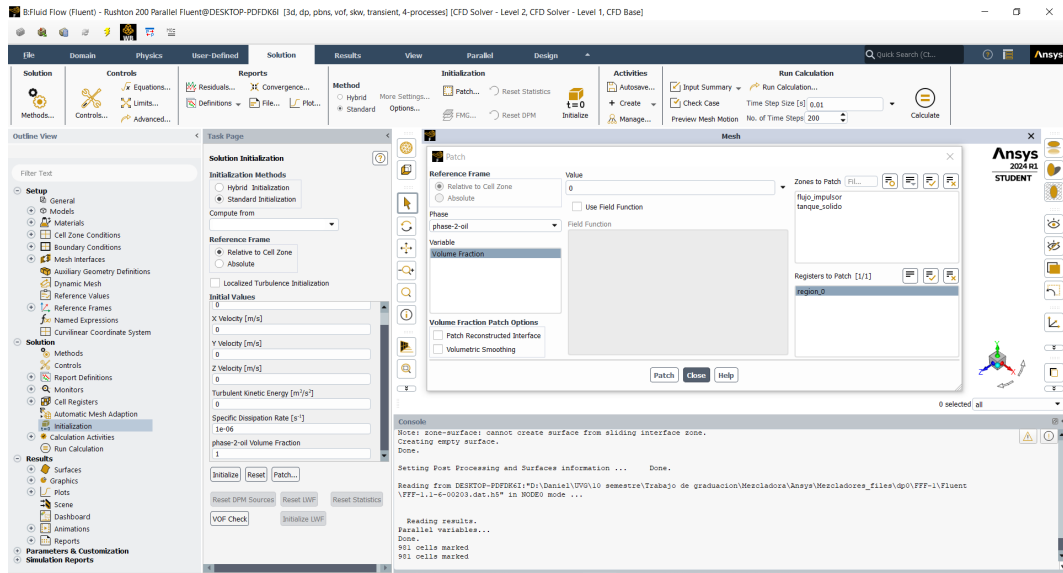


Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

En el *outline view*, se procedió a la opción *initialization* en la sección *solution*. Se realizó una inicialización estándar, seleccionando como referencia *relative to cell zone*. En los valores iniciales, para garantizar que las dos fases sean visibles en la solución, se debe colocar el valor de 1 en *phase-2-oil volumen fraction*. Luego de eso, se dio clic en inicializar o *initialize*.

Después de inicializar, se debe adjuntar la zona creada para la fase del vinagre. Para ello, se selecciona el botón de *patch*. Dentro de la ventana, en *phase* se selecciona *phase-2-oil*. En *variable* se selecciona *volumen fraction*, y en *registers to patch* se selecciona la *region_0*. Luego de esto, se da clic en *patch* dentro de la ventana *patch*.

Figura 42: Inicialización del programa y *patch* de la región del aceite



Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

6.4.5. Ejecución de la simulación en ANSYS Fluent

Para ejecutar la simulación, se seleccionaron los parámetros que se pueden observar en la Figura 43, en la opción de *run calculations*, en la sección de *solution* de la barra *outline view*. El tamaño del paso del tiempo, o *time step size*, debe ser de la escala de milésimas de segundo para que el *solver* sea capaz de converger en una solución en cada paso. Se probaron pasos mayores a 0.01 segundos para poder evaluar un mayor tiempo de mezclado, pero surgían errores en el programa debido a que las ecuaciones que utiliza ANSYS no se lograban resolver con pasos grandes.

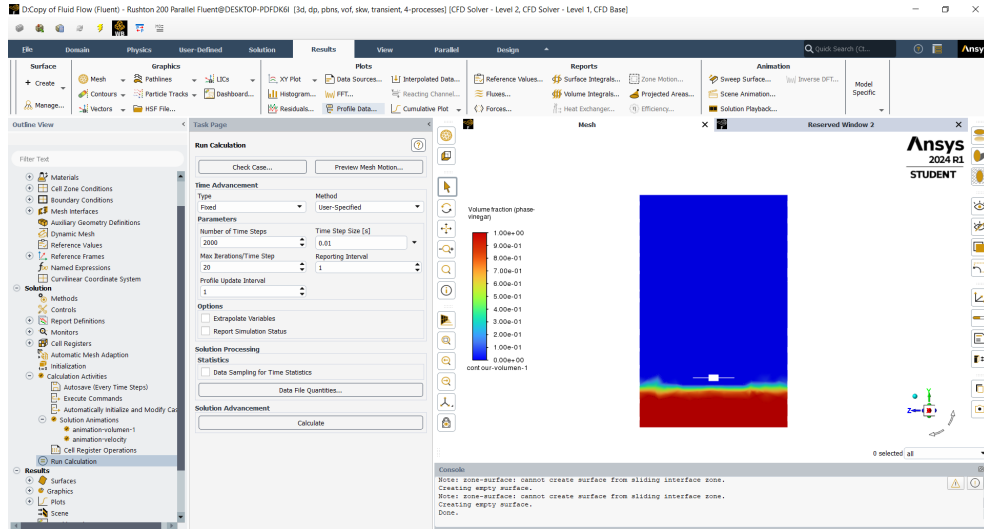
El primer modelo que se simuló fue el del impulsor Rushton, y se decidió ejecutar para simular 20 segundos de mezclado, con un paso de tiempo de 0.01 segundos. Sin embargo, luego de 12 horas de ejecución del programa, únicamente se habían simulado 10 segundos. Por lo tanto se tomó la decisión de pausar la simulación y evaluar los resultados hasta el momento. El segundo modelo que se ejecutó fue el del impulsor original. Se utilizó el mismo tamaño de paso de tiempo, y se simularon 10 segundos para poder comparar resultados con el impulsor Rushton.

De las simulaciones se extrajeron dos imágenes relevantes por cada mezclador. La primera imagen muestra el estado inicial del tanque al realizar las simulaciones de mezclado, tanto para el impulsor utilizado originalmente por APAESA, así como el impulsor Rushton de 21 cm de ancho (véase la Figura 96). La segunda imagen muestra el estado del tanque luego de mezclar por 10 segundos, para ambos casos (véase la Figura 97).

Debido a consideraciones de potencia y hélices que se describen en las siguientes secciones, también se realizaron dos simulaciones con un tanque de 40 kg, para el impulsor original de APAESA, y un impulsor de tres palas inclinadas con dobleces en las palas (véase la Figura 94). La simulación con el impulsor original se ejecutó en un lapso de 1 hora, para simular 10

segundos de mezclado. Sin embargo, la simulación del impulsor de tres palas inclinadas no logró converger a una solución con un paso de 0.01 s. Se requirió establecer un paso de 0.002 s. De este modo, ejecutar la simulación requirió más tiempo, y se tomó la decisión de pausar la simulación después de 11 horas de ejecución, obteniendo como resultado 3.28 segundos de mezclado. Se observan diferencias al comparar el nuevo impulsor con el impulsor original (véase la Figura 95). Todos los resultados indicaron que la agitación se podría ejecutar en un menor tiempo si se utiliza un diseño de hélice diferente al actual.

Figura 43: Parámetros para ejecutar la simulación en Ansys Fluent



Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

6.5. Pruebas preliminares

Se realizaron pruebas preliminares para estudiar el comportamiento de una sustancia al momento de mezclarse utilizando un mezclador para muestras pequeñas, de hasta 4000 ml. Se utilizó un agitador superior modelo OS-20L, marca Benchmark. En la primera prueba se utilizó un beaker con 2,500 ml de agua. El impulsor tiene un diseño que puede ser clasificado de cuatro palas inclinadas, que cumple con la proporción de diámetro del impulsor con el diámetro del beaker. En la segunda prueba se agregaron 78 g de manzanilla para estudiar el comportamiento al mezclar diferentes componentes. Se utilizó una regla tipo escala con el fin de simular el efecto de un deflector en la mezcla.

Con el agitador centrado en el beaker, se observó la formación de un vórtice que llegaba hasta la ubicación del impulsor (véase la Figura 45). Al descentrarlo $\frac{1}{6}$ el diámetro del beaker, el tamaño del vórtice disminuyó. El vórtice se eliminó por completo al introducir el deflector, como se observa en las Figuras 46 y 47.

Las Figuras 48 y 49 muestran el mismo efecto en la mezcla de agua y manzanilla. También se observó turbulencia al introducir el deflector, sin embargo, esto no es posible apreciarse en fotografía. Debido a las observaciones significativas en las pruebas, se procedió al diseño de deflectores que pudieran ser utilizados en la empresa.

Figura 44: Agitador superior OS-20L

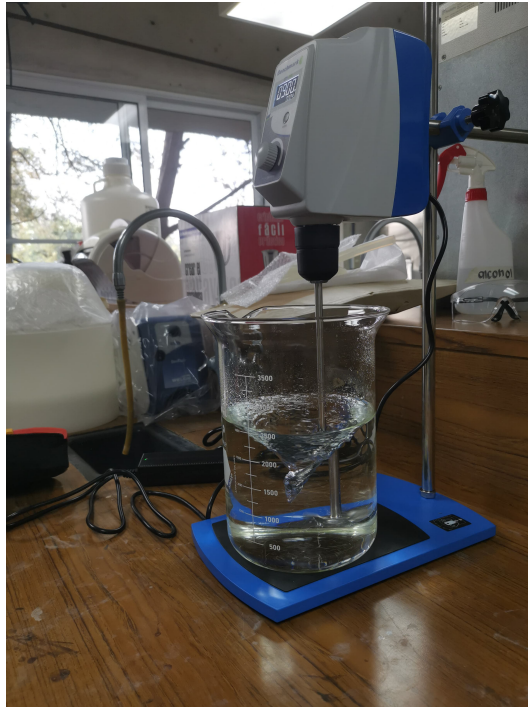


Figura 45: Agitador centrado en agua

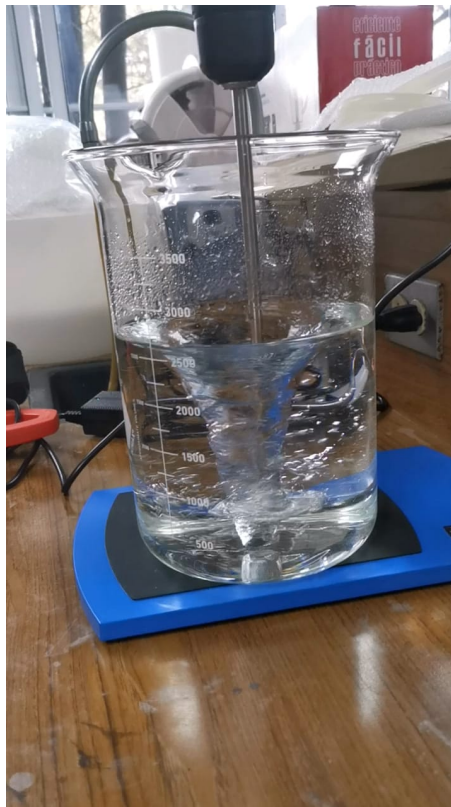


Figura 46: Agitador descentrado en agua

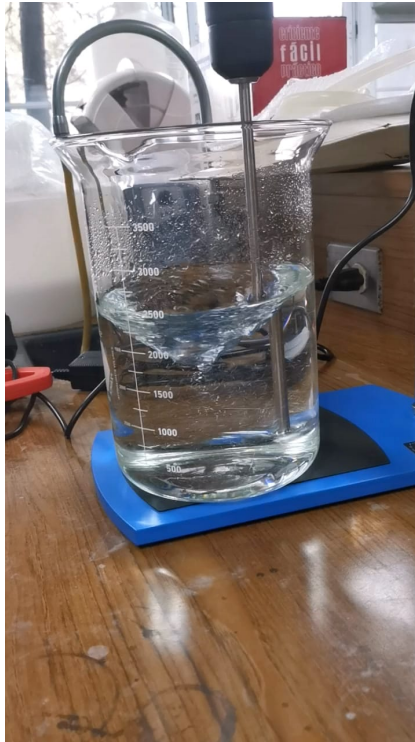


Figura 47: Agitador en agua con deflector

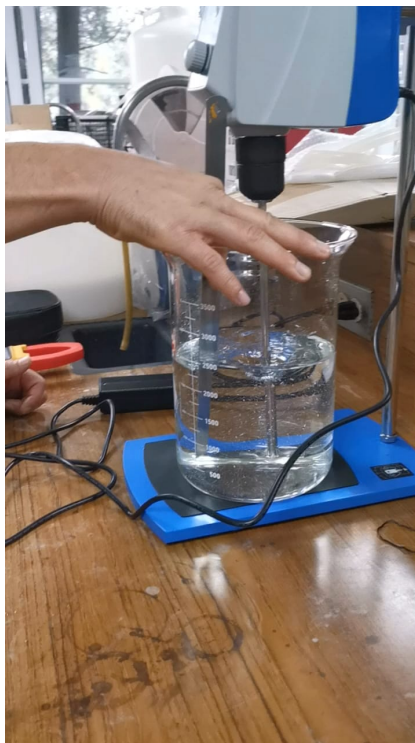


Figura 48: Mezcla de agua y manzanilla con agitador centrado



Figura 49: Mezcla de agua y manzanilla con agitador centrado y deflector



6.6. Diseño de prototipo para fabricación

6.6.1. Cálculos preliminares

La Ecuación 1 se utilizó como punto de partida para el diseño de un equipo de agitación eficiente. Las siguientes variables de la ecuación dependieron de criterios y decisión del diseñador:

- Diámetro del impulsor: de acuerdo con Harriot et. al (2007), el diámetro del impulsor debe ser una tercera parte del diámetro total del tanque de mezclado. Sepro Systems recomienda que en aplicaciones de suspensión de sólidos, este tenga un valor entre el 38 % y el 42 % del diámetro del tanque (Systems, 2021).
- RPM: la velocidad de operación comúnmente suele estar por debajo de la velocidad nominal del rotor, entre 350 y 30 rpm. Sin embargo, los mezcladores portátiles también pueden operar sin reducciones. Se debe considerar que a medida que la velocidad de operación aumenta, la potencia requerida también crece (Hoeks et al., 2003).
- Número de potencia: de acuerdo con la Figura 17, los impulsores de hélice son los que poseen los valores más bajos de N_p . Los impulsores de turbina pueden considerarse más fáciles de fabricar, sin embargo, sus números de potencia son mayores a la unidad. La turbina con los valores más bajos de N_p es la de palas inclinadas.

Se desean realizar cálculos preliminares para determinar cómo se debería aplicar la teoría de diseño de mezcladoras al caso de la empresa APAESA. Se utilizó la Ecuación 1 para realizar esta evaluación. El escenario considerado fue utilizando los mismos motores que posee la empresa. Se utilizó como vehículo la sustancia con mayor viscosidad. También se consideraron diferentes tanques para comprender el comportamiento del motor en las diferentes configuraciones típicas de operación en APAESA. El diámetro del impulsor utilizado corresponde a un 40 % del diámetro de cada tanque. Para la selección del impulsor, se tuvo por objetivo evitar reducir las rpm en los casos donde fuera posible sin superar una demanda de 0.5 hp.

Se seleccionó primero un impulsor de palas inclinadas con un valor de potencia de 1.5, pero este solo se pudo utilizar en el tanque de 24 cm de diámetro. Para los otros se probó con una hélice HE-3, la cual tiene un número de potencia más bajo y reduce la potencia requerida. En los tanques de 40 y 56.5 cm de diámetro, se observa que fue necesario reducir las rpm, dado que no hay otro impulsor que logre el objetivo de potencia sin reducir la velocidad. Dado que el N_p depende del número de Reynolds, y este es directamente proporcional a las rpm, los valores para ésta hélice variaron de 0.28 a 0.2. El número de Reynolds se calculó haciendo uso de la Ecuación 2. Los resultados se muestran en el Cuadro 6, donde D es el diámetro del tanque, y D_a corresponde al diámetro del impulsor.

Cuadro 6: Potencia requerida para agitar en diferentes tanques de APAESA

D (cm)	D_a (cm)	RPM	N_p	Potencia (Hp)
24	9.6	1720	1.5	0.42
26	10.4	1720	0.28	0.1173
31.5	12.6	1720	0.28	0.3062
33	13.2	1720	0.2	0.276
37.5	15	1720	0.2	0.523
40	16	860	0.2	0.09
40	16	430	0.2	0.011
56.5	22.6	860	0.2	0.508
56.5	22.6	430	0.2	0.063

Fuente. Elaboración propia

Se puede observar que debido a la variedad de tanques que posee la empresa, los diámetros de los impulsores también son diferentes para cada tanque. La necesidad de reducir rpm indica también que es necesario contar con un dispositivo que logre dicha reducción a la velocidad de trabajo del motor, lo cual corresponde a un variador de frecuencias o a una caja reductora.

6.6.2. Selección del diámetro del impulsor

Dada la variedad de tamaños de tanques, para el prototipo se desea seleccionar un diámetro que pueda utilizarse en varios de ellos. El Cuadro 7 muestra el porcentaje que representa el diámetro del impulsor para el diámetro de cada tanque, donde la columna D son los diámetros de los tanques.

Cuadro 7: Relación diámetro impulsor/tanque (%)

Capacidad (kg)	D (cm)	Diámetro del impulsor (cm)								
		9	10	12	12.5	13	13.5	14	17	19
5	22	41	45	55	57	59	61	64	77	86
5	24	38	42	50	52	54	56	58	71	79
5	26	35	38	46	48	50	52	54	65	73
10	29	31	34	41	43	45	47	48	59	66
15	24	38	42	50	52	54	56	58	71	79
15	31.5	29	32	38	40	41	43	44	54	60
25	33	27	30	36	38	39	41	43	52	58
40	40	23	25	30	31	33	34	35	43	48
50	37.5	24	27	32	33	35	36	37	45	51
200	56.6	16	18	21	22	23	24	25	30	34

Fuente. Elaboración propia.

Los valores resaltados en negrita cumplen con el requisito de que el impulsor sea entre el 33 % y el 42 % el valor del diámetro del tanque. Los tanques de 5 y 10 kg se consideraron pequeños, y se deseaba enfocar el trabajo en tanques de mayor capacidad. Por lo tanto, se

eligió el diámetro de 13.5 cm para el impulsor, el cual puede ser utilizado en los tanques de 25, 40 y 50 kg, y podría ser considerado también para el de 15 kg de 31.5 cm de diámetro, ya que solo supera el valor establecido por 1 %.

6.6.3. Cálculo de la potencia requerida

Con el diámetro del impulsor seleccionado, se debe calcular la potencia que se requiere para realizar la mezcla. Se evaluaron los cinco vehículos usados por la empresa (véase el Cuadro 3), usando un impulsor Rushton de 13.5 cm de diámetro. De acuerdo con los requisitos, se consideró un motor trifásico de 1 Hp que opera a 1725 rpm. Nuevamente, se utilizó la Ecuación 1 para calcular el número de potencia, y la Ecuación 2 para el número de Reynolds.

Cuadro 8: Requerimiento de potencia para un impulsor Rushton de 13.5 cm de diámetro

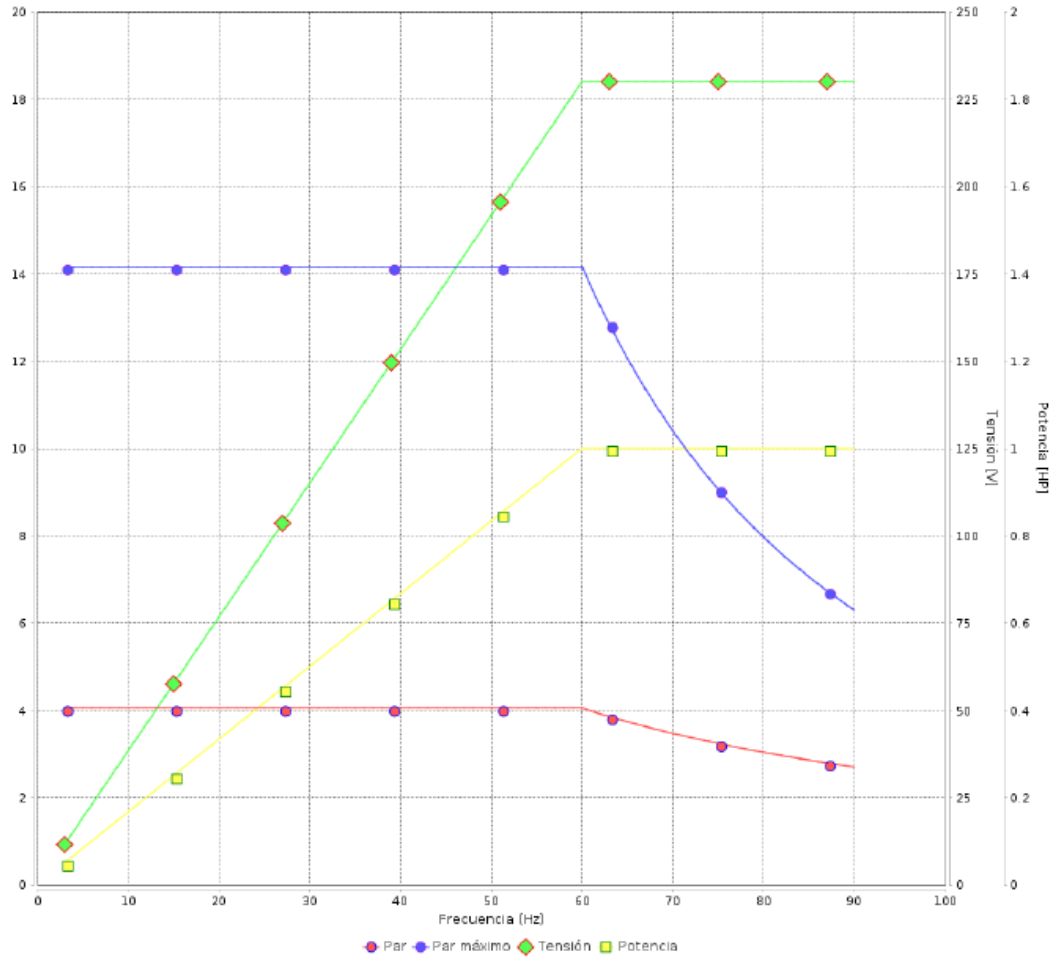
Vehículo	ρ (kg/m^3)	μ ($Pa * s$)	Velocidad de operación (%)	Re	N_p	P (Hp)
A	1022	0.075	100	7,140	5.8	8.47
			50	3,570	5.8	1.06
B	1090	0.450	100	1,269	4.8	7.48
			50	697	4.2	0.82
C	1118	0.0109	100	53,743	5.8	9.27
			50	26,871	5.8	1.15
D	1036	0.062	100	8,755	5.8	8.59
			50	4,378	5.6	1.03
E	789	0.001095	100	377,545	5.8	6.54
			50	188,772	5.8	0.82

Fuente. Elaboración propia.

Se puede observar que una reducción en la viscosidad o un aumento de la densidad, como el vehículo C, aumenta significativamente el número de Reynolds. Para el caso del impulsor Rushton, esto significa que aumenta su número de potencia y en consecuencia, la potencia requerida. Otros impulsores disminuyen el N_p a medida que aumenta el Re . También se observa que reducir la velocidad de operación ayuda significativamente a reducir la potencia requerida para mezclar. Esto se puede lograr utilizando un variador de frecuencias.

Sin embargo, cuando se reduce la frecuencia, la potencia de salida del motor también disminuye. Como ejemplo se muestra la Figura 50, donde se grafica el comportamiento de un motor W22 NEMA *premium efficiency* trifásico de 1 Hp, 230V y 4 polos, cuando se opera a diferentes frecuencias.

Figura 50: Curva de operación de motor W22 NEMA *premium efficiency* trifásico con convertor de frecuencia



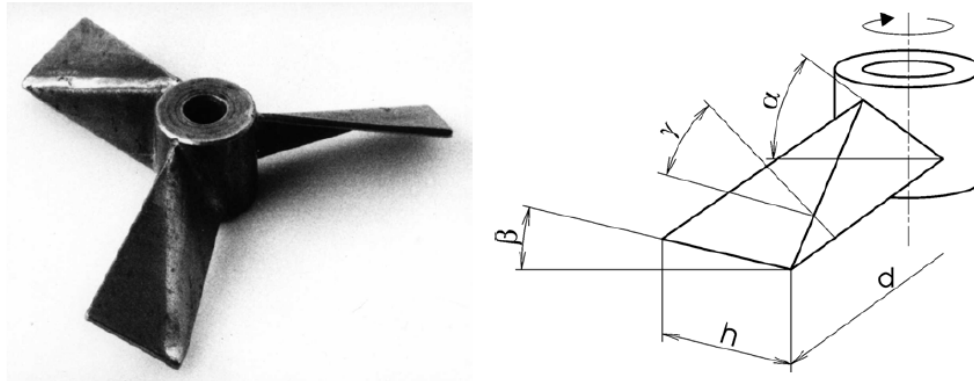
Fuente. Cortesía de WEG S/A.

Como resultado de esta información, no solo se requiere disminuir la velocidad de operación, sino que la potencia del motor a esa frecuencia debe ser superior a la potencia requerida para ejecutar la mezcla. Impulsores de alta eficiencia como un A310 pueden aportar con la disminución de la potencia requerida.

En un estudio sobre suspensión en mezclas, Jirout y Rieger (2011) describen pruebas realizadas para la suspensión de sólidos utilizando diferentes impulsores. Los autores proporcionan información de dimensionamiento de un impulsor de 3 palas inclinadas con dobles diagonales en sus palas de acuerdo al estándar de la República Checa CVS 69 1043. Jirout y Rieger recomendaron este impulsor como el más favorable en eficiencia de suspensión contra los otros impulsores utilizados en su experimento, entre los cuales se encontraban impulsores de hidroala A310 e impulsores de palas inclinadas. Su número de potencia corresponde a 0.79, siendo constante en región turbulenta. Sus dimensiones de acuerdo al estándar son $\alpha = 67^\circ$, $\beta = 25^\circ$, $\gamma = 48^\circ$, y $h/d = 0.2$, donde d corresponde al diámetro total del impulsor (véase la Figura 51). Considerando este impulsor, la potencia requerida para realizar la mezcla se puede observar en el Cuadro 9. Para ésta hélice, se utilizó el número de potencia

de referencia en el estudio, de 0.79, que aplicó para números de Reynolds entre 24,300 y 129,700. De la Figura 17 se observa que por encima de 3,000 Re , el valor de N_p permanece constante para hélices similares.

Figura 51: Turbina de 3 palas inclinada con dobleces diagonales en las palas de acuerdo al estándar CVS 69 1043



Fuente. (Jirout y Rieger, 2011).

Cuadro 9: Requerimiento de potencia para una turbina de tres palas inclinada según estándar CVS 69 1043 de 13.5 cm de diámetro

Vehículo	ρ (kg/m^3)	μ ($Pa * s$)	Velocidad de operación (%)	N_p	P (Hp)
A	1022	0.075	100	0.79	1.14
			80	0.79	0.58
B	1090	0.450	100	0.79	1.24
			80	0.79	0.64
C	1118	0.0109	100	0.79	1.27
			80	0.79	0.65
D	1036	0.062	100	0.79	1.18
			80	0.79	0.60
E	789	0.001095	100	0.79	0.90
			80	0.79	0.46

Fuente. Elaboración propia.

6.6.4. Consideración de materiales y método de manufactura

De acuerdo a los cálculos realizados, se seleccionó el diseño de la hélice de tres palas inclinadas con dobleces diagonales, según el estándar CVS 69 1043, para fabricar un prototipo. Para facilitar la referencia de la hélice, en este documento se procederá a identificarla como hélice P3B. Para el proceso de fabricación, se consideraron dos técnicas de manufactura. La primera opción fue la impresión 3D FFF, o fabricación por filamento fundido. La segunda fue un mecanizado en una fresadora CNC. Para que el prototipo fuera funcional, el material a utilizar debía ser resistente a la corrosión.

BCN3D, una empresa líder en desarrollo y fabricación de soluciones de impresión 3D a nivel mundial, realizó un experimento con 8 materiales de impresión 3D con la finalidad de determinar su resistencia a la corrosión en un disolvente orgánico. Los materiales utilizados fueron PLA, PET-G, ABS, TPU, PA, PP, PAHT, CF15 y PPGF30. El agente corrosivo seleccionado fue Nitro-P, que es utilizado para diluir pinturas y es muy agresivo. Los resultados indicaron que la mayoría de materiales sufrieron alteraciones en su aspecto físico o resistencia mecánica, a excepción del PP y el PPGF30. Ninguno de estos dos últimos se vio afectado por el disolvente luego de 24 horas de estar sumergidos (BCN3D, 2020). Información proporcionada por Prusa, otra empresa líder en impresión 3D, corrobora los resultados de este experimento. En un artículo publicado en 2021, se detallan la resistencia química de los materiales más comunes utilizados para la impresión 3D, donde se destaca que el PP es resistente a una amplia variedad de productos químicos. Entre algunos de ellos están el alcohol isopropílico al 99 %, ácido cítrico, ácido nítrico al 69 %, ácido sulfúrico al 96 %, etanol y acetona (Team, 2021).

Para el maquinado CNC, se consideraron tres opciones. Las primeras dos corresponden a la familia de aceros inoxidable. Estas son usadas en ambientes donde se requiere una resistencia superior a la corrosión ante cualquier otro tipo de acero. El 304 suele ser utilizado en la industria alimenticia, química, equipos de cocina y hospitales, elementos arquitectónicos y piezas mecánicas. El acero 316L cuenta con una resistencia a la corrosión mayor a la del acero 304. Es utilizado en medios químicos más agresivos como en ambientes ácidos, marinos, quirúrgicos e industriales (Tecniaceros, s. f.). La tercera opción es un aluminio 6061-T651. Sus aplicaciones abarcan la industria automotriz, civil y la naval, debido a su alta resistencia, bajo peso y resistencia a la corrosión en entornos marinos y ambientes exteriores (Coppermetal, s. f.). Se cotizó la cantidad necesaria de material para fabricar la hélice con cada una de las opciones propuestas.

Cuadro 10: Cotización de materiales para la fabricación de un prototipo de hélice

Material	Precio (Q)/kg	Cantidad (kg)	Precio (Q)	Proveedor
PP	308.12	1.000	308.12	Amazon
PP	1,305.36	0.028	36.55	UVG
Acero inox 316L	128.54	8.820	1,133.67	Tecniaceros
Acero inox 304	74.57	8.820	657.67	Tecniaceros
Aluminio 6061	174.13	2.976	518.13	Tecniaceros

Fuente. Elaboración propia.

Los precios pueden variar con el tiempo.

Para los materiales de metal, se requiere de un bloque de 6 pulgadas de diámetro por 2 pulgadas de alto. El peso en kg hace referencia a esta cantidad de material de acuerdo a su densidad. Para el polipropileno, únicamente se requieren 0.028 kg para fabricar la hélice, pero para adquirir el material por medio de Amazon, se debe comprar una bobina completa de 1 kg. A través de la universidad se puede imprimir la pieza pagando únicamente la cantidad que se utilizaría. El precio por la pieza es menor que todos los demás, pero su precio por kg es mayor.

Aunque el acero inoxidable tiene mayor resistencia a la corrosión, la manufactura suele ser más compleja, requiriendo hasta tres veces el tiempo de maquinado de una pieza en aluminio

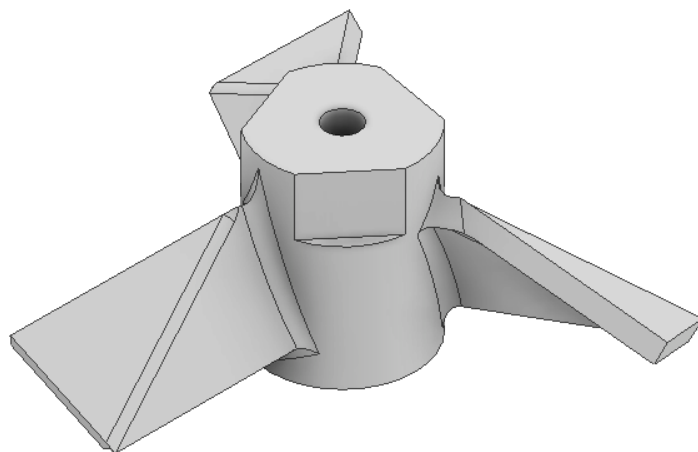
(Mu, 2015). Por lo tanto, se consideró que el aluminio 6061 es un material apropiado para fabricar un prototipo de hélice para pruebas de mezclado. Se procedió a diseñar una hélice de tres palas inclinadas con dobleces en las palas en Autodesk Inventor [®], bajo el estándar CVS 691043.

Se consideró fabricar un prototipo con impresión 3D y filamento de polipropileno. Sin embargo, luego de realizar pruebas de manufactura, ya no se utilizó una hélice hecha con este material en el proceso de agitación. La pieza se despegó en repetidas ocasiones de la cama de impresión durante el proceso, impidiendo terminar una hélice correctamente. Para la adhesión se utilizaron las opciones en Ultimaker Cura de adherencia en la placa de impresión tipo “borde” y tipo “balsa”, y se aplicó pegamento en barra en la cama de impresión. Esto no fue suficiente, debido a que al momento en que las capas inferiores se enfrían, el material se contrajo, provocando que la base se despegue de la impresora. Adicional a esto, el material de soporte que requirió la geometría no se pudo retirar con facilidad como ocurre en los soportes de impresiones de PLA. Se utilizó un soporte tipo normal, con una distancia en Z entre el soporte y la pieza de 0.4 mm. Una mayor separación provocaba que la pieza también se despegara del soporte antes de finalizar la impresión.

6.6.5. Diseño de maquinado CNC

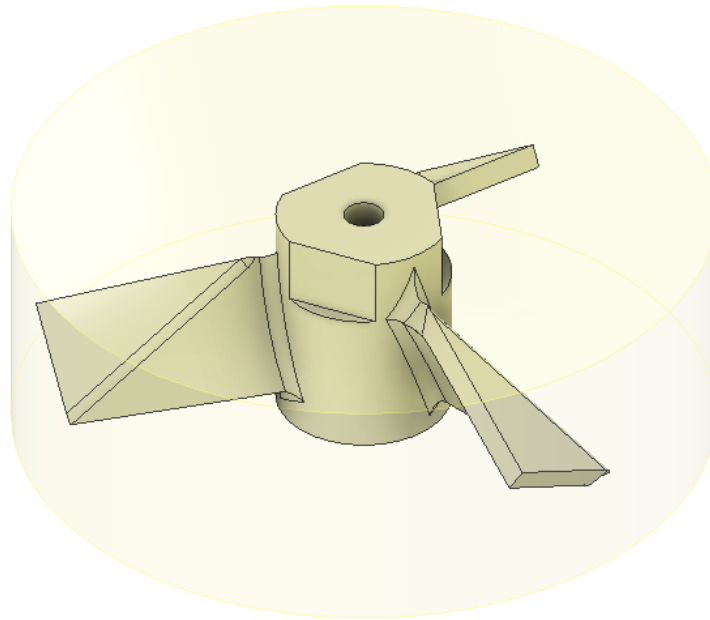
El modelo preparado en Autodesk Inventor[®] partió de la consideración de que se manufacturaría en una fresadora CNC. La altura para el impulsor se definió de 47.5 mm. Las dimensiones de la longitud de las palas se seleccionaron para que la hélice tuviera un diámetro total alrededor de los 13.5 cm considerados para el diseño.

Figura 52: Diseño CAD de la hélice P3B



Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 53: Diseño CAD de la hélice P3B con material de *stock*

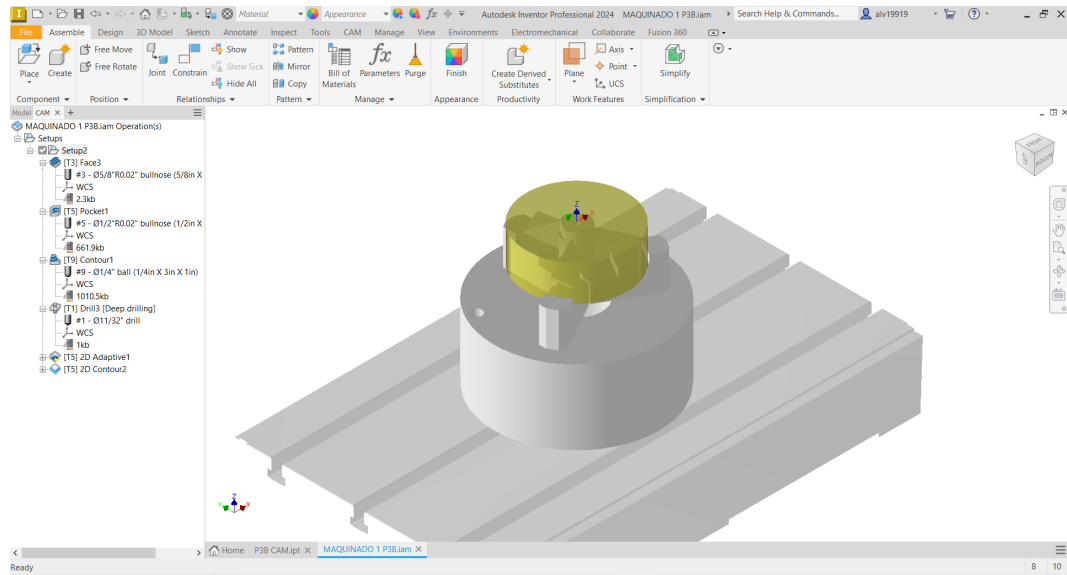


Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Se utilizaron tres operaciones para el primer maquinado. Utilizando un *face* se careó la primera capa, eliminando imperfecciones y alcanzando la altura superior de la hélice. Esta utilizó una fresa plana de $5/8$ de pulgada. Se utilizó la estrategia *pocket*, para desbastar el material con una fresa plana de diámetro de $1/2$ pulgada. Luego, se usó la operación *contour* para afinar la superficie. Para ello se usó una fresa de bola de diámetro de $1/4$ de pulgada. Se hizo un agujero pasado de $27/64$ de pulgada utilizando una broca, con la finalidad de hacer un roscado para un tornillo de $1/2$ pulgada. Esta rosca servirá para unirse al eje del motor, que cuenta con una rosca de dicha medida. El primer maquinado en su totalidad tuvo una duración de 1 hora 50 minutos.

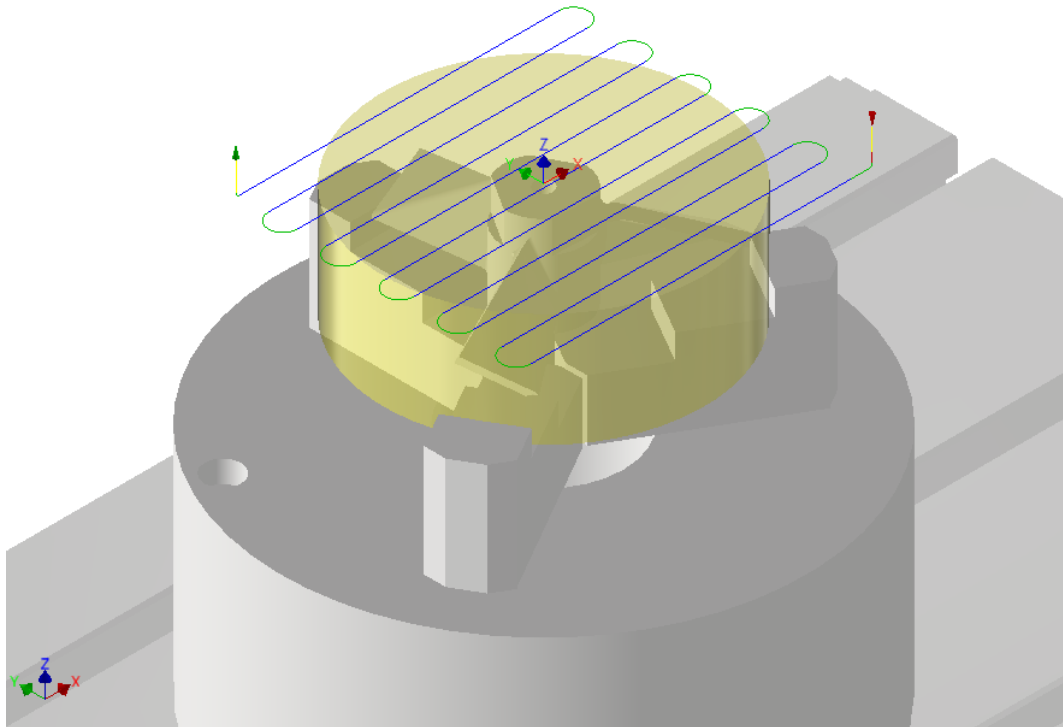
Para el segundo maquinado, se requirieron de tres operaciones. La primera fue también un careado utilizando *face*. Este se realizó en cuatro etapas, de máximo 1.5 mm de altura cada capa. Desbastar capas delgadas evitó que la fuerza aplicada por la fresa moviera la pieza de su lugar o se desprendiera de la pieza de sujeción. Este también se realizó con la fresa plana de $5/8$ de pulgada. La operación *adaptive 3D* fue utilizada en esta ocasión para realizar el desbaste de la geometría, usando la fresa plana de $1/2$ pulgada. Para el afinado, se utilizó la operación *parallel 3D* con la fresa de bola de $1/4$ de pulgada. El maquinado duró en total 1 hora 15 minutos. La ejecución del maquinado se realizó en una fresadora CNC vertical modelo Hass VF1, propiedad de la Universidad del Valle de Guatemala. Por último, se utilizó un machuelo $1/2$ 13 UNC para el agujero central.

Figura 54: Modelado CAM del primer maquinado en Autodesk Inventor®



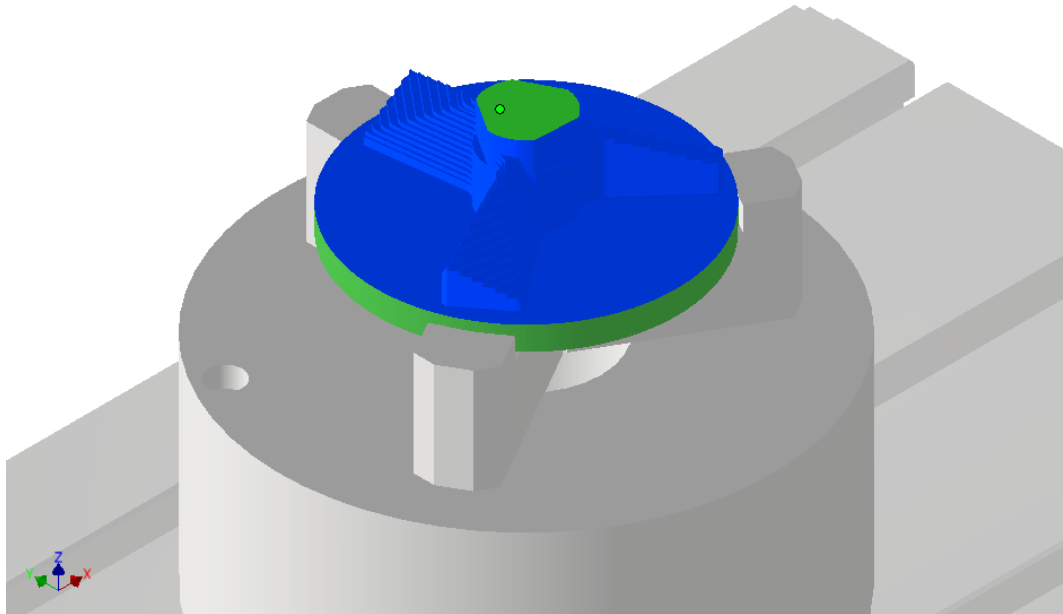
Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 55: Ruta de la operación *face* en el primer maquinado



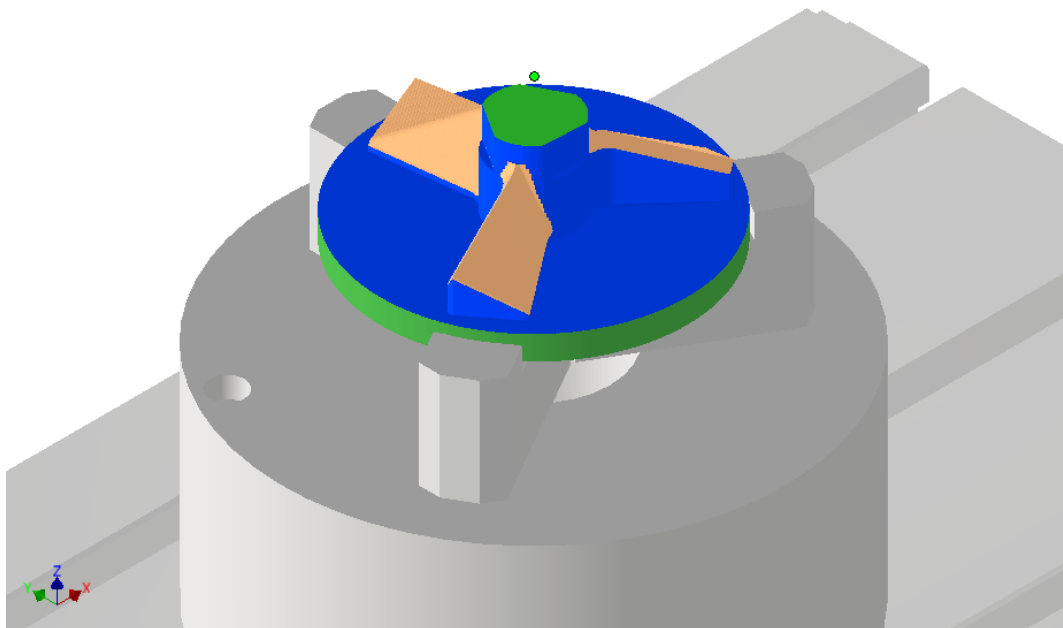
Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 56: Resultado de la operación *pocket* en el primer maquinado



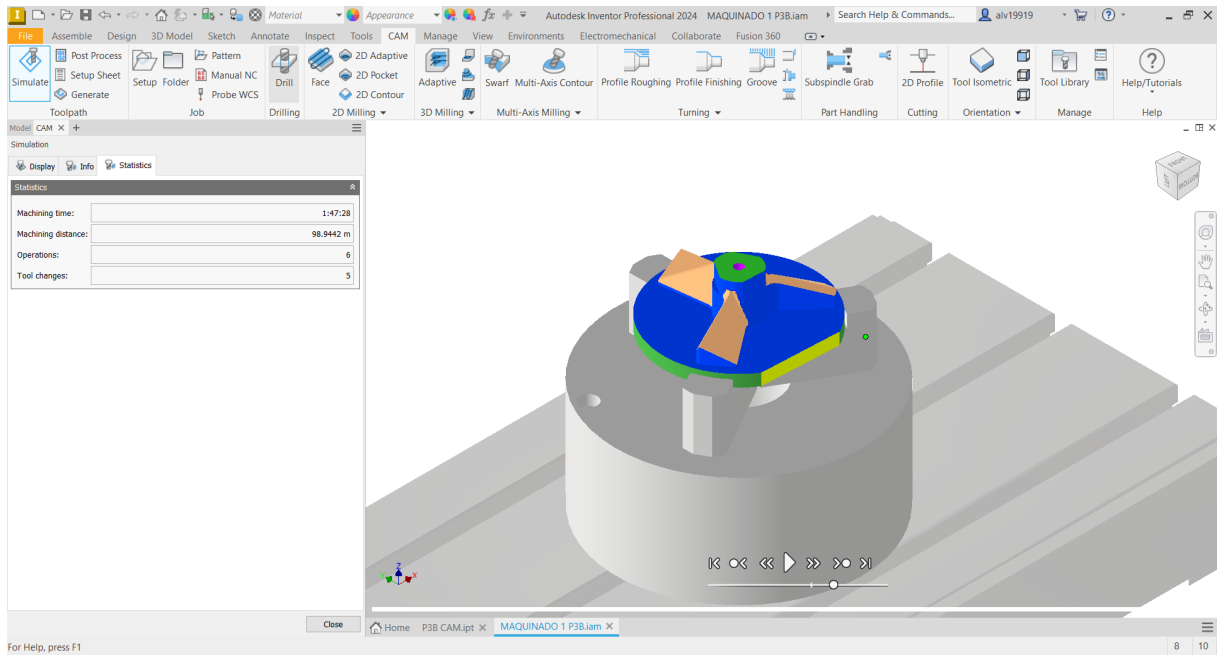
Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 57: Resultado de la operación *contour* en el primer maquinado



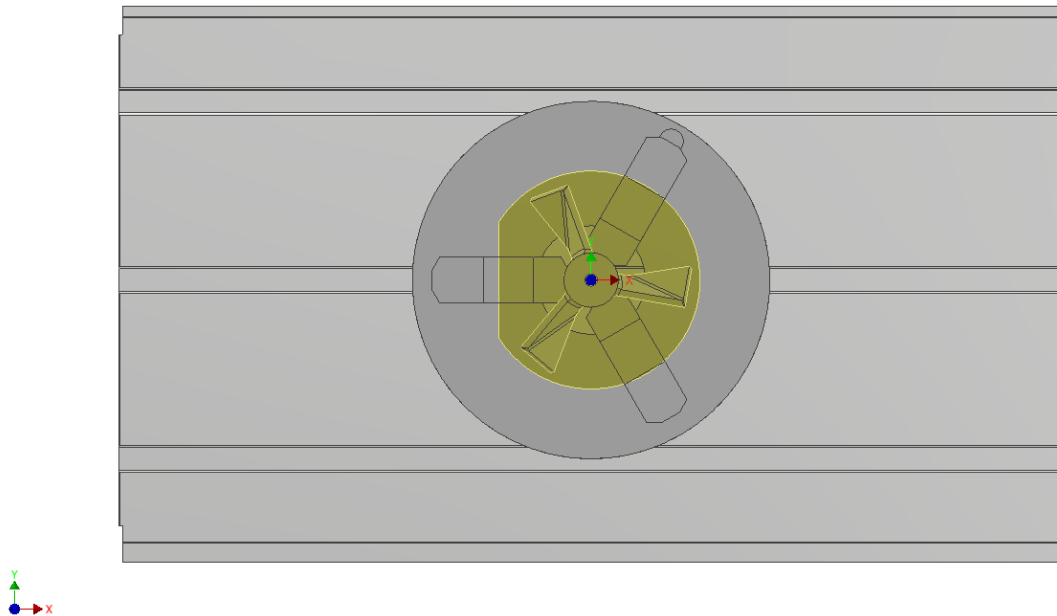
Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 58: Resultado del primer maquinado y duración total



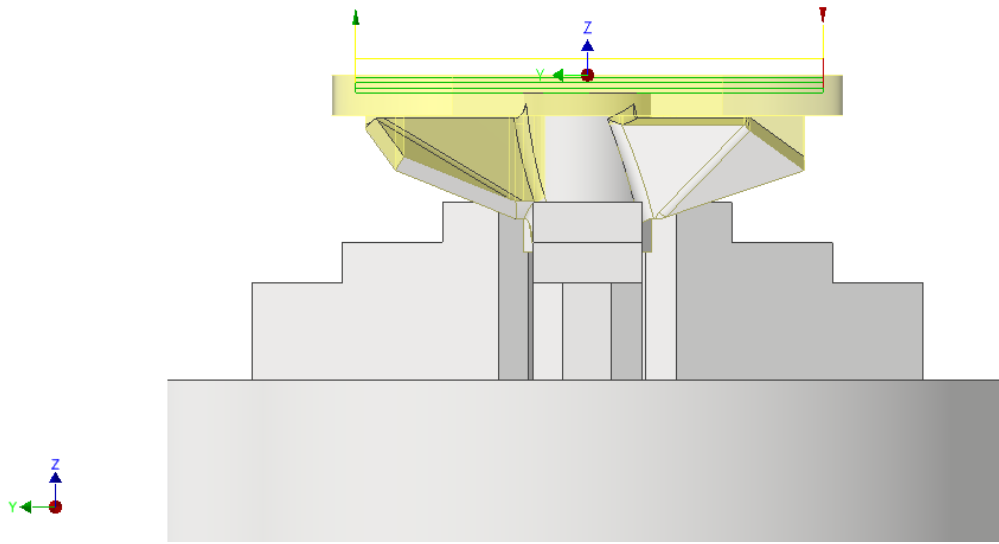
Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 59: Alineación del *stock* al eje *Y* de la mesa de trabajo



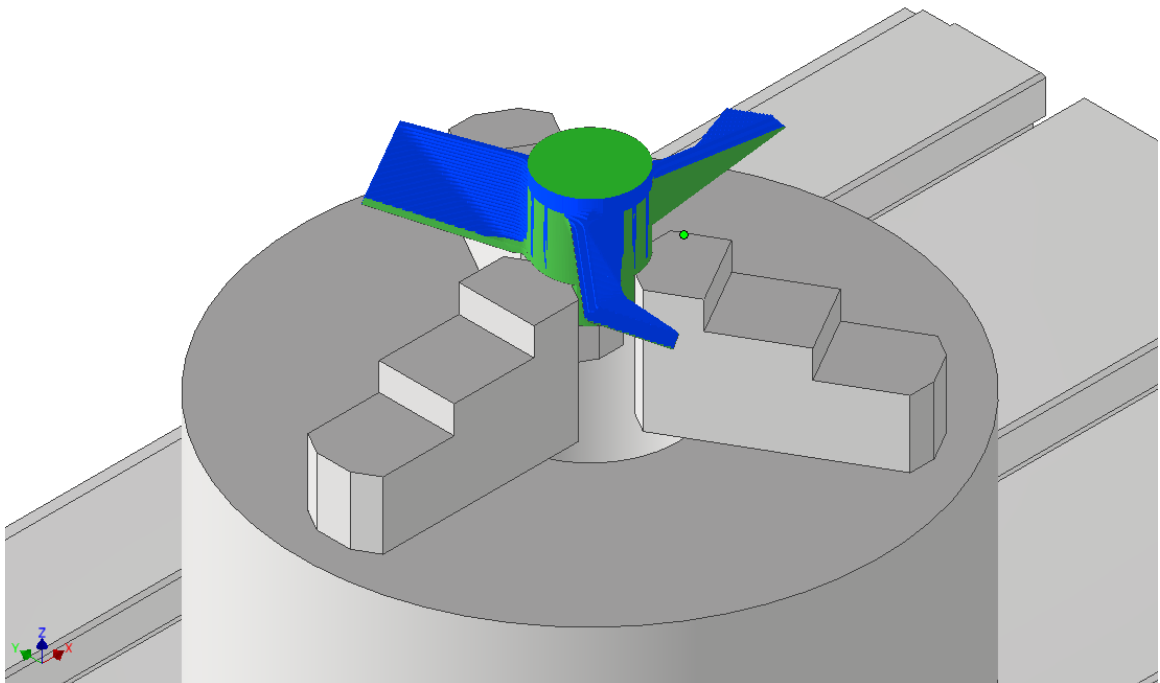
Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 60: Ruta de la operación *face* en el segundo maquinado



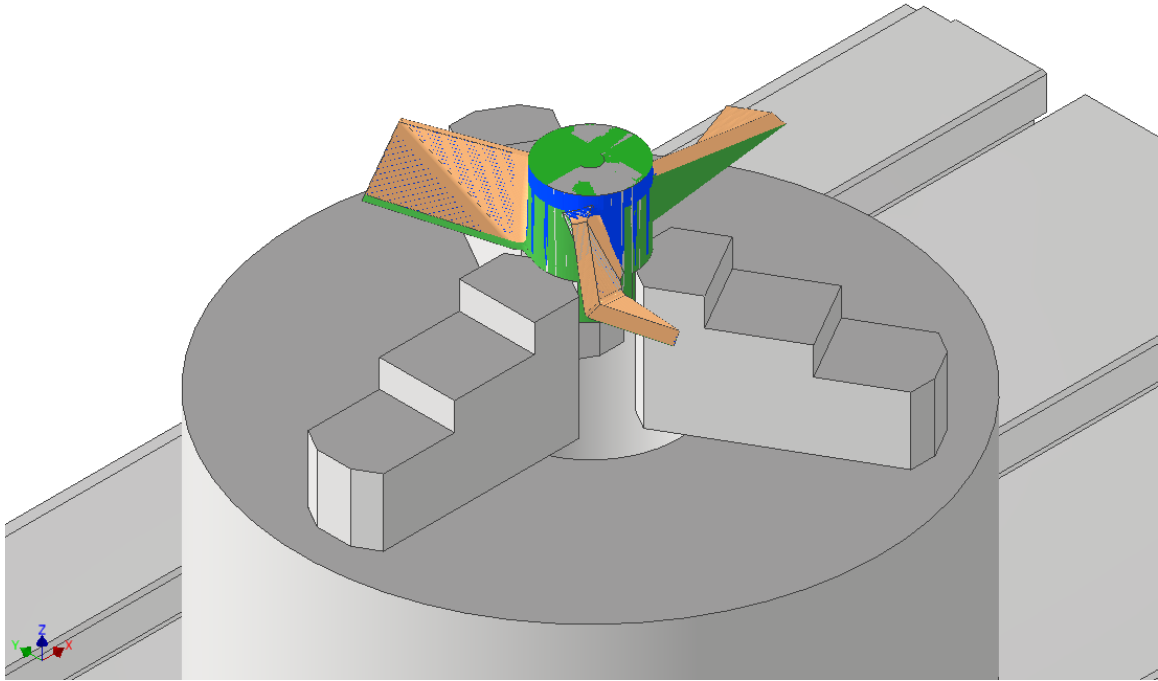
Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 61: Resultado de la operación *adaptive 3D* en el segundo maquinado



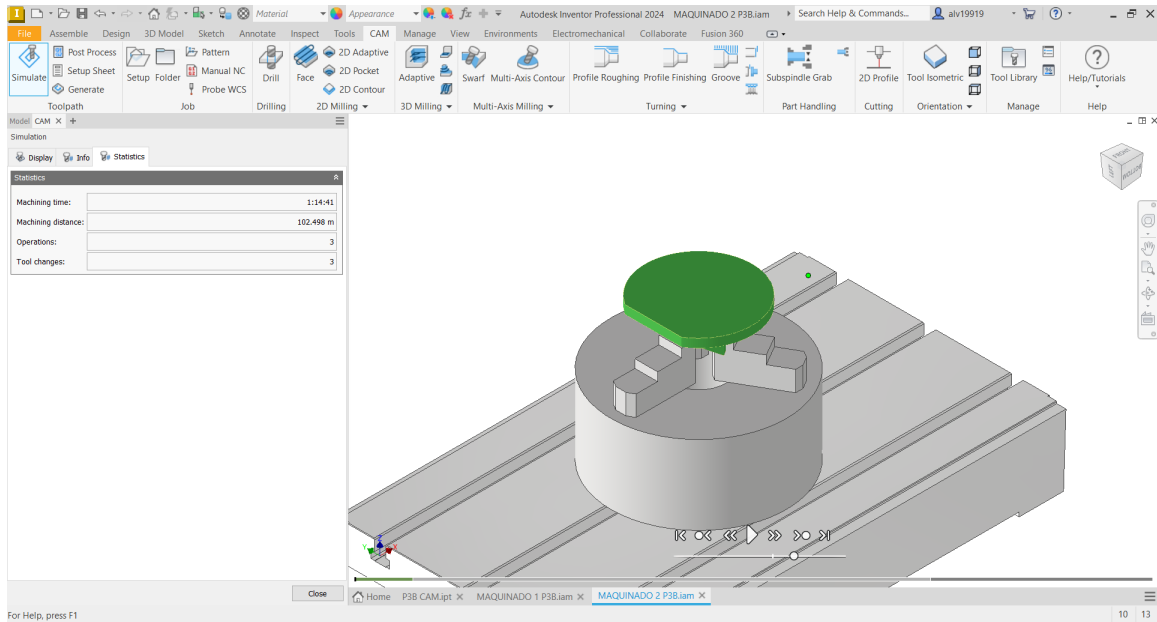
Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 62: Resultado de la operación *parallel 3D* en el segundo maquinado



Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 63: Primer maquinado volteado y duración total del segundo maquinado



Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

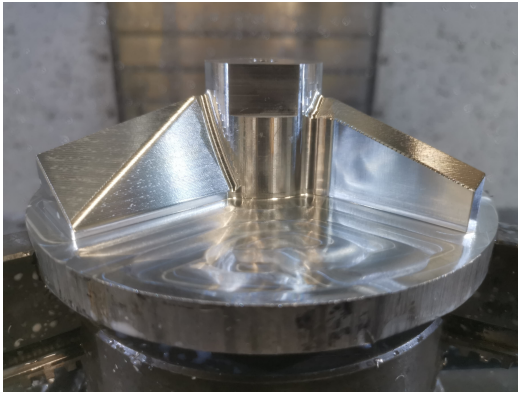
Figura 64: Fresadora CNC vertical Hass VF1



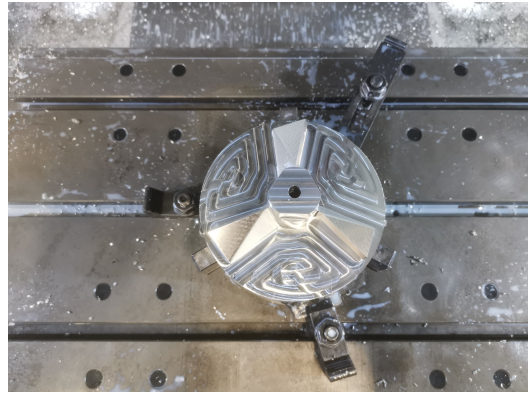
Figura 65: Inicio del primer maquinado CNC



Figura 66: Acabado del primer maquinado



(a) Vista frontal



(b) Vista superior

Figura 67: Calibrado del stock de material para el segundo maquinado

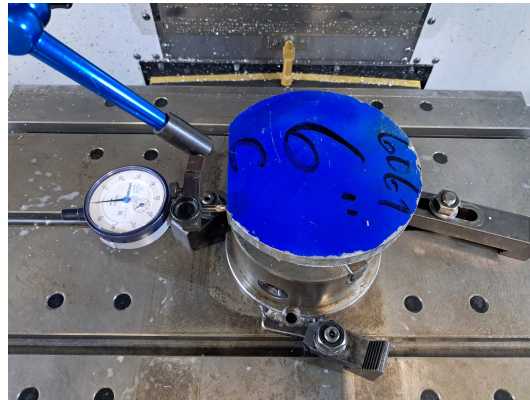
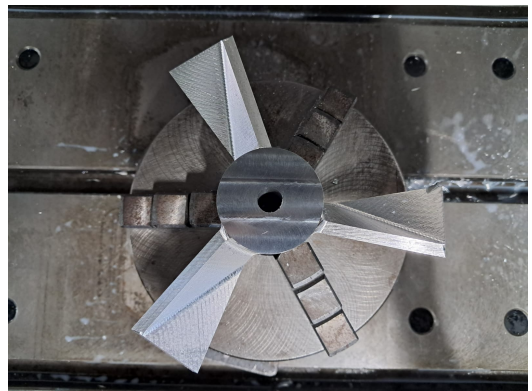


Figura 68: Acabado del segundo maquinado CNC



(a) Vista frontal



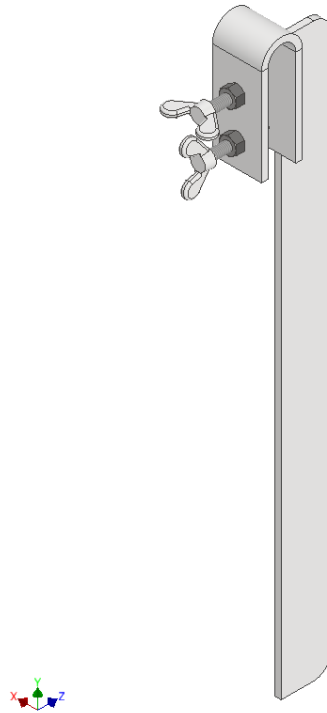
(b) Vista superior

6.6.6. Diseño de deflectores

Agregar deflectores a los tanques puede causar acumulación de materia en las esquinas que se forman en las uniones entre el tanque y los deflectores. Las mezclas que preparan ellos son con medidas exactas, y procuran reducir al mínimo las pérdidas durante el proceso. Se propuso la idea de usar deflectores removibles, la cual consideraron que sería una opción aceptable. Se determinó en conjunto que se diseñarían deflectores para el tanque de mezclado de 25 kg, con 33 cm de diámetro y 40 cm de profundidad.

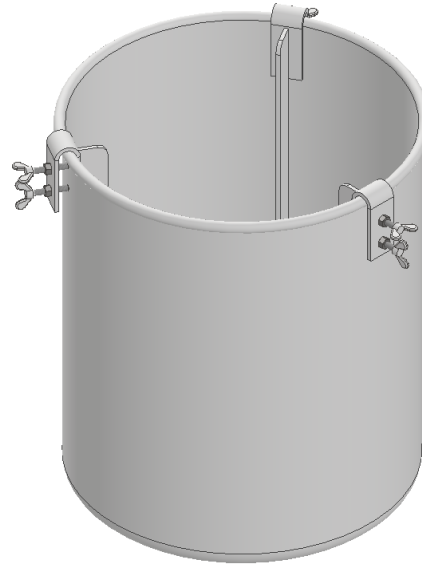
Se diseñaron dos propuestas de deflectores removibles. La primera consiste en un perfil plano de acero inoxidable, con un colgador tipo U fabricado también con el perfil plano. En los colgadores lleva soldadas dos tuercas de 1/2 pulgada, para que por medio de dos tornillo se pueda sujetar por presión a la olla (véase Figura 69 y 70). La segunda propuesta consiste en tres perfiles planos que se unen por medio de dos anillos del diámetro interno del tanque. Cada perfil se encuentra espaciado equitativamente alrededor del tanque, y se introduce y se puede extraer sujetándolo del anillo superior (véase Figura 72)

Figura 69: Diseño A de deflectores removibles



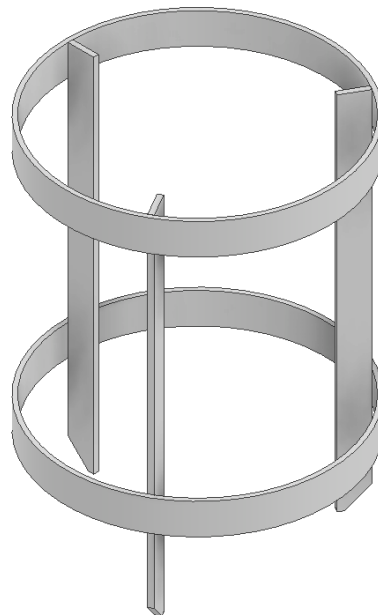
Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 70: Diseño A de deflectores removibles en tanque de 25 kg



Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 71: Diseño B de deflectores removibles

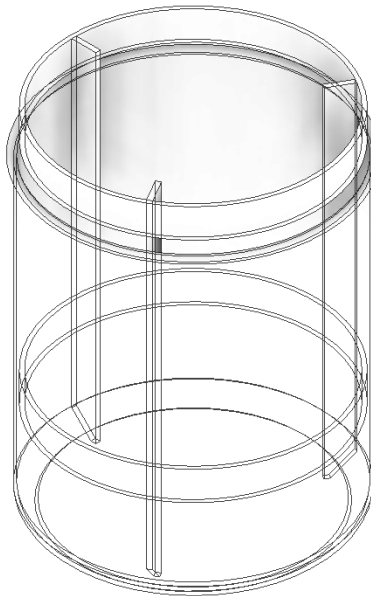


Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Figura 72: Diseño B de deflectores removibles en tanque de 25 kg



(a) Estilo de visualización *shaded with edges*



(b) Estilo de visualización *wireframe*

Fuente. Captura de pantalla de Autodesk reimpressa por cortesía de Autodesk, Inc.

Cuadro 11: Comparación de modelos de deflectores diseñados

	Modelo A	Modelo B
Ventajas	Fijación al tanque	1 sola pieza
	No. variable de deflectores	Diseño simple
	Aplicable a diferentes tanques	Manufactura simple
	Sencillo de almacenar Facilidad de limpieza	
Desventajas	Varios componentes Manufactura compleja	Número fijo de deflectores Específico para un tanque Espacio grande de almacenamiento Limpieza compleja

Fuente. Elaboración propia.

La empresa seleccionó la primera opción para ser fabricada. Los factores principales de esta decisión fueron la facilidad de limpieza y el espacio de almacenamiento necesario. El modelo B requeriría demasiado espacio para almacenarse, y considerando que la empresa cuenta con varios tanques, almacenar varios deflectores de diferentes tamaños en este diseño sería complicado.

El material seleccionado para los deflectores fue acero inoxidable 304. Se utilizó un perfil de 1/8 de pulgada de espesor por 1 pulgada de ancho. Se cortaron tres secciones de 35 cm de largo, los cuales consistirían en los deflectores a instalar.

Para simplificar el modelo, se soldó el perfil plano a un sargento de 1 pulgada de profundidad. Para lograrlo, se desbastó una cara de la prensa a fin de tener una superficie plana, luego se cortó el deflector para tener una geometría conveniente para soldar. Para realizar la soldadura, se utilizó un electrodo para acero inoxidable, ECA 308L-16. Luego de ello, se desbastó el material sobrante y se pintó con pintura anticorrosiva para mejorar su presentación.

Figura 73: Prensa de 1 pulgada de profundidad



Figura 74: Corte de deflectores



Figura 75: Deflector con sargento soldado y acabado de pintura



6.6.7. Dimensionamiento del eje

Dickey y Fasano (2003) proporcionan dos ecuaciones para calcular el torque y el momento de flexión al que estaría sometido el eje del mezclador. Para un mezclador de un solo impulsor, la fórmula de torque en sistema inglés se observa en la Ecuación 3 donde T es torque en $in * lb_f$, P es potencia del motor en hp, y N es velocidad de rotación en rpm. El momento se calcula con la Ecuación 4, donde L es el largo del eje, y f_H es un factor de servicio hidráulico. De acuerdo con Dickey y Fasano (2003), para condiciones estándar en un tanque, y utilizando una hélice de alta eficiencia, el factor de servicio tiene un valor de 1.5, y tiene un valor de 1.0 para una hélice de cuatro palas a 45° . Se decidió utilizar el valor de 1.5 para los cálculos.

$$T_{Q \max} = 63,025 * P/N \quad (3)$$

$$M_{max} = 19,000 * \frac{PLf_H}{ND} \quad (4)$$

Se desea conocer el diámetro requerido para el eje si se considera el motor mencionado en la Sección 6.6.3, operando al 80 % de la velocidad original. Adicional, también se desea saber si el dimensionamiento del eje actualmente utilizado en APAESA es apropiado para una nueva hélice. La longitud de eje considerada fue de 75 cm, que es el largo utilizado actualmente. Primero, utilizando las Ecuaciones 3 y 4, se calcularon los torques máximos y momentos flectores máximos.

$$T_{Q \max, 0.5} = 63,025 * 0.5 \text{ hp}/1,725 \text{ rpm} = 18.27 \text{ in} * \text{lb} \quad (5)$$

$$M_{\max, 0.5} = 19,000 * \frac{0.5 \text{ hp} * 29.53 \text{ in} * 1.0}{1,725 \text{ rpm} * 5.31 \text{ in}} = 45.94 \text{ in} * \text{lb} \quad (6)$$

$$T_{Q \max, 1.0} = 63,025 * 1.0 \text{ hp}/1,380 \text{ rpm} = 45.67 \text{ in} * \text{lb} \quad (7)$$

$$M_{\max, 1.0} = 19,000 * \frac{1.0 \text{ hp} * 29.53 \text{ in} * 1.0}{1,380 \text{ rpm} * 5.31 \text{ in}} = 114.84 \text{ in} * \text{lb} \quad (8)$$

Con estos valores, se puede calcular el diámetro mínimo requerido para el eje utilizando otra ecuación proporcionada por los mismos autores. La Ecuación 9 se calcula para que resista el esfuerzo a corte, mientras que la Ecuación 10 da un diámetro para resistir la fuerza de tensión. El material utilizado fue un acero inoxidable 304, con valores de resistencia a la tensión y al corte de $\omega_t = 9,600$ psi y $\omega_s = 5,800$ psi.

$$d_s = \left(\frac{16 * \sqrt{T_{Q(max)}^2 + M_{max}^2}}{\pi \omega_s} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

$$d_t = \left(\frac{16 * \left(M_{max} + \sqrt{T_{Q(max)}^2 + M_{max}^2} \right)}{\pi \omega_t} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (10)$$

Con dichos datos, se estimó que se requiere un diámetro mayor a 0.35 in para resistir el corte, y mayor a 0.05 in para resistir la tensión en un motor de 0.5 Hp. Para el motor de 1.0 Hp, se requiere un diámetro mayor a 0.48 in para resistir el corte, y mayor a 0.13 in para resistir la tensión. El diámetro actual de la empresa es de 0.5 pulgadas, por lo que cumple con los parámetros.

$$d_{s, 0.5} = \left(\frac{16 * \sqrt{(18.27 \text{ in} * \text{lb})^2 + (45.94 \text{ in} * \text{lb})^2}}{\pi * 5,800 \text{ psi}} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.35 \text{ in} \quad (11)$$

$$d_{t, 0.5} = \left(\frac{16 * \left(45.94 \text{ in} * \text{lb} + \sqrt{(18.27 \text{ in} * \text{lb})^2 + (45.94 \text{ in} * \text{lb})^2} \right)}{\pi * 9,600 \text{ psi}} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.05 \text{ in} \quad (12)$$

$$d_{s, 1.0} = \left(\frac{16 * \sqrt{(45.67 \text{ in} * \text{lb})^2 + (114.84 \text{ in} * \text{lb})^2}}{\pi * 5,800 \text{ psi}} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.48 \text{ in} \quad (13)$$

$$d_{t, 1.0} = \left(\frac{16 * \left(114.84 \text{ in} * \text{lb} + \sqrt{(45.67 \text{ in} * \text{lb})^2 + (114.84 \text{ in} * \text{lb})^2} \right)}{\pi * 9,600 \text{ psi}} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.13 \text{ in} \quad (14)$$

La velocidad crítica del sistema se calculó con la Ecuación 15 que es para el sistema inglés, proporcionada también por Dickey y Fasano (2003). En esta, E_m es el módulo de elasticidad del acero, el cual se usó de $28.6 * 10^6$ psi. ρ_m es la densidad del acero, con valor de $0.29 \text{ lb}_m / \text{in}^3$. S_b es la distancia del eje que está sujeta por el cojinete. Para este caso, se consideró el cojinete del eje frontal del motor. Un motor WEG monofásico de 0.5 HP cuenta con un cojinete 6203 ZZ en la parte delantera, con un espesor de 12 mm o 0.472 in (WEG, 2024). W_e corresponde a la masa del impulsor. Utilizando Inventor, se calculó que ésta era de 6.29 lb_m , considerando el aluminio como el material de la hélice. w es el peso específico por unidad lineal del eje, y L es la longitud del eje. La multiplicación de ambos factores da como resultado el peso del eje en lb_m . En este caso, también puede ser calculado con Inventor. El eje de 0.5 in de diámetro cuenta con una masa de 1.713 lb_m , mientras que el eje de 1 in de diámetro cuenta con una masa de 6.765 lb_m .

$$N_c = \frac{37.8d^2 * \sqrt{\frac{E_m}{\rho_m}}}{L + \sqrt{L + S_b} * \sqrt{W_e + \frac{wL}{4}}} \quad (15)$$

$$N_{c, 0.5} = \frac{37.8(0.5 \text{ in})^2 * \sqrt{\frac{2.86*10^7 \text{ psi}}{0.29 \text{ lb/in}^3}}}{29.53 \text{ in} + \sqrt{29.53 \text{ in} + 0.472 \text{ in}} * \sqrt{(64.47 \text{ in}^3 * 0.0975 \text{ lb/in}^3) + \frac{1.713 \text{ lb}}{4}}} = 222.10 \text{ rpm} \quad (16)$$

$$N_{c, 1.0} = \frac{37.8(1.0 \text{ in})^2 * \sqrt{\frac{2.86*10^7 \text{ psi}}{0.29 \text{ lb/in}^3}}}{29.53 \text{ in} + \sqrt{29.53 \text{ in} + 0.472 \text{ in}} * \sqrt{(64.47 \text{ in}^3 * 0.0975 \text{ lb/in}^3) + \frac{6.765 \text{ lb}}{4}}} = 822.21 \text{ rpm} \quad (17)$$

Ingresando los valores mencionados a la ecuación, se obtiene un resultado de 222.10 rpm como la primera velocidad crítica del eje de 0.5 in, y 815.07 rpm para el eje de 1.0 in. Dickey y Fasano (2003) recomiendan que la velocidad de operación sea menor al 80 % de la velocidad crítica, o mayor al 120 %. Los valores correspondientes a estas cantidades se describen en el Cuadro 12. Por lo tanto, se estaría operando a una velocidad segura, tanto con el 100 % de la velocidad de operación del motor, como a menores velocidades. Esto es válido siempre que se esté considerando el impulsor de 3 palas inclinadas con dobleces en las palas, de 13.5 cm de diámetro de acero inoxidable, y a los correspondientes ejes de 0.5 y 1.0 in de diámetro con 75 cm de longitud de acero inoxidable 304. Cambios en la longitud del eje, diámetro del impulsor o material utilizado puede dar otros resultados.

Cuadro 12: Velocidades críticas de los ejes de 0.5 y 1.0 pulgadas de diámetro con impulsor P3B

Diámetro de eje (in)	$0.8N_c$ (rpm)	N_c (rpm)	$1.2N_c$ (rpm)
0.5	179.23	224.05	268.85
1.0	657.77	822.21	986.65

6.7. Pruebas realizadas

6.7.1. Uso de la hélice de tres palas inclinadas con dobleces en las palas

La primera prueba se realizó en un tanque de 25 kg de capacidad y un motor de 0.5 Hp con velocidad nominal de 1,725 rpm. Sin embargo, al encender el motor, la fuerza ejercida por la agitación provocó que el tanque se moviera de su posición y que la mezcla salpicara. Se detuvo la mezcla inmediatamente, ya que de continuar, se derramaría el producto, ya sea porque el producto rebalse el tanque o que el movimiento tire la mezcla y la olla. Se determinó que para evitar dicho problema, las mezclas se probarían en tanques de mayor capacidad.

Figura 76: Preparación del agitador para mezclar en tanque de 200 kg



La siguiente prueba de mezclado se realizó en un tanque de 200 kg de capacidad. La mezcla de ingredientes fue para producir 80 kg de Almendras Amargas Intense. Se tomó una muestra antes de comenzar la mezcla, y se agitó por 10 minutos. Luego, se tomó una segunda muestra y se llevaron ambas a laboratorio para comprobar que cumpliera con los estándares de calidad para aprobar el producto. El impulsor se ubicó al centro del tanque al inicio del mezclado, 28 cm medido desde el borde. Se observó la formación de un vórtice que alcanzó a la hélice y provocó vibraciones inestables, o en otras palabras, la amplitud de la vibración iba en aumento. Por lo que luego de un minuto de mezclado, se detuvo la mezcla, se decidió desfasar el eje con el centro del tanque, y se procedió a continuar el proceso. La distancia de desfase fue de 12.5 cm del centro del tanque. El vórtice no alcanzó la hélice en esta ocasión, y las vibraciones del eje fueron menores, produciendo una mezcla estable durante 10 minutos. La agitación provocó que la sustancia subiera de nivel 13 centímetros dentro del tanque. Al final de la agitación había espuma en la superficie de la mezcla, pero esta desapareció luego de 1 minuto de reposo.

Figura 77: Hélice centrada en el tanque de 200 kg



Figura 78: Formación del vórtice en el tanque de 200 kg



Figura 79: Hélice desfasada del centro del tanque de 200 kg

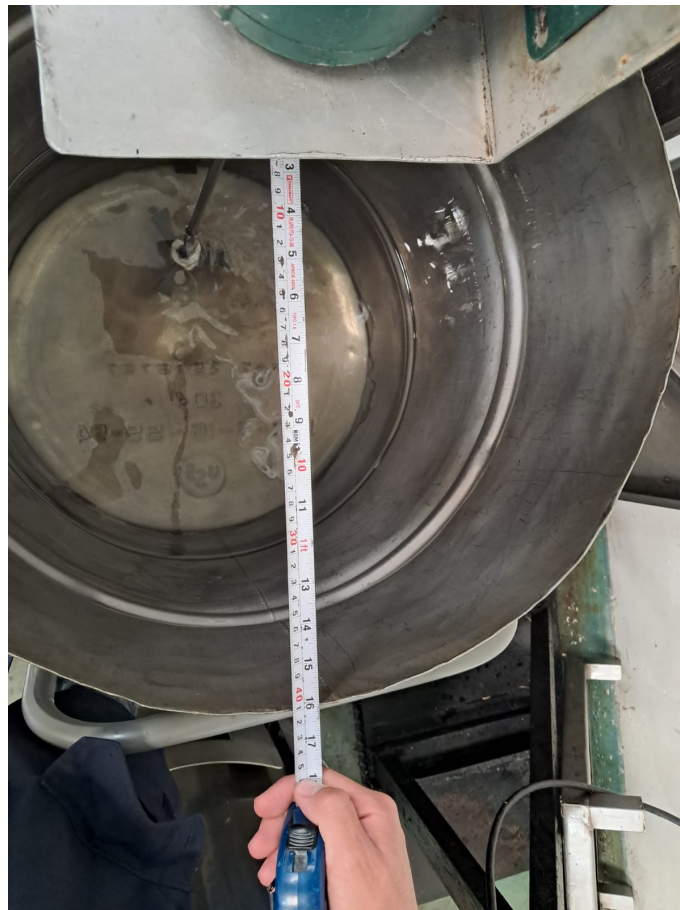


Figura 80: Agitación del tanque de 200 kg con el eje desfasado



Al terminar con la fragancia Almendras Amargas Intense, se hizo la prueba en otro producto, procesando 150 kg de Citronela en un tanque de 200 kg. El eje de la hélice también se desfasó del centro del tanque en esta mezcla. El vórtice formado no alcanzó la hélice. Sin embargo, la agitación provocó que subiera 9 centímetros el nivel de la sustancia. Esta mezcla en particular produjo bastante espuma, y luego de incluso 15 minutos de reposo al terminar la agitación, ésta no desapareció. APAESA sugirió que la causa de esto puede ser el uso de nonilfenol, el cual es usado en la fabricación de detergentes, y suele ser muy espumoso. La muestra de esta mezcla se tomó retirando parte de la espuma en la superficie y extrayendo el producto por debajo de la superficie, donde no había espuma. Las muestras no pueden llevar espuma debido a que en las pruebas de calidad da resultados negativos, o los equipos utilizados no pueden procesarla.

Figura 81: Tanque con 150 kg de Citronela y diámetro del tanque



Figura 82: Medición del desfase de la hélice del centro del tanque



Figura 83: Agitación de 150 kg de Citronela



Figura 84: Formación de espuma al finalizar la mezcla de la Citronela

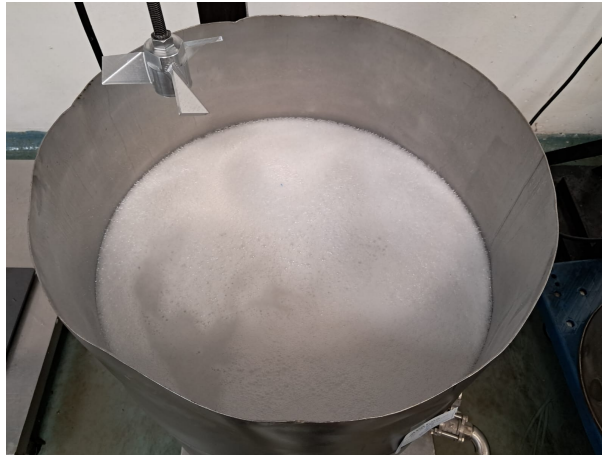


Figura 85: Toma de muestra de la Citronela



APAESA realiza 4 pruebas para confirmar que la mezcla se ha realizado correctamente. El producto debe aprobar todas, o en caso contrario, se debe agitar nuevamente. Las pruebas son realizadas por personal capacitado de la empresa, y consisten en mediciones de densidad, índice de refracción, color y olor. Los parámetros varían dependiendo de cada producto. Sin embargo, la empresa cuenta con una base de datos donde pueden encontrar los parámetros de cumplimiento de cada mezcla. Luego de 10 minutos y llevar las muestras al laboratorio, se indicó que ya no fue necesario realizar un segundo mezclado ya que, en ambos casos, se cumplió con los estándares de calidad.

Figura 86: Resultado de la densidad de Almendras Amargas Intense luego de 10 minutos de agitación

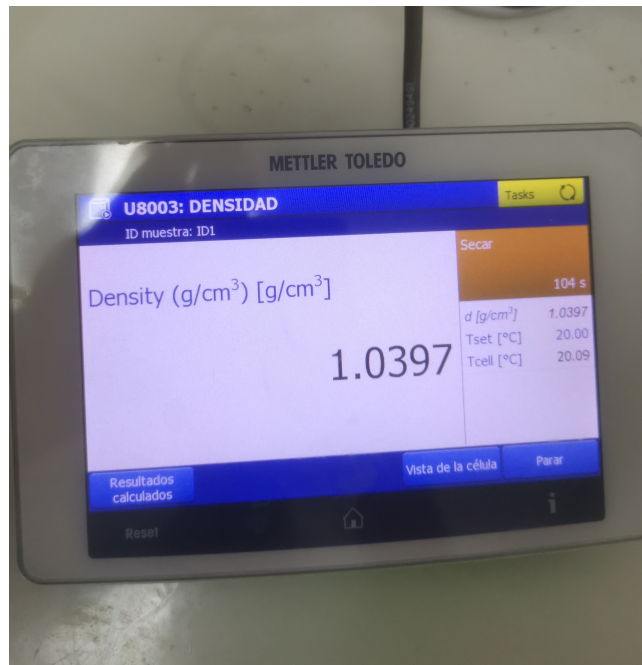


Figura 87: Muestras de la fragancia Floral Tide en diferentes momentos de la agitación



Las mezclas de Almendras Amargas Intense suelen procesarse entre 30 y 40 minutos utilizando la hélice original de la empresa. La muestra sin agitar tuvo resultados similares a la muestra con 10 minutos de mezcla en el tema de densidad e índice de refracción. Sin embargo, en la prueba del olor, se detectó aroma a una de las materias primas en la muestra antes de agitar, mientras que cuando cumple con el estándar éste olor no se detectó. Las muestras se compararon con una fragancia almacenada del mismo tipo. De esta manera se comprobó la diferencia de olores entre ambas muestras.

APAESA realizó pruebas adicionales con otros productos: Floral Tide y Super Gum. El primero fue de 150 kg, y el segundo de 120 kg. En estos casos, se tomaron muestras al inicio, y luego a los 5 y 10 minutos. La fragancia Floral Tide se mezcló por hasta 20 minutos, tomando muestras también en el minuto 15 y 20. Ambas sustancias cumplieron con los estándares de calidad a los 10 minutos de mezclado.

Sin embargo, se percibió al tacto que el motor se calentó más cuando se utilizó la hélice P3B que los motores que estaban utilizando las hélices de APAESA. Esto es un indicador de que el motor se está esforzando por encima de su capacidad, y podría requerirse un motor de mayor potencia.

6.7.2. Uso de deflectores en los tanques

Se probó utilizar los deflectores en un tanque más pequeño, de 43 cm de profundidad y 38.5 cm de diámetro. Debido a que la hélice P3B no se puede utilizar en estos tanques, se procedió a utilizar la hélice original de APAESA. El propósito fue observar si únicamente la implementación de deflectores podría disminuir el tiempo requerido para mezclar uno de sus productos. La fragancia producida fue Vanilla Cares, que de acuerdo con los registros de la empresa, toma entre 30 y 40 minutos en agitar. La cantidad de producto fue de 30 kg. Al inicio de la mezcla, se puede observar que la sustancia es turbia, no es homogénea, y adicional, cuenta con polvos que se deben disolver (véanse las Figuras 88 y 89). No se tomó una muestra inicial debido a que por las características descritas no podría procesarse en los equipos de APAESA y además, de acuerdo con los encargados del proceso de calidad, los resultados no se podrían interpretar.

La agitación se ejecutó durante 10 minutos. El eje se colocó centrado al tanque, y los deflectores se distribuyeron uniformemente en la circunferencia de tanque (separación de 120° entre cada deflector). No se observó formación de un vórtice, ni de espuma en la sustancia. Luego de los 10 minutos, se observó una mezcla homogénea, y los polvos se disolvieron por completo. La muestra se llevó al laboratorio de pruebas, donde aprobó los estándares de calidad.

Se analizó la formación de espuma en otra mezcla de producto. Se inició una agitación sin deflectores, y se observó la formación de un vórtice en el centro y espuma en su superficie. Se introdujeron los deflectores durante la agitación, y la cantidad de espuma iba en disminución, hasta desaparecer. Así también, el vórtice desapareció. Se concluyó entonces que la espuma se debe a la introducción de aire a la agitación por medio del vórtice que se forma.

Figura 88: Estado inicial de Vanilla Cares



Figura 89: Vista ampliada de la superficie de Vanilla Cares antes de iniciar la agitación

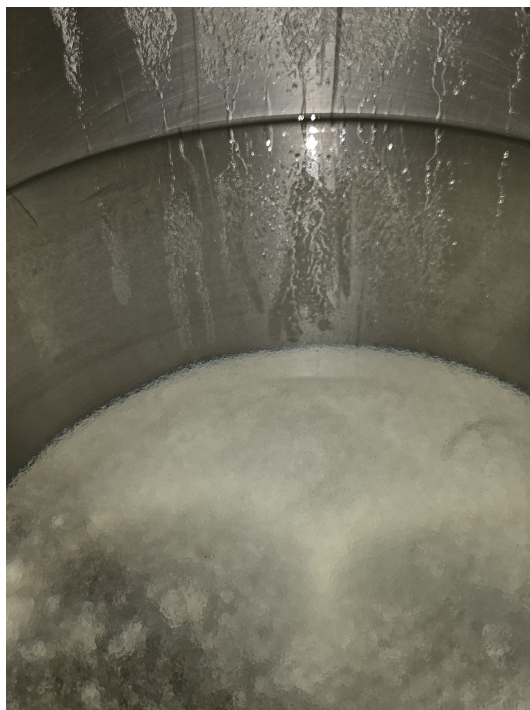


Figura 90: Agitación de Vanilla Cares



Figura 91: Proceso de agitación terminado para Vanilla Cares



Figura 92: Agitación de producto sin utilizar deflectores



Figura 93: Agitación de producto utilizando deflectores



6.7.3. Análisis financiero

Para estimar el impacto económico de la mejora en los agitadores, se tomó en cuenta el siguiente escenario: una jornada laboral diaria de 8 horas, 5 días a la semana y 261 días hábiles al año. Al inicio de cada jornada, se requiere tiempo para preparar el equipo y las máquinas, elaborar las mezclas, trasladar los tanques con producto y realizar pruebas de laboratorio. Debido a estas actividades, el tiempo efectivo de mezclado se asumió de 5 horas por día. El análisis de las mezclas en agitación se realizó considerando un tiempo de 30 minutos con el sistema actual de mezclado. El costo de la energía eléctrica es de Q1.469 kWh en tarifa no social para consumidores de EEGSA (Bolaños, 2024a). Por lo que el costo de una agitación de 30 minutos es equivalente a:

$$C_{e\ 0.5} = \frac{0.5\ Hp}{1.341\ Hp/kW} * \frac{30\ min}{fragancia} * \frac{1\ h}{60\ min} * \frac{Q1.469}{kWh} = Q0.274/fragancia \quad (18)$$

Considerando las 5 horas efectivas, a diario se pueden fabricar 10 fragancias con el sistema actual. Anualmente, APAESA tendría la capacidad de producir:

$$N_{anual} = \frac{1\ fragancia}{30\ min} * \frac{60\ min}{1\ h} * \frac{5\ h}{diarias} * \frac{261\ días}{año} = 2,610\ fragancias/año \quad (19)$$

En total, el costos anual de energía es igual a:

$$C_{e\ 0.5,\ anual} = \frac{2,610\ fragancias}{año} * \frac{Q0.274}{fragancia} = Q714.78/año \quad (20)$$

Ahora, con la nueva hélice, el tiempo de mezclado se reduce de 30 a 10 minutos. Para realizar una comparación, se calculó la cantidad de días que serían necesarios para completar el mismo número de fragancias producidas en un año con el método actual:

Fragancias por día:

$$N_{día} = \frac{1\ fragancia}{10\ min} * \frac{60\ min}{1\ h} * \frac{5\ h}{diarias} = 30\ fragancias/día \quad (21)$$

Días de producción requeridos:

$$t_{día} = 2,610\ fragancias * \frac{1\ día}{30\ fragancias} = 87\ días \quad (22)$$

Meses de producción requeridos:

$$t_{mes} = 87\ días * \frac{12\ meses}{261\ días\ hábiles} = 4\ meses \quad (23)$$

Luego, se calculó el costo energético de producir la misma cantidad de fragancias con el diseño de hélice P3B. Se debe considerar que con el nuevo sistema, se pasó de trabajar con 0.5 Hp a 1.0 Hp.

Costo energético por fragancia:

$$C_{e\ 1.0} = \frac{1.0\ Hp}{1.341\ Hp/kW} * \frac{10\ min}{fragancia} * \frac{1\ h}{60\ min} * \frac{Q1.469}{kWh} = Q0.183/fragancia \quad (24)$$

Costo nuevo de producción:

$$C_{e\ 1.0,\ 4m} = 2,610\ fragancias * \frac{Q0.183}{fragancia} = Q476.52 \quad (25)$$

Ahorro en costos:

$$A_e = Q714.78 - Q476.52 = Q238.26 \quad (26)$$

Por lo que, con el nuevo sistema, se tiene un ahorro de Q238.26, además de que también existe un ahorro en tiempo equivalente a ocho meses de producción.

Otro costo por evaluar es el salario de los trabajadores encargados de la agitación de fragancias. APAESA cuenta con operarios responsables de preparar las mezclas, operar los agitadores y trasladar los productos finalizados. Dado que el giro de negocio de la empresa se centra en la producción de fragancias, el salario de un operario se puede diluir entre la cantidad de mezclas producidas mensualmente. Para el análisis, se tomó como referencia el salario mínimo como el escenario de menor inversión en costos por operario, considerando un trabajador asignado al agitador evaluado. Para el sector no agrícola, este valor ascendía a Q3,634.00 en 2024 (Bolaños, 2024b).

Producir una fragancia con el agitador de 0.5 Hp tiene el siguiente costo operativo:

Costo operativo por fragancia:

$$S_{0.5} = \frac{Q3,634.00}{mes} \frac{1\ mes}{21.25\ días\ hábiles} * \frac{1\ día}{10\ fragancias} = Q16.71/fragancia \quad (27)$$

Costo operativo anual:

$$S_{0.5,\ anual} = \frac{Q16.71}{fragancia} \frac{2,610\ fragancias}{año} = Q43,608.00/año \quad (28)$$

Si se considera que con el sistema que utiliza la hélice 3PB se consigue producir en cuatro meses la misma cantidad que produce el sistema original en un año, los costos operativos también abarcan únicamente 4 meses de salario. Entonces, producir una fragancia con el agitador de 1.0 Hp tiene el siguiente costo:

Costo operativo con hélice P3B durante 4 meses de producción:

$$S_{1.0,\ 4m} = \frac{Q3,643.00}{mes} * 4\ meses = Q14,536.00 \quad (29)$$

Costo operativo por fragancia con hélice P3B:

$$S_{1.0} = \frac{Q14,536.00}{4\ meses} * \frac{4\ meses}{2,610\ fragancias} = Q5.57/fragancia \quad (30)$$

Ahorro en costos operativos:

$$A_s = Q43,608.00 - Q14,536 = Q29,072.00 \quad (31)$$

Por lo tanto, utilizando la nueva hélice se consigue un ahorro en gastos operativos de Q29,072.00 y 8 meses de trabajo en un año. Ahora bien, los 8 meses restantes se pueden considerar como tiempo disponible para producir más fragancias, lo que representa ingresos adicionales a la empresa.

Se realizó una cotización de los componentes que se requerirían para elaborar el nuevo sistema de agitación. Su valor asciende a los Q5,786.15 (véase la Sección 7.3.1). Sumando los ahorros en costos operativos y consumo energético, la cantidad de sistemas que se podrían elaborar con dicho monto sería:

$$N_{agitadores} = \frac{Q29,072.00 + Q238.26}{Q5,786.15/Agitador} = 5.07 \text{ Agitadores} \quad (32)$$

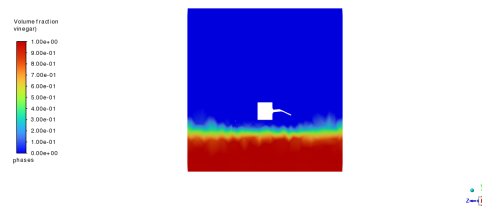
Este número es considerando únicamente los materiales para la construcción del agitador, y no se consideran los costos de la manufactura de los deflectores o de la hélice con un proveedor tercero. El precio de estos se estimó de Q302.82 y Q2,509.61 respectivamente. Si se consideran estos valores, la cantidad de agitadores cambia a:

$$N_{agitadores} = \frac{Q29,072.00 + Q238.26}{(Q5,786.15 + Q302.82 + Q2,509.61)/Agitador} = 3.41 \text{ Agitadores} \quad (33)$$

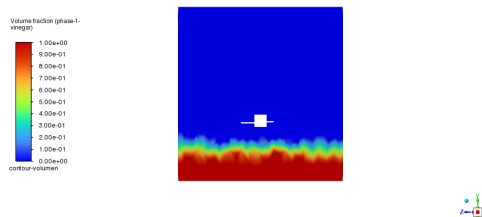
7.1. Simulación de mezclado con diferentes impulsores

7.1.1. Simulaciones para el tanque de 40 kg

Figura 94: Estado inicial de los tanques de mezclado con capacidad de 40 kg



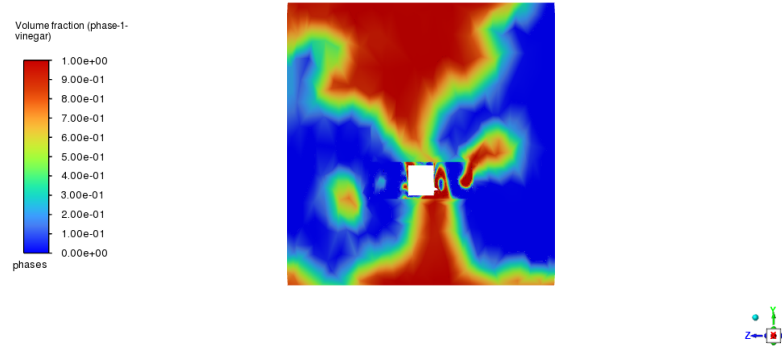
(a) Hélice P3B



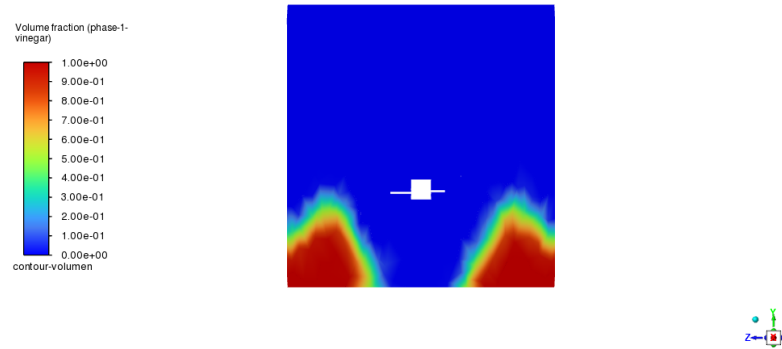
(b) Impulsor de APAESA

Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

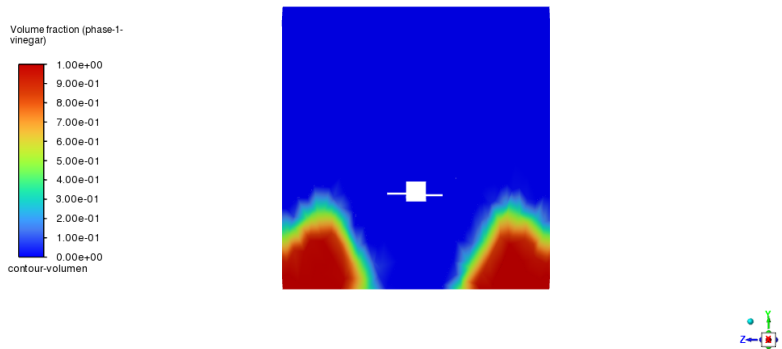
Figura 95: Estado de los tanques de mezclado con capacidad de 40 kg luego de unos segundos de mezcla



(a) Hélice P3B después de 3.28 segundos



(b) Impulsor de APAESA después de 3.28 segundos

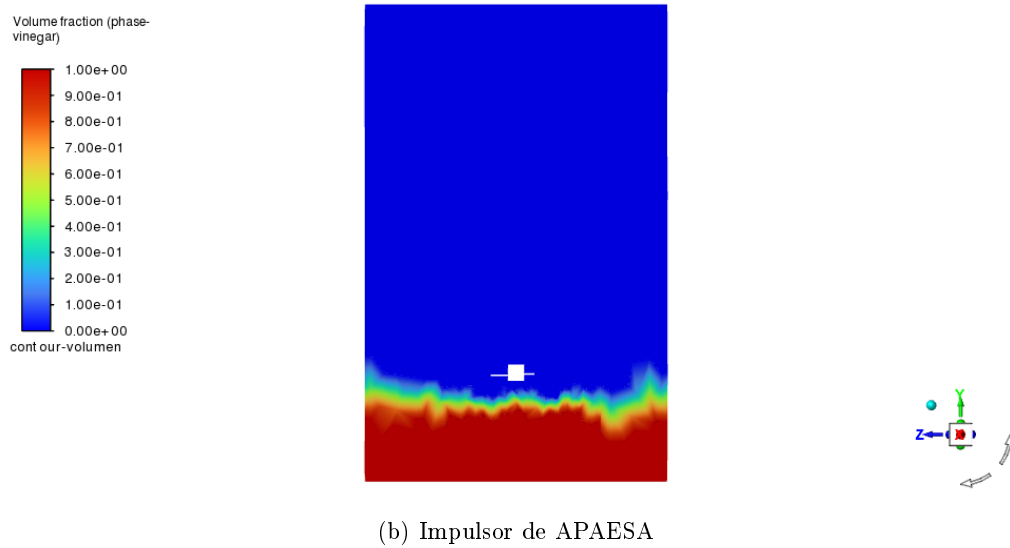
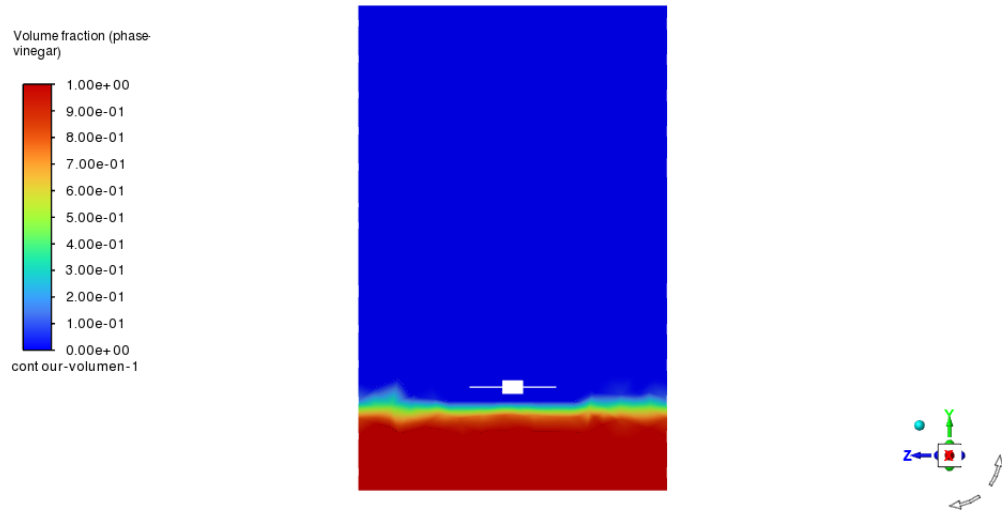


(c) Impulsor de APAESA después de 10 segundos

Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

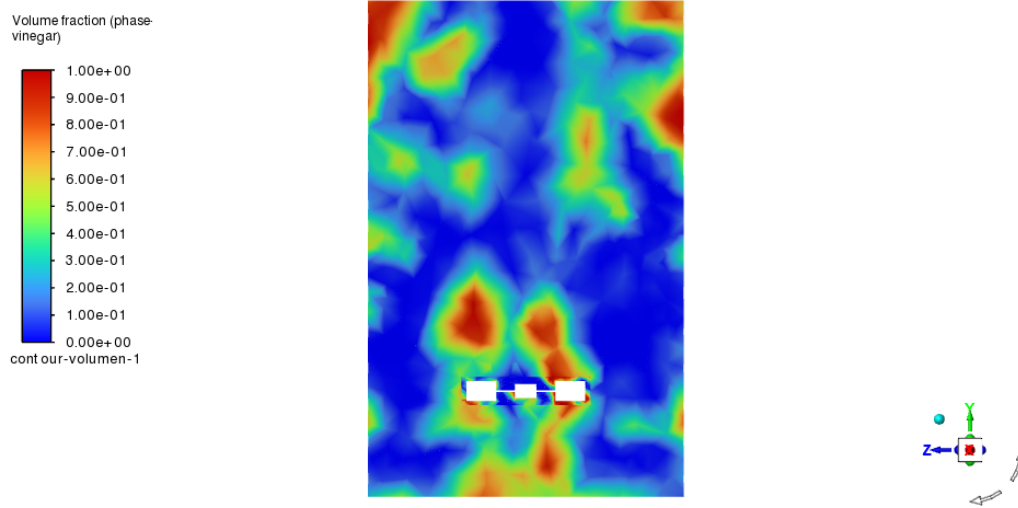
7.1.2. Simulaciones para el tanque de 200 kg

Figura 96: Estado inicial de los tanques de mezclado con capacidad de 200 kg

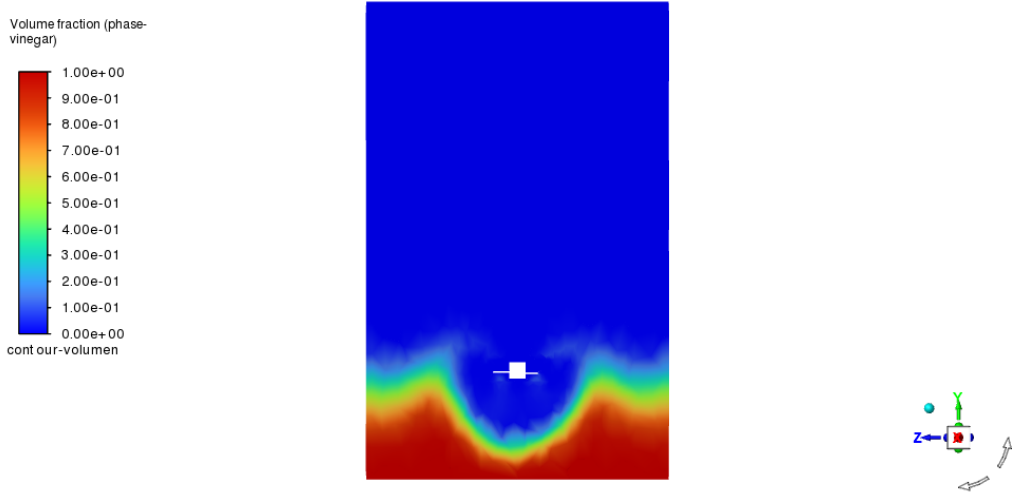


Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

Figura 97: Estado de los tanques de mezclado con capacidad de 200 kg luego de 10 segundos de mezcla



(a) Impulsor Rushton



(b) Impulsor de APAESA

Fuente. Imagen utilizada por cortesía de ANSYS, Inc.

7.2. Pruebas realizadas

7.2.1. Agitación utilizando hélice P3B

Cuadro 13: Historial de tiempos de mezclado para Almendras Amargas Intense

Fecha	Kg	Tiempo de agitación (min)
19/03/2024	85	40
30/04/2024	150	30
02/07/2024	100	30
24/07/2024	200	40
14/08/2024	130	30
01/10/2024	70	30
25/10/2024	80	10

Cuadro 14: Resultados de las pruebas de estándares de calidad para la fragancia de Almendras Amargas Intense

Producto	Tiempo (min)	Densidad (g/cm^3)	Índice de refracción	Color	Olor	Aprobado
	Intervalo aceptable	1.01-1.05	1.5-1.54	Incoloro a amarillo pálido	-	No
Almendras Amargas Intense	0	1.0350	1.5140	Incoloro	No	No
	10	1.0397	1.5216	Incoloro	Sí	Sí

Cuadro 15: Resultados de las pruebas de estándares de calidad para diferentes fragancias de APAESA

Producto	Tiempo (min)	Densidad (g/cm^3)	Índice de refracción	Color	Olor	Aprobado
Citronela	10	1.0132	1.4815	Incoloro, sin residuos	Sí	Sí
	0	0.9095	1.4700	-	No	No
	5	0.9427	1.4745	-	No	No
Super Gum	10	0.9429	1.4744	-	Sí	Sí
	15	0.9429	1.4745	-	Sí	Sí
	20	0.9429	1.4740	-	Sí	Sí
	0	0.9622	1.4796	-	No	No
Floral Tide	5	0.9642	1.4799	-	No	No
	10	0.9640	1.4799	-	Sí	Sí

7.2.2. Agitación utilizando deflectores y hélice de APAESA

Cuadro 16: Resultado de la prueba de estándares de calidad para la fragancia de Vanilla Cares

Producto	Tiempo (min)	Densidad (g/cm^3)	Índice de refracción	Color	Olor	Aprobado
Vanilla Cares	10	1.0270	1.4590	-	Sí	Sí

7.3. Especificaciones técnicas del mezclador diseñado

De acuerdo a los cálculos realizados, se determinaron las siguientes especificaciones para el diseño de un mezclador acorde a las necesidades de APAESA.

Cuadro 17: Características seleccionadas para el mezclador industrial

Característica	Valor Seleccionado	Unidades
Potencia del motor	1	Hp
Velocidad nominal	1,725	rpm
Velocidad de operación	80	%
Tanques	15, 25, 40 y 50	kg
Impulsor	3 Palas inclinada con dobleces diagonales estándar CVS 69 1043	-
Diámetro del impulsor	13.5	cm
Deflectores	3	-

7.3.1. Cotización de materiales necesarios

Cuadro 18: Presupuesto para una mezcladora de 1.0 hp

Cantidad	Descripción	Precio U. (Q)	Precio total (Q)	Vendedor
1	Motor 1Hp Trifásico 1,750 rpm	1,975.00	1,975.00	LARSSYSTEM
1	Variador 1 Hp 1PH in 3PH out 220VAC	1,500.00	1,500.00	KETPLUS
1	Gabinete metálico 400 x 300 x 200 mm	433.00	433.00	KETPLUS
1	Flipón automático 10A 1P	52.00	52.00	KETPLUS
1	Luz piloto amarilla	42.00	42.00	KETPLUS
1	Luz piloto roja	42.00	42.00	KETPLUS
1	Luz piloto verde	42.00	42.00	KETPLUS
1	Pulsador hongo con enclave	72.00	72.00	KETPLUS
1	Selector dos posiciones negro	61.00	61.00	KETPLUS
1	Riel din 35 mm	20.00	20.00	KETPLUS
1	Potenciómetro 5 K Ohms	205.00	205.00	KETPLUS
1	Bornera para tierra	33.00	33.00	KETPLUS
3	Bornera para riel	6.00	18.00	KETPLUS
4	Cable TSJ 4 x 18	10.08	40.32	CELASA
1	Cable THHN 14 metro rojo	2.36	2.36	CELASA
1	Cable THHN 14 metro verde	2.36	2.36	CELASA
1	Cable THHN 14 metro negro	2.36	2.36	CELASA
1	Cable THHN 14 metro amarillo	2.36	2.36	CELASA
1	Cable THHN 14 metro azul	2.36	2.36	CELASA
1	Espiga de hule 2P 15A 250V Eagle	14.23	14.23	CELASA
1	Hub Acople Lovejoy para eje del motor	260.00	260.00	Componentes industriales
2	Estrella Acople Lovejoy para eje del motor	187.00	374.00	Componentes industriales
1	Barra redonda aluminio 6061 6" diámetro x 2"	520.00	520.00	Tecniaceros
1	Barra redonda inox. 304 1" diámetro x 150 cm	39.00	39.00	Tecniaceros
6	Tornillo de metal cabeza hexagonal 8 x 1/2	0.35	2.10	NOVEX
6	Tornillo hexagonal inox 5/16 x 3/4	2.25	13.50	NOVEX
6	Rosca inox 5/16	1.50	9.00	NOVEX
12	Roldanas inox. 5/16	0.60	7.20	NOVEX
Total			5,786.15	

Cuadro 19: Presupuesto para fabricación de deflectores

Cantidad	Descripción	Precio U. (Q)	Precio total (Q)	Vendedor
1	Platina acero inoxidable 304 1/8" x 1", 6 metros de largo	196.85	196.85	TECNIACEROS
3	Prensa pequeña tipo C de 1"	21.99	65.97	Cemaco
1	Servicios de soldadura	40.00	40.00	
Total			302.82	

Cuadro 20: Cotizaciones para fabricación en CNC

Empresa	Precio	Precio en Q
Protolabs	USD 543.58	4,193.46
Xometry	USD 325.31	2,509.61
Weerg	EUR 317.77	2,644.16

7.3.2. Requisitos de diseño

Cuadro 21: Requisitos de diseño

Código	Cumple	
DM01	La hélice se diseñó para tanques entre 25 y 50 kg, pero solo se pudo utilizar en un tanque de 200 kg	No
DM02	El motor utilizado es eléctrico de 0.5 Hp	Sí
DM03	Los cálculos indicaron que se pueden agitar mezclas con un motor de 1 Hp a 1380 rpm	Sí
DM04	La velocidad de operación está por encima del 120 % de la velocidad crítica del eje	Sí
OP01	La homogeneización ocurre en 10 minutos	Sí
OP02	No se puede evitar la formación del vórtice en los tanques de 200 kg	No
OP02	El vórtice no se forma en los tanques donde se usan los deflectores	Sí
DE01	No existe acumulación de residuos en los deflectores al momento de retirarlos	Sí
CA01	Los ahorros en costos operativos y energéticos ascienden a un monto que permitiría invertir entre 3 y 5 agitadores en menos de un año.	Sí

8.1. Simulación de mezclado con diferentes impulsores

La Figura 96 muestra el estado inicial del tanque al realizar las simulaciones de mezclado, tanto para el impulsor utilizado originalmente por APAESA, así como el impulsor Rushton de 21 cm de ancho. La Figura 97 muestra el estado del tanque luego de mezclar por 10 segundos, para ambos casos. Se observa que el impulsor Rushton logra iniciar un proceso de mezclado durante ese tiempo. Mientras tanto, en el tanque con el impulsor original aún no se ha logrado la suspensión del vinagre en el tanque de aceite. Toda la materia aún se encuentra acumulada en el fondo, con la diferencia de que se empieza a formar un vórtice en el centro, y dispersando el vinagre hacia las paredes laterales del tanque.

La simulación en los tanques de 40 kg proporcionó resultados similares (véase las Figuras 94 y 95). A pesar de solo simular 3.28 segundos, la hélice P3B logra suspender el vinagre y mezclar ambos líquidos entre sí. La hélice original no logra la suspensión de líquidos ni la mezcla entre sí. Incluso, se puede observar que no hay diferencia entre el segundo 3.28 y el segundo 10. Las simulaciones demuestran que la hélice utilizada no está siendo eficiente al momento de mezclar, requiriendo más tiempo para lograr la suspensión de líquidos y combinar sustancias entre sí. Es necesario aclarar que al mencionar la palabra "mezclar", no se hace referencia a que el producto ha alcanzado un nivel de homogeneización completa, sino a que las sustancias no se encuentran concentradas únicamente en una o dos ubicaciones dentro del tanque.

8.2. Tiempos originales de mezclado

Los tiempos de mezclado de APAESA se encuentran en un rango entre 30 a 40 minutos. Debido a la variedad de producto que procesan, los tiempos pueden variar. De acuerdo con la empresa, la cantidad de tiempo que se requiere no tiene relación con el tamaño del lote, sino del número y tipo de de ingredientes a mezclar. Un lote de 50 kg puede tomar el mismo tiempo que uno de 180 kg si posee los mismos ingredientes. La elaboración un producto en específico no es frecuente, depende de la necesidad del cliente. Esto puede significar que se pida un lote cada mes, o incluso que se solicite tres meses después de haber hecho el pedido anterior. Por lo tanto, no se pueden realizar varias pruebas de un solo lote para medir el tiempo de mezclado en un solo día. Sin embargo, APAESA conserva un registro de todos los lotes producidos, incluyendo los tiempos de agitación de cada uno. Con base en estos datos se elaboró el Cuadro 13 para comparar los tiempos de agitación anteriores de Almendras Amargas Intense con la agitación efectuada el 25 de noviembre con la hélice P3B.

8.3. Pruebas realizadas

8.3.1. Diseño de hélice P3B

La hélice fabricada con una metodología CNC presentó ventajas ante el diseño que ha sido utilizado por APAESA. Entre las ventajas se encuentran:

- Reducción del tiempo de mezclado entre un 66 % y un 75 %.
- Geometría replicable con exactitud mediante el mecanizado CNC
- Dimensiones de acuerdo con estándar CVS 69 143, que ha sido probada y verificada para producir agitaciones eficientes.
- Conservación de la información por medio de planos y archivos CAD.

El tiempo de mezclado fue menor al utilizado con la hélice original. Se logra disminuir entre un 66 % y un 75 % el tiempo requerido para agitar las muestras. Aunque la hélice no cumple con el valor del diámetro dentro del rango apropiado para el tanque que se utilizó, fue capaz de realizar la mezcla en menos tiempo, sin necesidad de aumentar el diámetro de la geometría. En todas las agitaciones donde se utilizó la hélice P3B se requirieron únicamente 10 minutos para completar la agitación y que el producto aprobara las pruebas de calidad. La disminución de tiempo se puede traducir a que se podrían producir más mezclas en el mismo tiempo que se utilizaba antes con la hélice original.

Aunque en los registros de la empresa se han anotado que los tiempos de mezclado duran entre 30 y 40 minutos, últimamente han buscado reducir los tiempo de reproceso de productos que no han cumplido con el perfil olfativo requerido. Para corregirlo requieren agitar nuevamente el producto. Este tiempo adicional de agitación no ha sido sumado al tiempo registrado del lote en reproceso, lo que quiere decir que para que un producto este terminado puede implicar más de los 40 minutos que se han registrado. La agitación con la

hélice propuesta puede disminuir la necesidad de reagitación, eliminando los costos de un reproceso.

8.3.2. Diseño de agitador

A pesar de agitar correctamente, el sobrecalentamiento del motor es un indicador de que el equipo no tiene la capacidad para operar por un tiempo prolongado con la hélice P3B. De acuerdo a los cálculos, la potencia requerida va de 0.9 a 1.27 Hp en condiciones normales de operación, y entre 0.46 a 0.65 Hp al 80 % de la velocidad nominal del motor. Para operar adecuadamente, se requiere un sistema de mezclado completamente nuevo, en específico, se requiere cambiar el motor a uno con mayor potencia, y añadir un variador de frecuencia al sistema para regular los rpm. Se cotizó un motor de 1 Hp, cuya potencia es apropiada al operar a 1380 rpm, el 80 % de su capacidad nominal. Sin embargo, se recomienda un motor de 1.5 para poder operar incluso a velocidad nominal del motor (1,725 rpm) sin problema. La cotización realizada indica que se requieren de alrededor de Q5,800.00 para renovar una estación de mezclado. Adicional, precio aparte, es la manufactura de la hélice.

Dado que la universidad dispone de una fresadora CNC, y el diseño CAM formó parte de la metodología de este proyecto, no existió un costo de manufactura relacionado con la hélice a excepción del stock de material utilizado. Para tener una cotización del proceso de fabricación de la hélice, se consultó con tres proveedores de servicio CNC con cotización en línea. Los precios se detallan en el Cuadro 20, con rangos de precios entre Q2,500.00 y Q4,200.00.

8.3.3. Diseño de deflectores

Una solución que puede ser implementada con una inversión menor es el uso de deflectores junto con la hélice original de APAESA. Se demostró que únicamente son requeridos 10 minutos de agitación para que una muestra de producto sea aprobada por el proceso de calidad. Su uso no provocó acumulación de residuos alrededor de los deflectores, sino que todo el producto se disolvió por completo. Además, su diseño removible permitió retirarlos sin provocar pérdidas de producto terminado. Los deflectores no se pudieron probar junto a la hélice diseñada, debido a que la hélice únicamente pudo ser utilizada en el tanque de 88 cm de altura, y la longitud actual de los deflectores es para ollas de entre 34 y 60 cm de altura.

8.3.4. Análisis financiero

APAESA se encuentra iniciando un proceso de renovación de planta. Para un plazo de dos años, desean rediseñar el proceso productivo de la planta para disminuir tiempos de operación y aumentar la productividad. Su interés principal es implementar soluciones y, conforme van avanzando las implementaciones, calcular la disminución de costos que se están obteniendo. Se presentaron las cotizaciones de los materiales requeridos para el rediseño de los mezcladores, a lo que mencionaron que es un precio aceptable para su inversión.

Su propuesta inicial es que en el primer año se invierta en 5 máquinas de agitado con las características presentadas en este trabajo, y en el siguiente año se implemente 5 adicionales.

De acuerdo a los cálculos realizados, es posible obtener ahorro en costos operativos y en consumo energético utilizando un nuevo sistema de una hélice P3B y un motor de 1 Hp. Dicho monto, obtenido por la mejora de un solo agitador, permitiría la implementación de 5 nuevos agitadores, alineándose a la propuesta que desea implementar APAESA. Si se agrega el costo de fabricación de deflectores y de hélices en el precio, el número disminuye a 3, lo que de igual manera sigue siendo una mejora significativa para la empresa.

La empresa está enfocada en mejorar los tiempos de mezclado debido a que esta operación es su cuello de botella en el proceso. La modificación generaría un aumento de los ingresos al incrementar la producción. Otra ventaja es la eliminación de reprocesos de productos que no contaban con el perfil olfativo adecuado.

Conclusiones

1. Los tiempos de agitación actuales de APAESA se encuentra entre los 30 y 40 minutos. Sin embargo, no se consideran tiempos de reprocesos en estos registros.
2. El nuevo diseño para los sistemas de agitación requiere de un motor de 1.0 a 1.5 Hp, con variador de frecuencia, deflectores removibles y una hélice de tres palas inclinadas con dobleces en las aspas de acuerdo con el estándar CVS 69 1043.
3. La agitación de los productos toma 10 minutos utilizando una hélice con estándar CVS 69 1043, fabricada utilizando tecnología CNC, reduciendo entre 66 % y 75 % el tiempo de operación.
4. Utilizar deflectores con la hélice original de APAESA tiene una reducción de tiempo mayor al 66 % del tiempo original.

CAPÍTULO 10

Recomendaciones

1. Para uso prolongado, se recomienda utilizar acero inoxidable 304 o 316L para extender la vida de la hélice de mezclado.
2. Se recomienda investigar otros modelos de hélices que puedan reducir la cantidad de espuma generada durante la agitación de los productos.
3. Se sugiere diseñar deflectores de longitud variable, para poder ser implementados en cualquier tanque de agitación que posea la empresa. O en caso contrario, fabricar deflectores removibles para cada tamaño de tanque.
4. Se recomienda mantener la colaboración universidad y empresa, ya que las necesidades de la industria se pueden convertir en proyectos de investigación para que los estudiantes apliquen los conocimientos adquiridos durante su estudio de la carrera.

- ANSYS, I. (2019). Mixing tank modeling in ANSYS Fluent. <https://www.youtube.com/watch?v=oC-qiybulrI&t=70s>
- ANSYS, I. (2024). Mixing. <https://www.ansys.com/applications/mixing>
- BCN3D. (2020). Probando la resistencia química de materiales de impresión 3D. <https://www.bcn3d.com/es/test-definitivo-corrosion-materiales-impresion-3d/>
- Bolaños, R. M. (2024a). Ajuste trimestral: estas son las tarifas de energía eléctrica a partir del 1 de febrero. <https://www.prensalibre.com/economia/ajuste-trimestral-estas-son-las-tarifas-energia-electrica-a-partir-del-1-de-febrero/>
- Bolaños, R. M. (2024b). Salario mínimo en Guatemala: gobierno propuso 10 % de aumento para el 2025. <https://www.prensalibre.com/economia/salario-minimo-en-guatemala-gobierno-propuso-10-de-aumento-para-el-2025/>
- Caruso, D. (2021, junio). Factors that determine high shear vs. Low shear mixing. Consultado el 9 de septiembre de 2023, desde <https://www.highlandequip.com/blog/factors-that-determine-high-shear-vs-low-shear-mixing/>
- Castillo, V. (2013). Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. *Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería. Universidad del Bío-Bío. Chile.*
- Chase, R., Jacobs, F., y Aquilano, N. (2009). *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministro*. McGraw-Hill.
- COMSOL. (2024). Mixer Module [Consultado el 24 de octubre de 2023]. <https://www.comsol.com/mixer-module>
- Coppermetal. (s. f.). Aluminio 6061: propiedades, aplicaciones y principales sectores que lo utilizan. <https://www.coppermetal.com.br/es/blog/aluminio-6061/>
- Díaz, J. (2024). *La hélice imposible que aumenta la eficiencia y sigilo de barcos, drones y hasta el aire acondicionado* [Consultado el 15 de julio de 2024]. https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2024-03-21/helice-sharrow-cx-eficiente-silenciosa_3852147/
- Dickey, D. S., y Fasano, J. B. (2003, noviembre). Mechanical design of mixing equipment. En E. L. Paul, V. A. Atiemo-Obeng y S. M. Kresta (Eds.), *Handbook of Industrial Mixing* (1.^a ed., pp. 1247-1332). Wiley. <https://doi.org/10.1002/0471451452.ch21>

- Dynamix Agitators, I. (2020). About Dynamix: manufacturer and leader in industrial mixer and agitator design. <https://dynamixinc.com/our-story/>
- Goldratt, E. (1990). What is this Thing Called Theory of Constraints and how Should it be Implemented?
- Harriott, P., McCabe, W. L., y Smith, J. C. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (7.^a ed.). McGraw-Hill.
- Hoeks, F., Boon, L., Studer, F., Wolff, M., Schot, F., Vrabél, P., van der Lans, R., Bujalski, W., Manelius, A., Blomsten, G., Hjorth, S., Prada, G., Luyben, K., y Nienow, A. (2003). Scale-up of stirring as foam disruption (SAFD) to industrial scale. *Journal of industrial microbiology y biotechnology*, 30, 118-28. <https://doi.org/10.1007/s10295-003-0023-7>
- Industry, D. (s. f.-a). A310, a510 - hélice de 3 palas by Lightning | DirectIndustry. Consultado el 4 de octubre de 2023, desde <https://www.directindustry.es/prod/lightnin/product-24564-1281325.html>
- Industry, D. (s. f.-b). HE-3 - Hélice de 3 palas by NOV Inc. | DirectIndustry. Consultado el 4 de octubre de 2023, desde <https://www.directindustry.es/prod/nov-inc/product-14821-1389889.html>
- Industry, S. (s. f.). Optimal mixing within the process industry. Consultado el 13 de octubre de 2023, desde https://zultzerpumpen.hu/wp-content/uploads/2015/11/Scaba_kevero_EN.pdf
- Injeti, M. (2012, octubre). Mixing 101: baffled by baffles? Consultado el 9 de septiembre de 2023, desde <https://dynamixinc.com/baffled-by-baffles/>
- Injeti, M. (2015, mayo). Mixing 101: optimal mixer design. Consultado el 9 de septiembre de 2023, desde <https://dynamixinc.com/optimal-mixer-design/>
- Jirout, T., y Rieger, F. (2011). Impeller design for mixing of suspensions. *Chemical Engineering Research Design - CHEM ENG RES DES*, 89, 1144-1151. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.12.005>
- Kars-Jordan, F., y Hiltunen, P. (2007). *Agitation Handbook*. KTH Royal Institute of Technology.
- Ltd., O. (2024). About OpenFOAM [Consultado el 24 de octubre de 2023]. <https://www.openfoam.com/>
- Mu, M. (2015). Acero inoxidable vs aluminio, que es mejor para su proyecto de mecanizado CNC. <https://www.ddprototype.com/es/acero-inoxidable-vs-aluminio%2C-que-es-mejor-para-su-proyecto-de-mecanizado-cnc/>
- Pomdirect. (2008). ABS Scaba top-mounted agitator. Consultado el 13 de octubre de 2023, desde <https://www.pomdirect.nl/website/images/stories/pdf/absmixscaba.pdf>
- ProQuip Inc. (s. f.). Impeller design and performance considerations for industrial mixing applications. <https://proquipinc.com/tank-agitator-technical-resources/impeller-design-performance-considerations-industrial-mixing-applications/>
- SimScale. (s. f.). Analyze Your Pharmaceutical Mixing Designs [Consultado el 24 de octubre de 2023]. <https://www.simscale.com/simulations/pharmaceutical-mixing/>
- Systems, S. (2021). The Effects of Impeller Diameter. Sepro Mixing. <https://www.youtube.com/watch?v=kobc3DdaofE&list=PLpjKcpIJgfQwEfwgIon9Qbu8EO9qvtJAM&index=1>
- Team, P. P. (2021). Resistencia química de los materiales de impresión 3D [Consultado el 07 de octubre de 2024]. <https://prusament.com/es/resistencia-quimica-de-los-materiales-de-impresion-3d/>
- Tecniaceros. (s. f.). Acero inoxidable. <https://tecniaceros.com/productos/acero-inoxidable/>

- Weetman, R. J., Gigas, B., et al. (2002). Mixer mechanical design-fluid forces. *Proceedings of the 19th international pump users symposium*.
- WEG. (2024). Motor 0.5 HP 4P C56 1F 115/208-230 V 60 Hz IC01 - ODP - Con pies. <https://www.weg.net/catalog/weg/US/es/Motores-El%C3%A9ctricos/Motor-de-Inducc%C3%ADon---NEMA/Tratamiento-de-Aire/Base-El%C3%A1stica/ODP-NEMA-48-%26-56---Base-el%C3%A1stica/Motor-0-5-HP-4P-C56-1F-115-208-230-V-60-Hz-IC01---ODP---Con-pies/p/10343061>
- Whittle, J. (s. f.). Impeller types. Consultado el 13 de octubre de 2023, desde <https://www.euromixers.co.uk/impeller-types/>

12.1. Certificado de pruebas en APAESA

Se adjunta certificado emitido por APAESA donde se especifican los resultados de las pruebas y se confirma que los productos aprobaron las pruebas de calidad luego de 10 minutos de agitación.

INFORME Agitación de fragancias

La implementación de una hélice de agitación diseñada específicamente por la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) marca un avance significativo en el proceso de homogeneización de fragancias en APAESA. Este desarrollo surge como una respuesta a la necesidad de optimizar tiempos de producción, garantizar el cumplimiento de especificaciones técnicas y asegurar la consistencia en la calidad de los productos terminados. El análisis de los resultados obtenidos refleja no solo una reducción sustancial en los tiempos de agitación, sino también la capacidad de mantener la integridad de las características fisicoquímicas y el perfil olfativo, esenciales para satisfacer las demandas del mercado. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la muestra de fragancias estudiada.

Comparativa de Tiempos de Agitación y Cumplimiento de Especificaciones de Fragancias

APAE/Fragancia	Especificaciones de calidad						Especificaciones de producto terminado			
	Densidad	Índice de refracción	Absorbancia	Color	Cantidad kg	Densidad	Índice de refracción	Absorbancia	Color	Tiempo de agitación
111/Citronela	0.9710-1.0110	1.4693-1.5093	0.00-0.83	Amarillo claro - amarillo pálido	150	0.9998	1.4890	0.07/430 nm	Amarillo Claro	10 min
1699/Almendras Amargas Intense	1.0127-1.0527	1.5032-1.5432	0.00-0.34	Incoloro a amarillo pálido	80	1.0397	1.5216	0.00/430 nm	Amarillo claro	20 min
2911/Floral Tide	0.9390-0.9790	1.4580-1.4980	0.17-0.28	Amarillo claro a amarillo anaranjado	150	0.9640	1.4799	0.18/430 nm	Amarillo anaranjado	10 min
4068/Super Gum	0.9297-0.9697	1.4556-1.4956	0.00-0.34	Incoloro a amarillo anaranjado	120	0.9429	1.4740	0.37/520 nm	Amarillo anaranjado	20 min

CONTÁCTANOS:



+502 4250 - 1271

+502 6670 - 1800



info@apaesa.com.gt



www.apaesa.com.gt



Análisis de resultados: informe de agitación de fragancias

1. Resultados obtenidos

La implementación de la hélice diseñada por la UVG permitió una mejora significativa en el proceso de homogeneización de fragancias. A continuación, se destacan los puntos clave basados en el informe:

- **Cumplimiento de especificaciones:** todas las fragancias alcanzaron los valores establecidos para densidad, índice de refracción, absorbanza, color dentro de los rangos especificados y perfil olfativo.
- **Reducción de tiempos:** el tiempo requerido para alcanzar la homogeneización completa se redujo en al menos un **50%** en comparación con métodos anteriores, logrando resultados óptimos en periodos de **10 a 20 minutos**, dependiendo del tipo de fragancia.

2. Comentarios sobre los resultados

Eficiencia operativa:

- La hélice diseñada ha optimizado el proceso al permitir una mezcla más rápida y uniforme, minimizando tiempos de agitación sin comprometer la calidad del producto terminado.
- Esta reducción de tiempo impacta positivamente en la capacidad de producción, permitiendo procesar más lotes en el mismo período de tiempo.

Consistencia en la calidad:

- Todas las fragancias analizadas cumplieron con las especificaciones técnicas, garantizando productos homogéneos y de alta calidad.
- Ejemplo: la fragancia **Citronela** alcanzó su rango de especificación en solo **10 minutos**, cuando previamente el tiempo estándar era significativamente mayor.
- Aspectos adicionales observados durante la agitación: en el proceso de agitación de las fragancias se identificó un problema asociado a la formación de espuma, atribuido a la presencia de nonilfenol como tensioactivo en las formulaciones. Este fenómeno tuvo un impacto directo en el procedimiento de toma de muestras, dificultando en un inicio la obtención de resultados confiables en los análisis de calidad, fue necesario esperar durante un tiempo considerable la toma de una muestra representativa, por lo que es importante mencionar que para el grupo de fragancias con nonilfenol es mejor no aplicar el uso de la hélice.

CONTÁCTANOS:



+502 4250 - 1271



info@apaesa.com.gt



+502 6670 - 1800



www.apaesa.com.gt



Impacto económico y energético:

- La reducción del tiempo de agitación disminuye el consumo energético, lo que implica un ahorro en costos operativos y una contribución positiva hacia la sostenibilidad ambiental.
- Los procesos más eficientes también reducen el desgaste de los equipos, prolongando su vida útil.

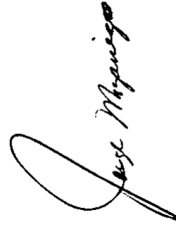
Adaptabilidad del diseño:

- La hélice demuestra ser versátil y adecuada para diferentes tipos de fragancias, incluyendo aquellas con características complejas como **Floral Tide** y **Super Gum**, ambas logrando homogeneización en tiempos reducidos.

Recomendaciones para optimización adicional:

- **Monitoreo continuo:** implementar un sistema de seguimiento para verificar la consistencia del tiempo de agitación a lo largo de múltiples lotes.
- **Análisis de sostenibilidad:** evaluar la reducción en consumo energético y el impacto ambiental generado por la nueva hélice.
- **Capacitación:** proveer al personal con formación técnica sobre las mejores prácticas de uso y mantenimiento de la hélice para garantizar su eficiencia a largo plazo.

Atentamente,



Gerente de Control de Calidad
Departamento de Control de Calidad



CONTÁCTANOS:

+502 4250 - 1271

+502 6670 - 1800



info@apaesa.com.gt

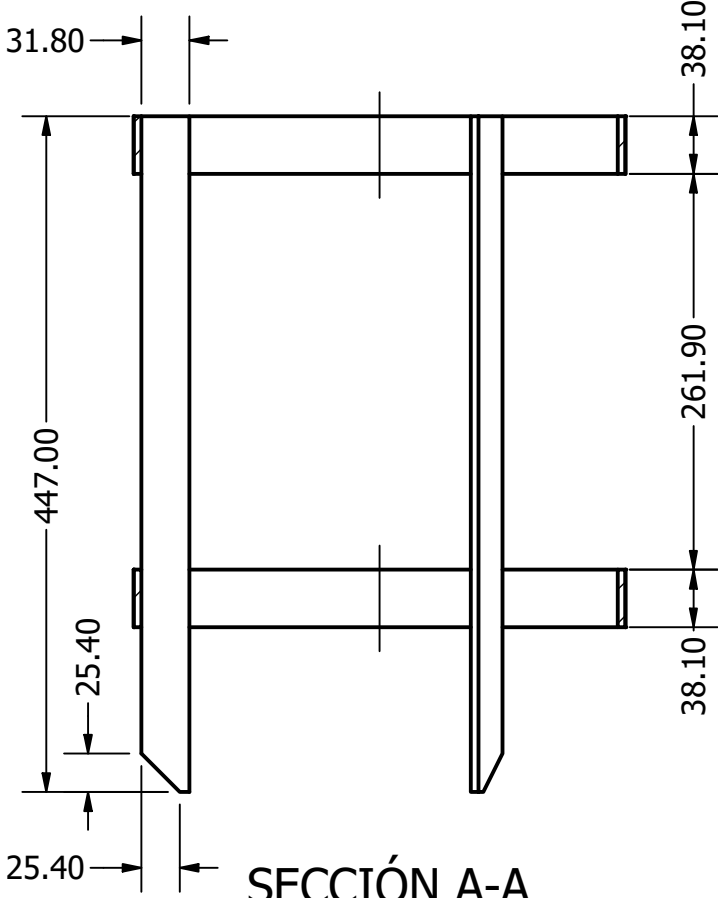
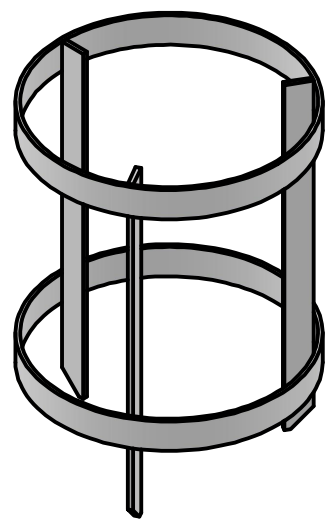
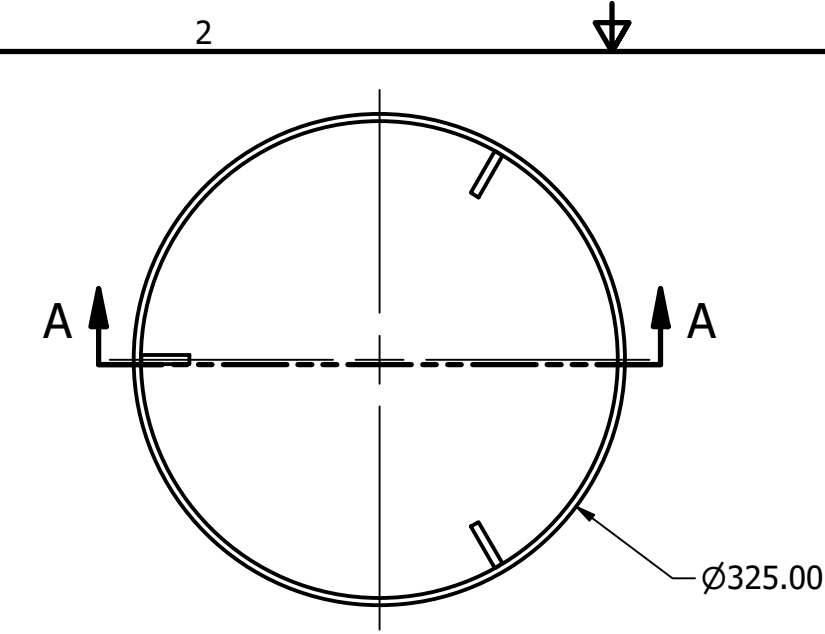


www.apaesa.com.gt



12.2. Plano de hélice y deflectores diseñados

A continuación se presentan los planos de la hélice de tres palas inclinadas de acuerdo con el estándar CSV 69 1043, así como los diseños preliminares de deflectores presentados a APAESA.



- NOTAS:**
1. PLANA DE 5 MM DE ESPESOR Y 38.1 MM DE ANCHO PARA LOS ANILLOS.
 2. PLANA DE 6 MM DE ESPESOR Y 31.8 MM DE ANCHO PARA LOS DEFLECTORES.
 3. LOS DEFLECTORES ESTÁN DISTRIBUIDOS EQUITATIVAMENTE ALREDEDOR DE LA CIRCUNFERENCIA (120 ° ENTRE CADA DEFLECTOR).

TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009. TOLERANCIAS GENERALES LINEAL .X ± .5 .XX ± .XXX ± ANGULAR ± 1°	DIBUJADO POR DANIEL ALVAREZ	FECHA 30/07/2024
	DISEÑADO POR DANIEL ALVAREZ	FECHA 30/07/2024
	REVISADO POR RODRIGO ARAGÓN	FECHA 23/04/2025
	APROBADO POR RODRIGO ARAGÓN	FECHA 23/04/2025
	NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO A-002	

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
 Guatemala, Guatemala 01015
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
 PBX: (502) 2634-0336 / 40

TÍTULO: **DEFLECTOR TIPO ANILLO**

NÚMERO DE DIBUJO: **A-003**

MATERIAL
ACERO INOX 304
 TRATAMIENTO
 MASA: **N/A**

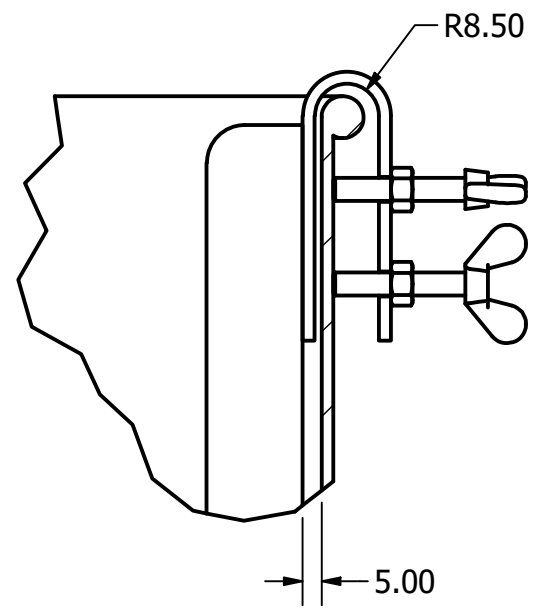
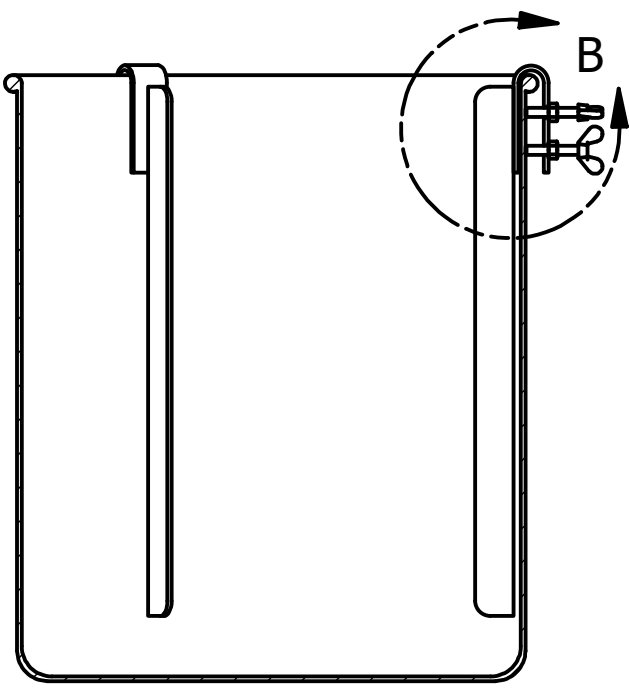
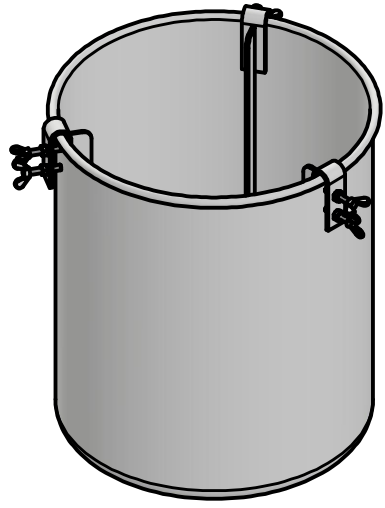
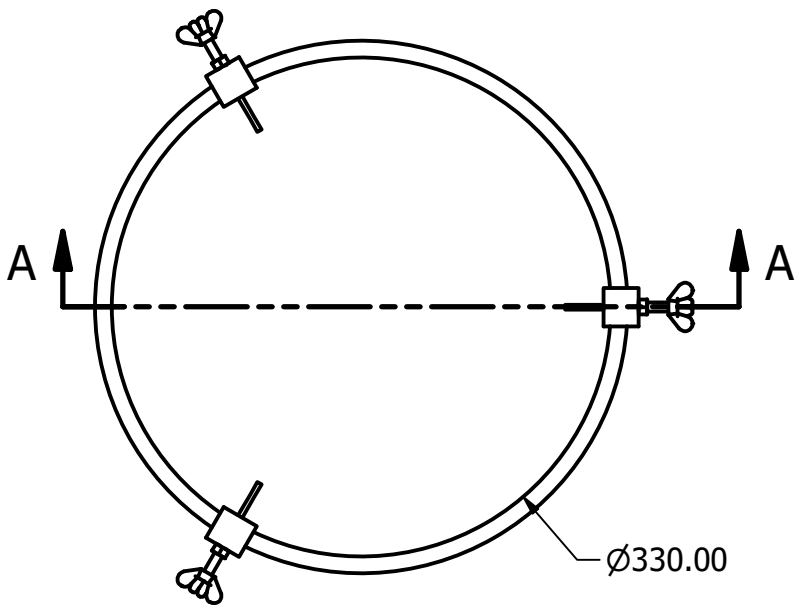


TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

FORMATO **A** ESCALA: **1:5** UNIDADES: mm
 PÁGINA 1 DE 1 REV **A**

2

1



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

DETALLE B
ESCALA 1 : 2

TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.	DIBUJADO POR	FECHA	UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III Guatemala, Guatemala 01015 PBX: (502) 2634-0336 / 40 DE GUATEMALA
	DANIEL ALVAREZ	07/08/2024	
TOLERANCIAS GENERALES LINEAL .X ± .5 .XX ± .XXX ± ANGULAR ± 1°	DISEÑADO POR	FECHA	TÍTULO: DEFLECTOR PARA TANQUE DE 25 KG
	DANIEL ALVAREZ	07/08/2024	
MATERIAL ACERO INOX 304 TRATAMIENTO MASA: N/A	REVISADO POR	FECHA	NÚMERO DE DIBUJO: AP-001
	RODRIGO ARAGÓN	23/04/2025	
 TERCER ÁNGULO DE PROYECCIÓN	APROBADO POR	FECHA	FORMATO A ESCALA: 1 : 5 UNIDADES: mm PÁGINA 1 DE 4 REV A
	RODRIGO ARAGÓN	23/04/2025	
NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO DEFLECTORES APAESA			TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

2

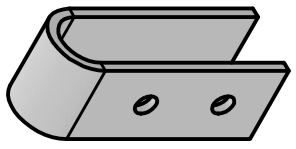
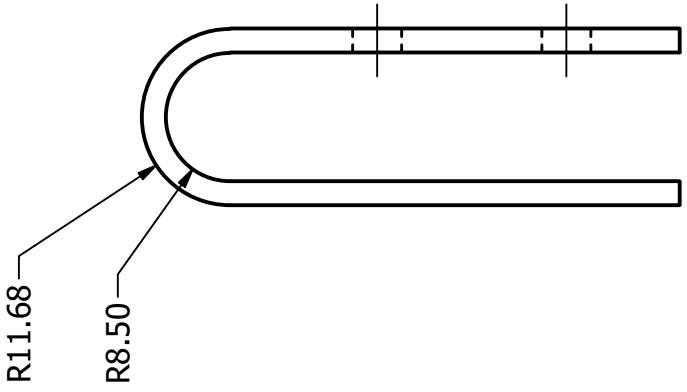
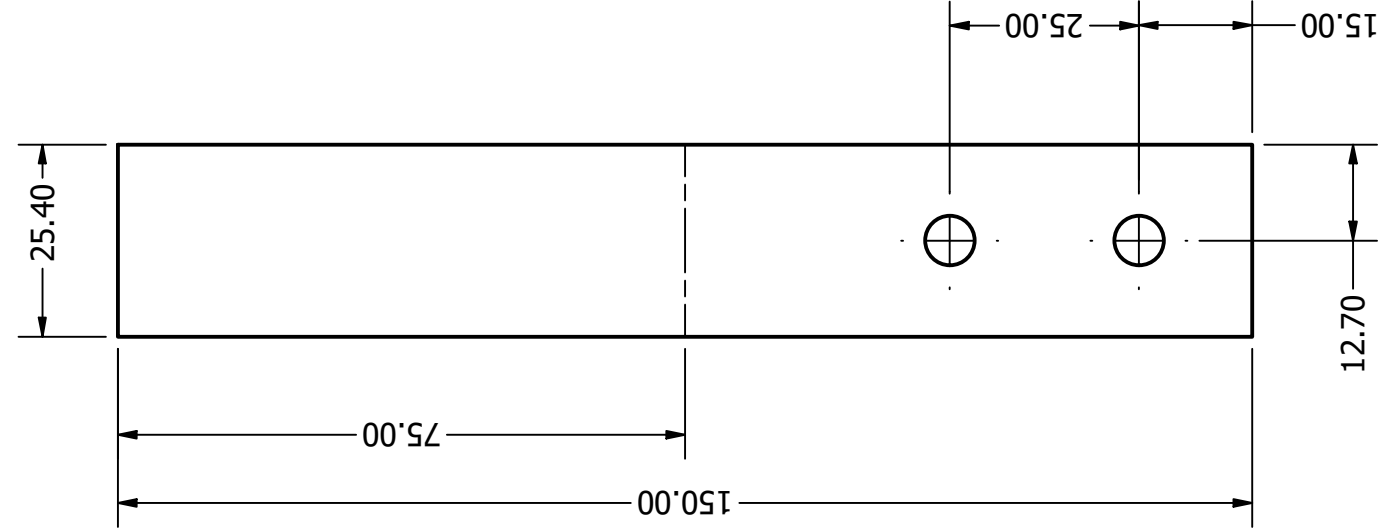
1

1

2

2

1



NOTAS:

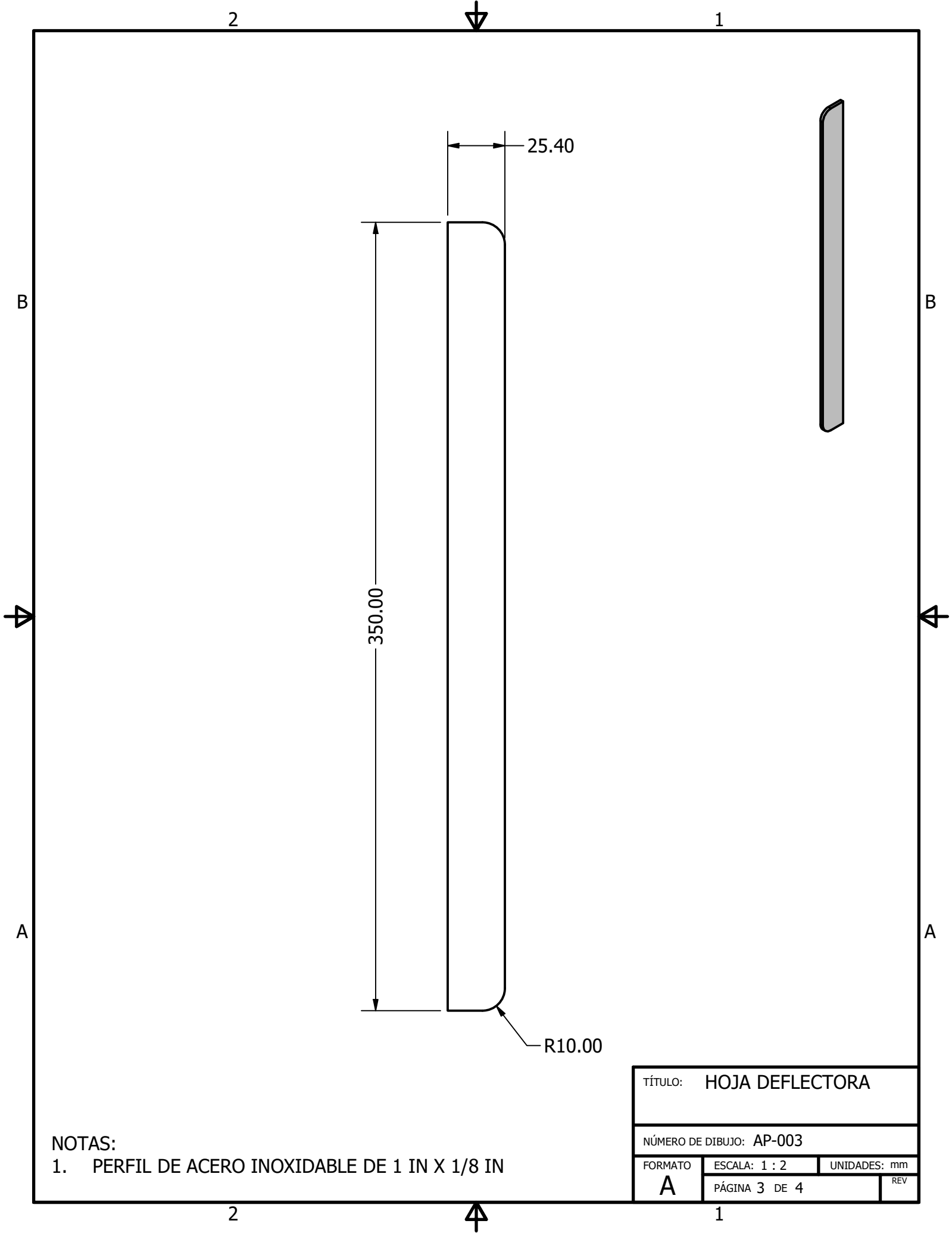
1. PERFILES DE ACERO INOXIDABLE DE 1 IN X 1/8 IN
2. MODELO DEL PERFIL PLANO A LA DERECHA.
3. MODELO DEL PERFIL DOBLADO A LA IZQUIERDA

TÍTULO: SUJETADOR DEL DEFLECTOR	
NÚMERO DE DIBUJO: AP-002	
FORMATO	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 2 DE 4
ESCALA: 1 : 1	REV

1

2

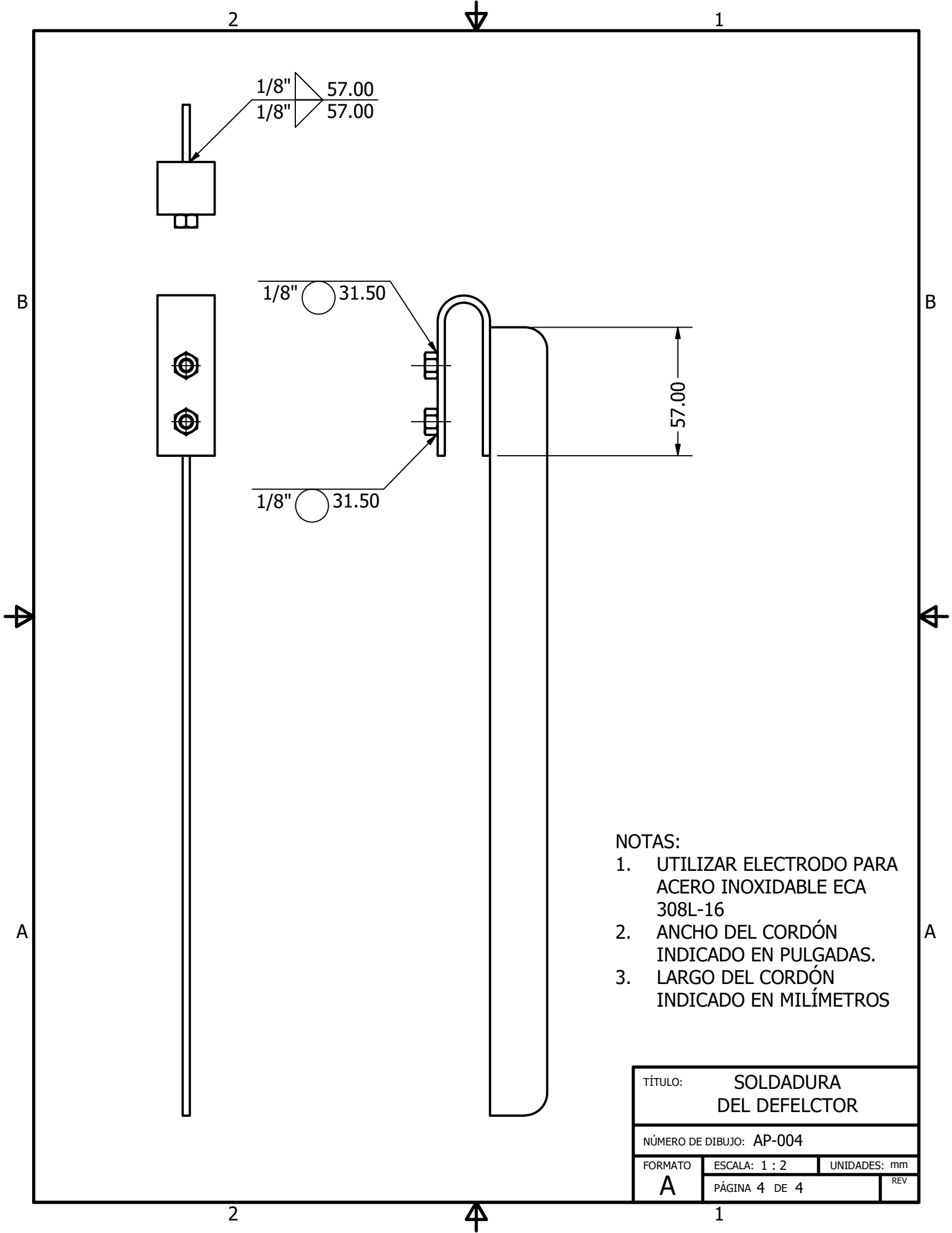
1



NOTAS:

1. PERFIL DE ACERO INOXIDABLE DE 1 IN X 1/8 IN

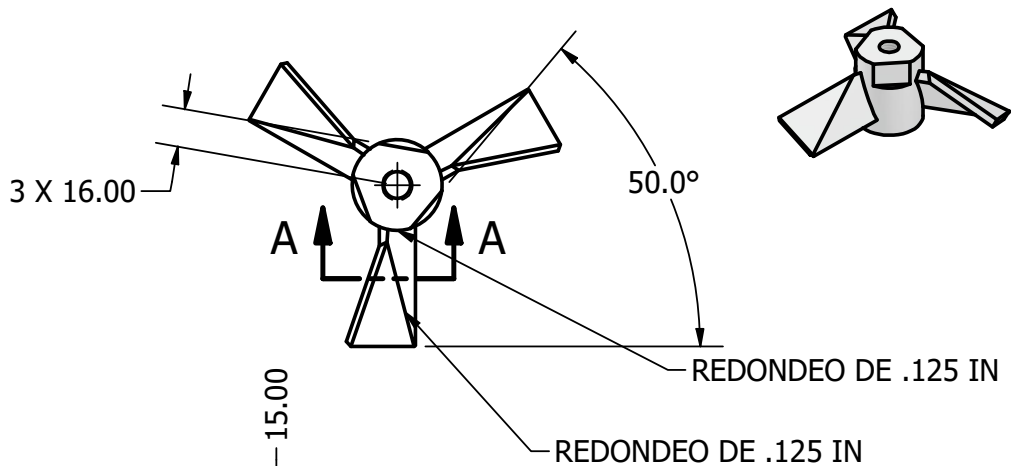
TÍTULO: HOJA DEFLECTORA		
NÚMERO DE DIBUJO: AP-003		
FORMATO	ESCALA: 1 : 2	UNIDADES: mm
A	PÁGINA 3 DE 4	REV



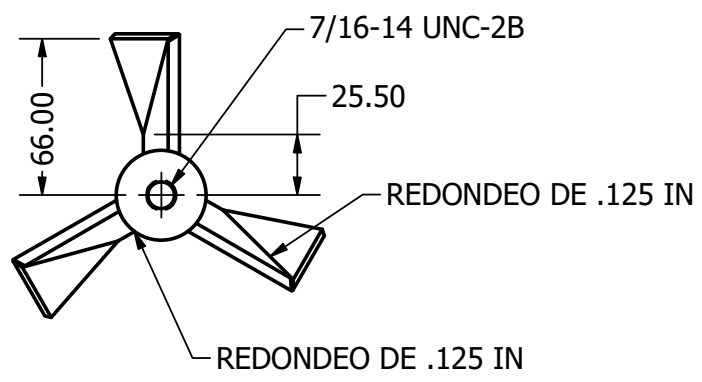
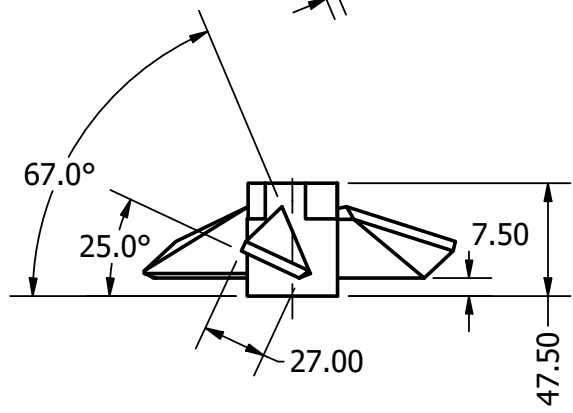
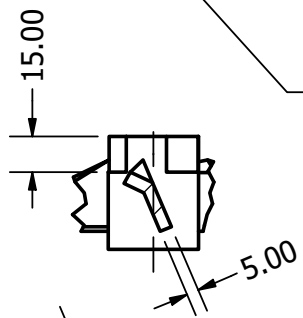
NOTAS:

1. UTILIZAR ELECTRODO PARA ACERO INOXIDABLE ECA 308L-16
2. ANCHO DEL CORDÓN INDICADO EN PULGADAS.
3. LARGO DEL CORDÓN INDICADO EN MILÍMETROS

TÍTULO:		SOLDADURA DEL DEFELCTOR	
NÚMERO DE DIBUJO: AP-004			
FORMATO	ESCALA: 1 : 2	UNIDADES: mm	
A	PÁGINA 4 DE 4		REV



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 3



NOTA:

1. SE OMITEN BORDES REDONDEADOS EN EL DIBUJO PARA CLARIDAD DE DIMENSIONES.
2. LA ROSCA Y LOS REDONDEOS SE DIMENSIONAN EN SISTEMA INGLÉS.

TODAS LAS MEDIDAS EN MILÍMETROS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGÚN ASME Y14.5 - 2009.

TOLERANCIAS GENERALES
LINEAL .X ± .5
.XX ±
.XXX ±
ANGULAR ± 1°

DIBUJADO POR DANIEL ALVAREZ FECHA 10/10/2024

DISEÑADO POR DANIEL ALVAREZ FECHA 17/05/2024

REVISADO POR RODRIGO ARAGÓN FECHA 23/04/2025

APROBADO POR RODRIGO ARAGÓN FECHA 23/04/2025

NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO
SISTEMAS DE MEZCLADO

TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

UVG UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III
Guatemala, Guatemala 01015
PBX: (502) 2634-0336 / 40
DE GUATEMALA

TÍTULO: HÉLICE DE TRES PALAS INCLINADAS CON DOBLECES

NÚMERO DE DIBUJO: P3B-001

MATERIAL ALUMINIO 6061
TRATAMIENTO
MASA: N/A



FORMATO A4 ESCALA: PÁGINA 1 DE 2 UNIDADES: mm REV A

12.3. Protocolo de pruebas

Se adjunta el formato de protocolo de pruebas utilizado para realizar las pruebas de agitación en APAESA.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Protocolo de pruebas

Diseño de los sistemas de mezclado en una línea de producción de
fragancias en Guatemala

Elaborado por:
Daniel Alejandro Alvarez Donis
Carné 19919

Departamento de Ingeniería Mecánica

Guatemala, octubre de 2024

1. Introducción

El siguiente trabajo consiste en mejorar los sistemas de mezclado que posee una empresa de Guatemala dedicada a la producción de fragancias. Según los propietarios de la empresa, su diseño toma entre 45 a 1 hora en completar las mezclas requeridas. La mejora que se espera alcanzar es obtener una mezcla homogénea de los ingredientes del producto a fabricar en un tiempo menor a 30 minutos.

La investigación realizada para este trabajo de graduación ha establecido los parámetros teóricos que se requieren para diseñar un mezclador. Por lo tanto, las pruebas tienen por objetivo comprobar que el aplicarse los parámetros teóricos del diseño mecánico de un tanque agitador puede lograr una mezcla homogénea en un menor tiempo al que actualmente se requiere para obtener los mismos resultados. Los elementos que serán observados durante las pruebas son: potencia de motor requerida, velocidad de operación, tiempo de mezclado, calidad del producto. La variable independiente que determina los resultados será la geometría del impulsor utilizado.

2. Especificaciones técnicas

En esta sección deberá indicar las especificaciones técnicas de su prototipo, las siguientes pueden servirle de ejemplo:

- Dimensiones:
 - Altura
 - Ancho
 - Profundidad
- Dimensiones de probeta/muestra si aplica
- Materiales
- Fuente de energía
- Capacidad de producción: unidades, kg/h, L/h, etc.
- Capacidad de almacenamiento: kg, L, m³, etc.

Mezclador para tanques de 25 a 200 kg:

Especificaciones del tanque:

- Tanque de 200 kg:
 - Diámetro: 56.5 cm
 - Altura: 88 cm
- Tanque de 50 kg:
 - Diámetro: 37.5 cm
 - Altura: 57 cm
- Tanque de 40 kg:
 - Diámetro: 40 cm
 - Altura: 42 cm
- Tanque de 25 kg:
 - Diámetro: 33 cm
 - Altura: 40 cm
- Tanque de 15 kg:
 - Diámetro: 31.5 cm
 - Altura: 31 cm

Especificaciones del impulsor:

- Impulsor de tres palas inclinadas
 - Diámetro: 13.5 cm
 - Ángulo de ataque: 45°
 - Geometría: Estándar CVS 69 1043
 - Cantidad de aspas: 3

Especificaciones del motor

- Potencia: 0.5 HP y 0.25 HP
- Voltaje de operación: 220V
- Fases: Monofásico
- Velocidad de operación nominal: 1750 rpm

Especificaciones del eje:

- Diámetro: 0.5 in
- Longitud: 60 cm

3. Procedimiento de pruebas y mediciones

Check List antes de operar la máquina:

1. Verificar que el tablero de control esté energizado.
2. Verificar que el eje esté sujeto al motor utilizando un acople con castigadera
3. Sujetar el impulsor roscandolo en el eje, y luego agregar una contratuerca.
4. El tanque con los ingredientes debe ser preparado por los operarios de la empresa.
 - a. Los operarios conocen las proporciones necesarias para el producto a fabricar.
 - b. Los operarios cuentan con conocimiento y protocolos para la manipulación de los ingredientes a mezclar.
 - c. No debe intervenir persona ajena a los operarios en la mezcla, dado que no cuenta con el equipo de protección proporcionado por la empresa. La seguridad de este proceso queda a cargo de la empresa con la que se está trabajando.
5. Limpiar la zona alrededor del mezclador en caso de que hayan existido derrames.

Procedimiento para operar:

1. Colocar el impulsor a una altura de 1/3 el diámetro del tanque en el que se va a mezclar
2. Asegurar la altura del motor utilizando el pin de seguridad del pedestal
3. Asegurarse que el eje esté centrado en el tanque
4. El eje se va a descentrar del tanque si al agitar el eje entra en resonancia o se forma un vórtice que alcance la hélice. Descentrarlo 1/6 el valor del diámetro del tanque.
4. Establecer la velocidad de operación en el variador de frecuencia
 - a) No operar por encima de 1750 rpm
 - i. Operar por encima de esta velocidad se acerca a la velocidad crítica del eje y pueden ocurrir resonancia.
 - b) No operar por debajo del 50% de la velocidad nominal del motor

- i. Operar por debajo de esta velocidad puede sobrecalentar el motor, dado que cuenta con un ventilador interno y a esa velocidad no es capaz de disipar el calor.
5. Encender la máquina con el pulsador verde
6. No acercarse al eje en movimiento a una distancia menor de 1 metro (excepciones únicamente bajo supervisión)
7. Al terminar, presionar el botón rojo para apagar la máquina
8. En caso de emergencia, presionar el botón de emergencia

Para cambiar de hélice:

1. Detener el equipo con el pulsador rojo
2. Elevar el agitador por fuera del tanque y asegurar con el pin de seguridad del pedestal
3. Secar la hélice y retirar restos utilizando toallas de papel
4. Desatornillar contratuerca, y luego la hélice
5. Atornillar el impulsor a utilizar, y apretar con la contratuerca
6. Desinfectar la hélice utilizando alcohol en spray
7. Sumergir la hélice en la mezcla a agitar, a 1/3 de la altura del líquido

Para operar utilizando deflectores:

1. Detener el equipo utilizando el pulsador rojo.
2. Instalar los deflectores, distribuyendolo de manera uniforme entre sí: al ser tres, dejar 180° entre cada uno
3. Manipularlos durante la agitación únicamente si se tiene supervisión en el área (retirarlos o agregarlos con la hélice en movimiento).

Mediciones a tomar:

1. Tiempo de operación: Se medirá cuánto tiempo se requiere para obtener una mezcla homogénea.
 - a) Se comenzará a tomar tiempo desde el momento en que se presione el botón verde para encender la máquina
 - b) Se detendrá el cronómetro cuando el impulsor esté completamente quieto, después de haber presionado el botón de stop.
 - c) Si las mediciones de la empresa indican que la mezcla aún no está lista, se continuará la medición del tiempo, repitiendo los pasos a y b. Este tiempo se suma al tiempo ya medido, hasta obtener el tiempo total que se requiere para que la mezcla esté completa.
2. Parámetros de laboratorio: Los trabajadores de APAESA toman una muestra de la mezcla y realizan pruebas para validar su calidad. Los parámetros que miden son:
 - a) Densidad
 - b) Índice de refracción
 - c) Color
 - d) Olor

1. Equipo de medición

Equipo de medición				
No.	Descripción	Especificaciones	Certificado/Estándar	Observaciones
1	Cronómetro	Cualquiera que pueda contar horas, minutos, segundos y milisegundos.	N/A	Puede ser el cronómetro de un celular, pero se debe ser consistente en utilizar el mismo en todas las mediciones.
2	Refractómetro	Equipo de APAESA para medir el índice de refracción.	Marca Fisher Scientific	Únicamente utilizado por personal de APAESA
3	Densímetro	Equipo de APAESA para medir la densidad de las mezclas	Marca Mettler Toledo	Únicamente utilizado por personal de APAESA

La empresa cuenta con un protocolo y estándares para determinar la calidad del producto terminado, o si requiere de más tiempo de mezclado. Por lo tanto, el criterio para decidir si se completó una buena mezcla estará a cargo de los empleados de la empresa. Los materiales para mezclar también serán proporcionados con la empresa en las proporciones requeridas.

2. Identificación de peligros

Identificación de peligros				
No.	Tipo	Descripción	Control(es)	Instrumento/equipo
1	Físico	El impulsor puede oscilar a medida que se acerque a la velocidad crítica	Control de ingeniería	Eje de diámetro de 0.5 pulgadas. Variador de frecuencia.
			Administrativo	Procedimiento definido y <i>check list</i>
2	De seguridad	El eje o el impulsor pueden desprenderse de forma abrupta si no están bien sujetas al motor, causando daños en los alrededores.	Administrativo	Procedimiento definido y <i>check list</i>
			EPP	Gafas de protección, botas de seguridad

3	De seguridad	El eje en movimiento está expuesto, por lo que puede entrar en contacto con ropa o manos u otros agentes externos a la mezcla	Administrativo	Procedimiento definido y <i>check list</i>
4	De seguridad	Operar por debajo del 50% de la velocidad nominal del motor puede sobrecalentarlo	Administrativo	Procedimiento definido y <i>check list</i>
5	De seguridad	Al operar las mezclas puede que se derrame contenido en el suelo, provocando un terreno resbaloso	Administrativo	Procedimiento definido y <i>check list</i>
			EPP	Botas de seguridad
6	De seguridad	Los componentes eléctricos pueden estar expuestos a contacto humano o con líquidos por la naturaleza de la operación	Control de ingeniería	Todos los componentes eléctricos se colocarán dentro de un tablero metálico. Los cables que no estén dentro del tablero contarán con aislante.
			Administrativo	Procedimiento definido y <i>check list</i>
7	Químicos	Dada la variedad de productos químicos que utiliza la empresa, se requieren trabajar bajo los protocolos de manipulación establecidos por la misma.	Administrativo	Procedimiento definido y <i>check list</i>

3. Equipo de protección personal (EPP) y equipo de mitigación

Equipo de protección personal (EPP) y de mitigación		
Cant.	Descripción	Verificado
	Gafas de seguridad de policarbonato transparente	
	Zapatos de cuero tipo bota con punta de acero	
	Pantalón de Lona sin rasgaduras	
	Bata azul de ingeniería mecánica (cuando se requiera por el laboratorio, solo para estudiantes de UVG)	
	Extintor de Polvo químico seco	
	Kit de primeros auxilios	

Previo a iniciar con las pruebas se debe tener el equipo de protección personal (EPP) y las herramientas descritas en la tabla anterior por lo que la misma se debe imprimir y adjuntarla a la documentación que deberá tener disponible durante las pruebas. Leer detenidamente todo el documento y llenar las tablas de esta sección.

4. Documentación requerida previo a iniciar una prueba

La documentación listada en esta sección debe estar disponible en formato impreso en todo momento durante la realización de toda prueba y las verificaciones y firmas requeridas se deberán llenar a mano previo al inicio de dichas pruebas.

Es importante hacer notar que esta documentación tiene validez solo durante el día en que se llena, por lo que si la prueba toma más de un día entonces la misma deberá volver a llenarse ya que implica el reconocimiento y compromiso de cumplimiento de los procedimientos de seguridad que dicha documentación contiene. Esto deberá ser realizado por todas las personas que participen en las pruebas sin excepción; y a la vez implica que ninguna persona que no firme los compromisos podrá participar de dichas pruebas.

Esta documentación incluye:

1. Compromiso de conocimiento y cumplimiento del protocolo de seguridad. Se llena un documento con formato de lista para todos los participantes (Anexo 1).
2. Reconocimiento de estado y disponibilidad para poder realizar la prueba. Se llena una copia por cada participante (Anexo 2).
3. Verificación de EPP. Se llena una copia por cada participante (Anexo 3).
4. Verificación de equipo de mitigación necesario. Se llena una copia por parte del estudiante a cargo y la misma debe contar con el visto bueno de todos los participantes (Anexo 4).
5. Procedimiento de pruebas y mediciones de la sección 3 del presente protocolo. Si al momento de la prueba se debiera realizar algún cambio en el procedimiento, entonces esto deberá ser comunicado a todos los participantes quienes deberán firmar con su visto bueno el reverso de la copia impresa donde se anotará a mano el cambio efectuado.

6. Protocolo de emergencia presentando todos los números telefónicos de emergencia. Se llena una copia con formato de lista para todos los participantes (Anexo 5).
7. Observaciones y comentarios de las pruebas (Anexo 6).

5. Protocolo e información para casos de emergencia

El mismo se detalla en el Anexo 5 y tiene por finalidad que todos los participantes de las pruebas a realizar tengan claridad de la manera en que deben actuar ante la ocurrencia de un incidente.

6. Resultados y observaciones

El Anexo 6 será utilizado para registrar los resultados de las pruebas, así como para anotar cualquier observación o comentario sobre los mismos por parte de los participantes.

ANEXO 1

CONOCIMIENTO Y CUMPLIMIENTO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

Instrucciones:

El presente documento deberá ser llenado por todas las personas que participarán de las pruebas del prototipo elaborado en el trabajo de graduación o proyecto “Nombre del trabajo/proyecto” y su firma implica su conformidad con el siguiente enunciado:

“Como firmante del presente documento declaro que he tenido a la vista el protocolo de pruebas del trabajo arriba nombrado; que soy consciente de los peligros identificados y plenamente detallados en el protocolo en cuestión, asociados a las pruebas a realizarse en la fecha indicada en este documento y que conozco los procedimientos y acciones a tomar para mitigar dichos peligros. Así mismo declaro tener conocimiento del procedimiento de pruebas y medición, y del protocolo de emergencia en caso de incidentes, anexo 5, y que los mismos se encuentra en formato impreso en el lugar de las pruebas. Declaro también que la información proporcionada por mi parte en los anexos 2 y 3 son verídicos y que he tomado el tiempo de verificar la información contenida en el anexo 4 por lo que he firmado los mismos. Habiendo declarado lo anterior, asumo la responsabilidad de mis actos y cualquier consecuencia o implicación que se desprenda de ellos.”

Listado de personas		
Carné	Nombre	Firma

Guatemala, _____ de _____ de 20 ____

ANEXO 2

DECLARACIÓN DE ESTADO Y DISPONIBILIDAD

Instrucciones:

Evalúe su estado y disponibilidad para participar de las pruebas teniendo conciencia de que su indisponibilidad en uno solo de las condiciones evaluadas inhabilitará en su participación ya que las mismas influyen en su seguridad personal y la de los demás participantes.

Marque con una X la casilla correspondiente sin salirse del espacio.

No.	Condición evaluada	SI	NO
1	He ingerido bebidas alcohólicas o sustancias alucinógenas que alteran mi estado de percepción durante las últimas 72 hrs.		
2	Me siento agotado física o mentalmente por lo que mi concentración o habilidades físicas pueden verse comprometidas.		
3	Tengo un problema personal/laboral que altera mi estado de ánimo.		
4	Me siento incómodo con, o indispuerto hacia alguno de los otros participantes de las pruebas por cualquier circunstancia.		
5	Mi estado de ánimo y mi disposición son positivos por lo que considero que mi participación será de aporte para las pruebas.		
6	Puedo proporcionar el nombre y número telefónico de una persona a la que contactar en caso de emergencia por cualquier incidente que se presente durante las pruebas.		

Declaro que las respuestas a los aspectos evaluados en la tabla anterior son verdaderas por lo que me declaro _____ para participar en las pruebas de la presente fecha. (habilitado/inhabilitado)

Fecha: _____

Nombre: _____ Firma: _____

Contacto para caso de emergencia:

Nombre: _____

Número(s) telefónico(s): _____

Correo electrónico: _____

ANEXO 3

VERIFICACIÓN DE EPP

Instrucciones:

Marque con una X la casilla de verificación para cada uno de los equipos listados. La necesidad del uso de este equipo fue determinada durante el proceso de identificación de peligros por lo que es de carácter obligatorio. No se permite el uso de equipo que no cumpla con las especificaciones declaradas en el listado.

Equipo de protección personal (EPP)		
Cant.	Descripción	Verificado
	Gafas de seguridad de policarbonato transparente	
	Zapatos de cuero tipo bota con punta de acero	
	Pantalón de Lona sin rasgaduras	
	Bata azul de ingeniería mecánica (cuando se requiera por el laboratorio, solo para estudiantes de UVG)	

Fecha: _____

Nombre: _____ Firma: _____

ANEXO 4

VERIFICACIÓN DE EQUIPO DE MITIGACIÓN REQUERIDO

Instrucciones:

El estudiante a cargo de las pruebas marcará con una X la casilla de verificación para cada uno de los equipos listados. La necesidad de la disponibilidad de este equipo fue determinada durante el proceso de identificación de peligros por lo que es de carácter obligatorio. No se permite el uso de equipo que no cumpla con las especificaciones declaradas en el listado.

Los demás participantes deberán declarar su visto bueno mediante su firma en el listado mostrado abajo.

Equipo de mitigación requerido		
Cant.	Descripción	Verificado
	Extintor de Polvo químico seco	
	Kit de primeros auxilios	

Fecha: _____

Estudiante a cargo: _____ Firma: _____

Visto bueno de participantes		
Carné	Nombre	Firma

ANEXO 5

PROTOCOLO DE EMERGENCIA

1. Acciones a tomar ante un accidente que provoque daño físico a cualquiera de los participantes:

- i. Conservar la calma en todo momento.
- ii. Apague la máquina si la misma aún se encuentra encendida.
- iii. Asegure que las necesidades físicas y emocionales de la persona son atendidas.
- iv. No intente brindar primeros auxilios para los que no cuenta con formación previa.
- v. Coordine con los demás participantes de las pruebas la atención médica necesaria para la persona accidentada contactando a las instituciones correspondientes.
- vi. Si las pruebas se están realizando dentro de las instalaciones de la universidad comuníquese a los números y personas indicadas en la siguiente sección.
- vii. Informe al contacto proporcionado para casos de emergencia.
- viii. Informe al asesor del trabajo de graduación o proyecto una vez la situación se encuentre controlada.

2. Contactos importantes a tener en cuenta en caso de emergencia.

- i. Bomberos voluntarios: 122
- ii. Bomberos municipales (ciudad capital): 123
- iii. Bomberos municipales departamentales: 1554

Si las pruebas se están realizando dentro de las instalaciones de la universidad tome en cuenta los siguientes contactos:

- i. Alerta Médica: 1711
- ii. Clínica Médica UVG: extensión 21312, edificio F, oficina F119-F120 (debajo de la plaza Paiz Riera)
- iii. Jefe de seguridad UVG, Lic. Nelson Aldana: 59781736, Sótano 1 CIT, oficina 8S1, según lo amerite el accidente.
- iv. Secretaría General: 2369-8333, oficina F-205, según lo amerite el accidente.


ANEXO 1

CONOCIMIENTO Y CUMPLIMIENTO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

Instrucciones:

El presente documento deberá ser llenado por todas las personas que participarán de las pruebas del prototipo elaborado en el trabajo de graduación o proyecto "Nombre del trabajo/proyecto" y su firma implica su conformidad con el siguiente enunciado:

"Como firmante del presente documento declaro que he tenido a la vista el protocolo de pruebas del trabajo arriba nombrado; que soy consciente de los peligros identificados y plenamente detallados en el protocolo en cuestión, asociados a las pruebas a realizarse en la fecha indicada en este documento y que conozco los procedimientos y acciones a tomar para mitigar dichos peligros. Así mismo declaro tener conocimiento del procedimiento de pruebas y medición, y del protocolo de emergencia en caso de incidentes, anexo 5, y que los mismos se encuentra en formato impreso en el lugar de las pruebas. Declaro también que la información proporcionada por mi parte en los anexos 2 y 3 son verídicos y que he tomado el tiempo de verificar la información contenida en el anexo 4 por lo que he firmado los mismos. Habiendo declarado lo anterior, asumo la responsabilidad de mis actos y cualquier consecuencia o implicación que se desprenda de ellos."

Listado de personas		
Carné	Nombre	Firma
19919	Daniel Alejandro Alvarez Davis	

Guatemala, 24 de octubre de 2024

ANEXO 2

DECLARACIÓN DE ESTADO Y DISPONIBILIDAD

Instrucciones:

Evalúe su estado y disponibilidad para participar de las pruebas teniendo conciencia de que su indisponibilidad en uno solo de las condiciones evaluadas inhabilitará en su participación ya que las mismas influyen en su seguridad personal y la de los demás participantes.

Marque con una X la casilla correspondiente sin salirse del espacio.

No.	Condición evaluada	SI	NO
1	He ingerido bebidas alcohólicas o sustancias alucinógenas que alteran mi estado de percepción durante las últimas 72 hrs.		X
2	Me siento agotado física o mentalmente por lo que mi concentración o habilidades físicas pueden verse comprometidas.		X
3	Tengo un problema personal/laboral que altera mi estado de ánimo.		X
4	Me siento incómodo con, o indispuesto hacia alguno de los otros participantes de las pruebas por cualquier circunstancia.		X
5	Mi estado de ánimo y mi disposición son positivos por lo que considero que mi participación será de aporte para las pruebas.	X	
6	Puedo proporcionar el nombre y número telefónico de una persona a la que contactar en caso de emergencia por cualquier incidente que se presente durante las pruebas.	X	

Declaro que las respuestas a los aspectos evaluados en la tabla anterior son verdaderas por lo que me declaro habilitado para participar en las pruebas de la presente fecha. (habilitado/inhabilitado)

Fecha: 24 / 10 / 2024

Nombre: Daniel Alvarez

Firma: 

Contacto para caso de emergencia:

Nombre: Cecilia de Alvarez

Número(s) telefónico(s): 30170351

Correo electrónico: cecyls5@gmail.com

ANEXO 3

VERIFICACIÓN DE EPP

Instrucciones:

Marque con una X la casilla de verificación para cada uno de los equipos listados. La necesidad del uso de este equipo fue determinada durante el proceso de identificación de peligros por lo que es de carácter obligatorio. No se permite el uso de equipo que no cumpla con las especificaciones declaradas en el listado.

Equipo de protección personal (EPP)		
Cant.	Descripción	Verificado
	Gafas de seguridad de policarbonato transparente	X
	Zapatos de cuero tipo bota con punta de acero	X
	Pantalón de Lona sin rasgaduras	X
	Bata azul de ingeniería mecánica (cuando se requiera por el laboratorio, solo para estudiantes de UVG)	X

Fecha: 24 octubre 2024

Nombre: Daniel Alvarez

Firma: 

ANEXO 4

VERIFICACIÓN DE EQUIPO DE MITIGACIÓN REQUERIDO

Instrucciones:

El estudiante a cargo de las pruebas marcará con una X la casilla de verificación para cada uno de los equipos listados. La necesidad de la disponibilidad de este equipo fue determinada durante el proceso de identificación de peligros por lo que es de carácter obligatorio. No se permite el uso de equipo que no cumpla con las especificaciones declaradas en el listado.

Los demás participantes deberán declarar su visto bueno mediante su firma en el listado mostrado abajo.

Equipo de mitigación requerido		
Cant.	Descripción	Verificado
	Extintor de Polvo químico seco	X
	Kit de primeros auxilios	X

Fecha: 24 octubre 2024

Estudiante a cargo: Daniel Alvarez

Firma:



Visto bueno de participantes		
Carné	Nombre	Firma


ANEXO 1

CONOCIMIENTO Y CUMPLIMIENTO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

Instrucciones:

El presente documento deberá ser llenado por todas las personas que participarán de las pruebas del prototipo elaborado en el trabajo de graduación o proyecto "Nombre del trabajo/proyecto" y su firma implica su conformidad con el siguiente enunciado:

"Como firmante del presente documento declaro que he tenido a la vista el protocolo de pruebas del trabajo arriba nombrado; que soy consciente de los peligros identificados y plenamente detallados en el protocolo en cuestión, asociados a las pruebas a realizarse en la fecha indicada en este documento y que conozco los procedimientos y acciones a tomar para mitigar dichos peligros. Así mismo declaro tener conocimiento del procedimiento de pruebas y medición, y del protocolo de emergencia en caso de incidentes, anexo 5, y que los mismos se encuentra en formato impreso en el lugar de las pruebas. Declaro también que la información proporcionada por mi parte en los anexos 2 y 3 son verídicos y que he tomado el tiempo de verificar la información contenida en el anexo 4 por lo que he firmado los mismos. Habiendo declarado lo anterior, asumo la responsabilidad de mis actos y cualquier consecuencia o implicación que se desprenda de ellos."

Listado de personas		
Carné	Nombre	Firma
19919	Daniel Alejandro Alvarez Donis	

Guatemala, 25 de octubre de 20 24

ANEXO 2

DECLARACIÓN DE ESTADO Y DISPONIBILIDAD

Instrucciones:

Evalúe su estado y disponibilidad para participar de las pruebas teniendo conciencia de que su indisponibilidad en uno solo de las condiciones evaluadas inhabilitará en su participación ya que las mismas influyen en su seguridad personal y la de los demás participantes.

Marque con una X la casilla correspondiente sin salirse del espacio.

No.	Condición evaluada	SI	NO
1	He ingerido bebidas alcohólicas o sustancias alucinógenas que alteran mi estado de percepción durante las últimas 72 hrs.		X
2	Me siento agotado física o mentalmente por lo que mi concentración o habilidades físicas pueden verse comprometidas.		X
3	Tengo un problema personal/laboral que altera mi estado de ánimo.		X
4	Me siento incómodo con, o indispuerto hacia alguno de los otros participantes de las pruebas por cualquier circunstancia.		X
5	Mi estado de ánimo y mi disposición son positivos por lo que considero que mi participación será de aporte para las pruebas.	X	
6	Puedo proporcionar el nombre y número telefónico de una persona a la que contactar en caso de emergencia por cualquier incidente que se presente durante las pruebas.	X	

Declaro que las respuestas a los aspectos evaluados en la tabla anterior son verdaderas por lo que me declaro habilitado para participar en las pruebas de la presente fecha. (habilitado/inhabilitado)

Fecha: 25/oct/2024

Nombre: Daniel Alvarez

Firma:



Contacto para caso de emergencia:

Nombre: Cecilia de Alvarez

Número(s) telefónico(s): 30170351

Correo electrónico: cecyls5@gmail.com

ANEXO 3

VERIFICACIÓN DE EPP

Instrucciones:

Marque con una X la casilla de verificación para cada uno de los equipos listados. La necesidad del uso de este equipo fue determinada durante el proceso de identificación de peligros por lo que es de carácter obligatorio. No se permite el uso de equipo que no cumpla con las especificaciones declaradas en el listado.

Equipo de protección personal (EPP)		
Cant.	Descripción	Verificado
	Gafas de seguridad de policarbonato transparente	X
	Zapatos de cuero tipo bota con punta de acero	X
	Pantalón de Lona sin rasgaduras	X
	Bata azul de ingeniería mecánica (cuando se requiera por el laboratorio, solo para estudiantes de UVG)	X

Fecha: 25 / oct / 2024

Nombre: Daniel Alvarez

Firma:



ANEXO 4

VERIFICACIÓN DE EQUIPO DE MITIGACIÓN REQUERIDO

Instrucciones:

El estudiante a cargo de las pruebas marcará con una X la casilla de verificación para cada uno de los equipos listados. La necesidad de la disponibilidad de este equipo fue determinada durante el proceso de identificación de peligros por lo que es de carácter obligatorio. No se permite el uso de equipo que no cumpla con las especificaciones declaradas en el listado.

Los demás participantes deberán declarar su visto bueno mediante su firma en el listado mostrado abajo.

Equipo de mitigación requerido		
Cant.	Descripción	Verificado
	Extintor de Polvo químico seco	X
	Kit de primeros auxilios	X

Fecha: 25/oct/2024

Estudiante a cargo: Daniel Alvarez

Firma: 

Visto bueno de participantes		
Carné	Nombre	Firma

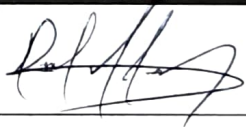
ANEXO 1

CONOCIMIENTO Y CUMPLIMIENTO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

Instrucciones:

El presente documento deberá ser llenado por todas las personas que participarán de las pruebas del prototipo elaborado en el trabajo de graduación o proyecto "Nombre del trabajo/proyecto" y su firma implica su conformidad con el siguiente enunciado:

"Como firmante del presente documento declaro que he tenido a la vista el protocolo de pruebas del trabajo arriba nombrado; que soy consciente de los peligros identificados y plenamente detallados en el protocolo en cuestión, asociados a las pruebas a realizarse en la fecha indicada en este documento y que conozco los procedimientos y acciones a tomar para mitigar dichos peligros. Así mismo declaro tener conocimiento del procedimiento de pruebas y medición, y del protocolo de emergencia en caso de incidentes, anexo 5, y que los mismos se encuentra en formato impreso en el lugar de las pruebas. Declaro también que la información proporcionada por mi parte en los anexos 2 y 3 son verídicos y que he tomado el tiempo de verificar la información contenida en el anexo 4 por lo que he firmado los mismos. Habiendo declarado lo anterior, asumo la responsabilidad de mis actos y cualquier consecuencia o implicación que se desprenda de ellos."

Listado de personas		
Carné	Nombre	Firma
19919	Daniel Alejandro Alvarez Davis	

Guatemala, 31 de octubre de 20 24

ANEXO 2

DECLARACIÓN DE ESTADO Y DISPONIBILIDAD

Instrucciones:

Evalúe su estado y disponibilidad para participar de las pruebas teniendo conciencia de que su indisponibilidad en uno solo de las condiciones evaluadas inhabilitará en su participación ya que las mismas influyen en su seguridad personal y la de los demás participantes.

Marque con una X la casilla correspondiente sin salirse del espacio.

No.	Condición evaluada	SI	NO
1	He ingerido bebidas alcohólicas o sustancias alucinógenas que alteran mi estado de percepción durante las últimas 72 hrs.		X
2	Me siento agotado física o mentalmente por lo que mi concentración o habilidades físicas pueden verse comprometidas.		X
3	Tengo un problema personal/laboral que altera mi estado de ánimo.		X
4	Me siento incómodo con, o indispuerto hacia alguno de los otros participantes de las pruebas por cualquier circunstancia.		X
5	Mi estado de ánimo y mi disposición son positivos por lo que considero que mi participación será de aporte para las pruebas.	X	
6	Puedo proporcionar el nombre y número telefónico de una persona a la que contactar en caso de emergencia por cualquier incidente que se presente durante las pruebas.	X	

Declaro que las respuestas a los aspectos evaluados en la tabla anterior son verdaderas por lo que me declaro habilitado para participar en las pruebas de la presente fecha. (habilitado/inhabilitado)

Fecha: 31 / oct / 2024

Nombre: Daniel Alvarez

Firma: 

Contacto para caso de emergencia:

Nombre: Cecilia de Alvarez

Número(s) telefónico(s): 30170351

Correo electrónico: cecyls5@gmail.com

ANEXO 3

VERIFICACIÓN DE EPP

Instrucciones:

Marque con una X la casilla de verificación para cada uno de los equipos listados. La necesidad del uso de este equipo fue determinada durante el proceso de identificación de peligros por lo que es de carácter obligatorio. No se permite el uso de equipo que no cumpla con las especificaciones declaradas en el listado.

Equipo de protección personal (EPP)		
Cant.	Descripción	Verificado
	Gafas de seguridad de policarbonato transparente	X
	Zapatos de cuero tipo bota con punta de acero	X
	Pantalón de Lona sin rasgaduras	X
	Bata azul de ingeniería mecánica (cuando se requiera por el laboratorio, solo para estudiantes de UVG)	X

Fecha: 31/oct/2024

Nombre: Daniel Alvarez

Firma: 

ANEXO 4

VERIFICACIÓN DE EQUIPO DE MITIGACIÓN REQUERIDO

Instrucciones:

El estudiante a cargo de las pruebas marcará con una X la casilla de verificación para cada uno de los equipos listados. La necesidad de la disponibilidad de este equipo fue determinada durante el proceso de identificación de peligros por lo que es de carácter obligatorio. No se permite el uso de equipo que no cumpla con las especificaciones declaradas en el listado.

Los demás participantes deberán declarar su visto bueno mediante su firma en el listado mostrado abajo.

Equipo de mitigación requerido		
Cant.	Descripción	Verificado
	Extintor de Polvo químico seco	X
	Kit de primeros auxilios	X

Fecha: 31 / oct / 2024

Estudiante a cargo: Daniel Alvarez

Firma: 

Visto bueno de participantes		
Carné	Nombre	Firma