

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño de una máquina centrifugadora para separación de residuos de
aceites vegetales comestibles usados

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Ribadeneira Rodríguez Egberto Segundo

Tseng Liu Pablo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres, a mi hermana y a mis abuelos que siempre me han apoyado y motivado durante toda mi carrera universitaria.

Egberto Ribadeneira

El presente proyecto lo dedico a mis padres y hermana por motivarme a cumplir mis objetivos y brindarme su apoyo de manera incondicional en todas las decisiones que he tomado.

Pablo Tseng Liu

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por cuidarme y protegerme durante toda mi trayectoria universitaria. A mi familia por siempre brindarme el apoyo necesario. A mis amigos con los que compartí parte de mi carrera. A mi compañero por todo el apoyo durante este proyecto. A mi profesor de tesis y tutor por guiarme durante el desarrollo del proyecto

Egberto Ribadeneira

Agradezco a Dios por permitirme estar con vida. A mi familia por su afecto y paciencia. A mis amigos que fueron parte de mi vida universitaria. A mi compañero por la finalización este trabajo. A mi profesor de tesis y tutor por su aporte en el desarrollo de este proyecto.

Pablo Tseng Liu

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Pablo Tseng Liu* y *Egberto Segundo Ribadeneira Rodríguez* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Pablo Tseng Liu



Egberto Segundo
Ribadeneira Rodríguez

EVALUADORES

.....
PhD. Miguel Quilambaqui Jara

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
PhD. Freddy Jervis Calle

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El uso de aceites vegetales es común en los hogares debido a que es esencial para la elaboración de alimentos. Sin embargo, cuando es usado en reiteradas ocasiones se comienza a deteriorar y si es desechado de manera inadecuada puede convertirse en un contaminante para el medio ambiente, en especial para las fuentes de agua. Se estima que en el Ecuador cerca de 9.45 millones de litros de aceite para uso doméstico son desechados. Dada la problemática en este proyecto, se diseñó una máquina centrifugadora para separar los diversos desechos encontrados en el aceite vegetal usado y que este pueda ser reutilizado en la elaboración de otros productos tales como: biodiesel y jabones. Para la elaboración de la máquina se utilizaron catálogos de máquinas existentes en el mercado internacional con el fin de dimensionar las partes de la centrifugadora de acuerdo con los requerimientos de diseño y con la ayuda del software Autodesk Inventor Student. Con el fin de validar el diseño, se realizaron simulaciones del comportamiento interno del fluido mediante el software Ansys Student, obteniendo los siguientes resultados: presión máxima: 5.29 MPa, velocidad máxima: 111 m/s y temperatura máxima de operación: 328.5 K. Dichos resultados confirmaron que se cumplieron los requerimientos de diseño. La máquina cumple con un caudal de operación de 8 gpm, una potencia de 7.5 hp y fuerzas G de 8348.77g. Se concluyó que el proyecto es viable debido a que permite generar un ahorro significativo frente a la importación de una máquina del extranjero.

Palabras Clave: Aceite vegetal, Aceite vegetal usado, Máquina centrifugadora, Fuerzas G.

ABSTRACT

The use of vegetable oils is common in homes because it is essential for food preparation. However, when it is used repeatedly, it begins to deteriorate and if it is disposed of improperly, it can become a contaminant for the environment, especially for water sources. It is estimated that in Ecuador about 9.45 million liters of oil for domestic use are discarded. Given the problems in this project, a centrifuge machine was designed to separate the various waste found in used vegetable oil so that it can be reused in the production of other products such as: biodiesel and soaps. For the elaboration of the machine, catalogs of existing machines in the international market were used to size the parts of the centrifuge according to the design requirements and with the help of the Autodesk Inventor Student software. To validate the design, simulations of the internal behavior of the fluid were carried out using the Ansys Student software, obtaining the following results: maximum pressure: 5.29 MPa, maximum speed: 111 m/s and maximum operating temperature: 328.5 K. These results confirmed that the design requirements were met. The machine complies with an operating flow of 8 gpm, a power of 7.5 hp and G-forces of 8348.77g. It was concluded that the project is viable because it allows generating significant savings compared to importing a machine from abroad.

Keywords: Vegetable oil, Used vegetable oil, Centrifuge Machine, G force.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	X
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Definición del Problema	1
1.2 Justificación del proyecto	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Aceites vegetales.....	3
1.4.1.1 Clasificación de los aceites vegetales	3
1.4.1.2 Propiedades	4
1.4.1.3 Cambios químicos durante el proceso de fritura.....	5
1.4.1.4 Composición química de los aceites vegetales usados	5
1.4.2 Tratamiento de aceites de cocina usados	7
1.4.2.1 Métodos para el tratamiento de aceites de cocina usados	7
1.4.3 Máquina centrifugadora	8
1.4.3.1 Tipos de máquinas centrifugadoras.....	9
1.4.3.2 Principales máquinas centrifugadoras	10
CAPÍTULO 2.....	12

2.	Metodología.....	12
2.1	Diseño de forma.....	13
2.1.1	Requerimientos del diseño.....	13
2.1.2	Especificaciones del diseño.....	13
2.1.3	Alternativas de solución.....	14
2.1.4	Criterios de diseño.....	15
2.2	Diseño detallado.....	17
2.2.1	Sistema de entrada a la centrifugadora.....	17
2.2.2	Dimensiones de la centrifugadora.....	21
2.2.3	Sistema de agua de operación.....	27
2.2.4	Sistema de transmisión.....	28
CAPÍTULO 3.....		30
3.	Resultados Y Análisis.....	30
3.1	Sistema de entrada.....	30
3.2	Máquina centrifugadora.....	30
3.2.1	Dimensionamiento de los discos.....	31
3.2.2	Dimensionamiento del distribuidor.....	32
3.3	Simulación del equipo.....	33
3.3.1	Simulación elemento estructural.....	33
3.3.2	Simulación ANSYS Fluent.....	35
3.4	Análisis de resultados.....	39
3.5	Análisis de costos.....	41
3.5.1	Costo de materiales de construcción.....	41
3.5.2	Costos de mano de obra.....	43
3.6	Mantenimiento del equipo.....	44
CAPÍTULO 4.....		45
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	45

4.1	Conclusiones.....	45
4.2	Recomendaciones.....	46

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
RPM	Revoluciones por minuto
AISI	American Iron and Steel Institute
CAD	Computer-Aided Design
CFD	Computational Fluid Dynamics
PLC	Programmable Logic Controller

SIMBOLOGÍA

Pa	Pascal
kPa	Kilo pascal
m	Metro
s	Segundo
rad	Radian
mm	Milímetro
cm	Centímetro
W	Watts
hp	Caballos de fuerza
in	Pulgadas
N	Newton
kg	Kilogramo
J	Joules
°C	Grados Celsius
K	Grados Kelvin
gpm	Galones por minuto

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Metodología de diseño	12
Figura 2.2 Caja negra.....	12
Figura 2.3 Caja transparente	13
Figura 2.4 Diseño de forma de la máquina centrifugadora	17
Figura 2.5 Sistema de entrada del aceite	18
Figura 2.6 Elementos de la máquina centrifugadora	21
Figura 2.7 Dimensiones de la centrifugadora	24
Figura 2.8 Disco de centrifugado.....	26
Figura 3.1 Sistema de entrada	30
Figura 3.2 Vista interior de la máquina	31
Figura 3.3 Sistema de transmisión	31
Figura 3.4 Dimensiones de los discos	32
Figura 3.5 Dimensiones del distribuidor	33
Figura 3.6 Estructura de la máquina con las fuerzas aplicadas	33
Figura 3.7 Esfuerzos de Von Mises	34
Figura 3.8 Deformación en el eje	35
Figura 3.9 Esfuerzos cortantes en el interior de la centrifugadora	36
Figura 3.10 Vectores de esfuerzos cortantes en el interior de la centrifugadora	36
Figura 3.11 Velocidad del fluido en el interior de la centrifugadora	37
Figura 3.12 Presiones en el interior de la centrifugadora	38
Figura 3.13 Temperatura en el interior de la centrifugadora	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Clasificación de aceites vegetales	3
Tabla 1.2 Propiedades de aceites vegetales usados para cocina	4
Tabla 1.3 Propiedades entre aceites puros y usados	6
Tabla 1.4 Composición de ácidos grasos aceites vegetales puros y usados	6
Tabla 2.1 Especificaciones de diseño	13
Tabla 2.2 Criterios de diseño	15
Tabla 2.3 Matriz de decisión.....	16
Tabla 3.1 Resultados del sistema de entrada	30
Tabla 3.2 Resultados de fuerzas y torque aplicado sobre el eje	34
Tabla 3.3 Comparación de valor teórico con valor experimental	37
Tabla 3.4 Comparación de valor teórico con valor experimental	38
Tabla 3.5 Comparación de temperaturas	39
Tabla 3.6 Características de la máquina centrifugadora	41
Tabla 3.7 Característica de centrifugadora de Crown Machinery DGS/DGC 400	41
Tabla 3.8 Detalle de los costos de materiales de construcción	41
Tabla 3.9 Detalle de los costos de mano de obra por trabajador	43

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Máquina centrifugadora
PLANO 2	Listado de piezas (Parte 1)
PLANO 3	Listado de piezas (Parte 2)
PLANO 4	Listado de piezas (Parte 3)
PLANO 5	Acople
PLANO 6	Cámara de aceite
PLANO 7	Cámara de agua
PLANO 8	Carcasa superior
PLANO 9	Carcasa inferior
PLANO 10	Cono superior
PLANO 11	Cono inferior
PLANO 12	Tazón inferior
PLANO 13	Disco superior
PLANO 14	Disco
PLANO 15	Distribuidor
PLANO 16	Eje de transmisión
PLANO 17	Tubería de alimentación
PLANO 18	Water disc superior
PLANO 19	Water disc inferior
PLANO 20	Base superior
PLANO 21	Base inferior

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición del Problema

En los últimos años, el crecimiento poblacional ha provocado un aumento en el consumo de aceites vegetales debido a que éstos son esenciales en la elaboración de alimentos. Sin embargo, al ser utilizados de manera prolongada, en procesos como el de fritura, provoca el deterioro de los mismos, volviéndolos perjudiciales para la salud humana. Con frecuencia estos aceites son desechados de manera inadecuada, convirtiéndose en contaminantes para el medio ambiente, en especial las fuentes de agua. De acuerdo a un estudio realizado por la empresa Arc y Pieper, en el Ecuador se desechan 9.45 millones de litros de aceite para uso doméstico anualmente (Vásconez, 2018). Debido a esto, se requiere de una gestión adecuada de dichos aceites.

No obstante, los aceites usados pueden ser aprovechados como materia prima para la elaboración de otros productos tales como: lociones, jabones, biodiesel, pinturas y alimento para animales, esto luego de realizar varios tratamientos. Uno de ellos, que se puede aplicar son los procesos de centrifugación; por esta razón, en el presente trabajo, se realiza el diseño de una máquina centrifugadora de tres fases, con el fin de separar los componentes del aceite usado.

En el aspecto ambiental, el diseño minimiza el desecho de aceites usados en fuentes de agua para consumo humano, reduciendo los riesgos en la salud pública de las personas.

Considerando los aspectos sociales y económicos, un diseño de menor costo permite la posibilidad de que las personas lo vean como una oportunidad para realizar el reciclaje de dichos aceites con el fin de ser reutilizados en otros procesos de fabricación.

1.2 Justificación del proyecto

Se presume que en el país gran parte de los aceites vegetales utilizados tanto en hogares como en restaurantes no siguen un correcto proceso de desecho, ocasionando que estos terminen siendo desechados en lugares como lavamanos, alcantarillas, etc. En algunas ocasiones dichos aceites terminan en cuerpos hídricos produciendo contaminación y dificultando procesos tales como: potabilización del agua y tratamientos de aguas residuales (Castañeda, 2018).

Como parte de un proyecto de investigación en la FIMCP, se desea hacer una valorización sobre los aceites vegetales comestibles usados y cómo pueden ser aprovechados de mejor manera, mediante la reutilización de los mismos. Se considera que se pueden remover las impurezas presentes en ellos con el fin de ser reutilizados. En la actualidad, existe un gran interés en el aprovechamiento de aceites usados para la elaboración de biodiesel, jabones, alimentos para animales, entre otros.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una máquina centrifugadora que permita la separación y recolección de diferentes líquidos y sólidos para ser utilizada con aceites vegetales comestibles usados.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Seleccionar y simular el funcionamiento de los elementos mínimos necesarios que componen la máquina centrifugadora.
2. Simular el funcionamiento del proceso de separación de líquidos y sólidos dentro de la máquina centrifugadora.
3. Diseñar a detalle los elementos estructurales mecánicos y seleccionar los elementos de instrumentación para la construcción de la máquina.

4. Realizar un estudio económico y factibilidad de construcción de la maquina en base a la disponibilidad local de insumos.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Aceites vegetales.

Los aceites vegetales son un producto esencial en la vida de las personas ya que son utilizados en la elaboración de alimentos. Son compuestos hidrofóbicos constituidos por una mezcla de triglicéridos que poseen diferentes cadenas de ácidos grasos, considerados como un grupo de grasas que se obtienen a partir de cereales, semillas, nueces y frutas. Como se mencionó previamente, el uso más común de dichos aceites es en la elaboración y condimentación de alimentos, sin embargo, algunos de ellos poseen otras funciones siendo elementos importantes para la elaboración de productos farmacéuticos tales como: productos para la caída del cabello y cuidado de la piel (Krist, 2020).

La elaboración de biodiesel también forma parte de las aplicaciones que poseen los aceites vegetales. El biodiesel puede ser fabricado a partir de aceites vegetales tanto puros, así como también de aquellos que fueron utilizados en algún proceso de elaboración de alimentos permitiendo de esta forma que los mismos sean reutilizados (Caballero *et al.*, 2003).

1.4.1.1 Clasificación de los aceites vegetales

Los aceites vegetales se clasifican según el vegetal del cual son extraídos. La tabla 1.1 ilustra la clasificación de algunos de los aceites vegetales más comunes.

Tabla 1.1 Clasificación de aceites vegetales (Caballero *et al.*, 2003)

Nueces	Semillas	Cereales	Frutas
Almendras Brasil	Coco Palma (Palma africana) Girasol Cacahuete Manteca de cacao	Maíz Germen de trigo Salvado de arroz	Palma Oliva

	Semilla de algodón Soya Canola		
--	---	--	--

De los aceites previamente mostrados, los más comunes utilizados en la elaboración de alimentos son: Oliva, girasol, soya y palma.

1.4.1.2 Propiedades

Las propiedades tanto físicas como químicas de los aceites vegetales poseen un gran impacto al momento de utilizarlos en la preparación de alimentos.

Algunas de las propiedades más comunes de los aceites vegetales son:

- Densidad relativa: La densidad de un aceite es la relación en peso entre las unidades de volumen del aceite analizado y el agua (Krist, 2020).
- Viscosidad cinemática: Corresponde a la relación entre la viscosidad absoluta y la densidad del aceite. A medida que su temperatura aumenta, la viscosidad del mismo disminuye. Su unidad es el 'Stokes' (Pritchard, 2011).
- Punto de inflamabilidad: Corresponde a la temperatura en la cual el vapor que se encuentra sobre el aceite provocará una combustión (Treese *et al.*, 2015).
- Valor de saponificación: Corresponde a un valor que establece la cantidad de miligramos de KOH que se necesitan en 1 gramo de aceite para neutralizar los ácidos y ésteres presentes en el mismo (Krist, 2020).

Tabla 1.2 Propiedades de aceites vegetales usados para cocina (Samarth & Mahanwar, 2015)

Propiedades	Aceite de soya	Aceite de girasol	Aceite de palma	Aceite de oliva
Densidad relativa	0.922	0.923	0.899	0.914

Viscosidad cinemática [cSt]	8.080	9.020	2.500	24.100
Valor de saponificación [mg·KOH·]	189	186	234	187
Punto de inflamabilidad	240	315	250	225

1.4.1.3 Cambios químicos durante el proceso de fritura

Los aceites vegetales sufren cambios en su estructura al ser usados por un largo periodo de tiempo durante el proceso de fritura. Dichos cambios son en su mayoría químicos, a continuación, se presentan los cambios químicos más comunes durante dicho proceso:

Hidrólisis

Durante el proceso de fritura, el aceite posee contacto con el agua que contiene el alimento a una elevada temperatura, produciendo ácidos grasos y glicerol.

Degradación térmica

Ocurre cuando los triglicéridos se degradan a alta temperatura sin oxígeno, produciendo alcanos, alquenos, cetonas simétricas monóxido de carbono y dióxido de carbono durante el proceso.

Oxidación

Corresponde a una reacción que ocurre debido al contacto con el aire atmosférico, produciendo la formación de hidroperóxidos.

Polimerización

Corresponde a una reacción debido a la alta temperatura a la cual se encuentra sometido el aceite durante el proceso de fritura, dicha reacción ocurre en los ácidos grasos insaturados que lo conforma. Esto provoca la formación de: dímeros y polímeros de triglicéridos (Panadare & Rathod, 2015).

1.4.1.4 Composición química de los aceites vegetales usados

El uso prolongado de los aceites vegetales produce una alteración en sus propiedades, así como en la composición química de los ácidos grasos. Los cambios producidos dependen de factores como el tiempo

de cocción, la temperatura de cocción, el alimento que se cocinó, entre otros. En la tabla 1.3, se presenta una comparación de propiedades entre aceites vegetales puros y usados.

Tabla 1.3 Propiedades entre aceites puros y usados (Awogbemi et al., 2019)

	Aceite de girasol		Aceite de palma		Margarina	
	Puro	Usado	Puro	Usado	Puro	Usado
pH	7.38	5.34	6.34	5.73	6.39	5.13
Densidad @ 20°C [kg/m³]	919.21	920.40	919.48	904.30	919.72	917.18
Viscosidad @ 40°C [mm²/s]	28.74	31.38	27.96	44.24	29.33	40.93
Peso molecular [g/mol]	670.82	51.94	535.08	586.05	563.87	534.01

En la tabla 1.4, se presenta la composición en ácidos grasos de aceites vegetales puros y usados.

Tabla 1.4 Composición de ácidos grasos aceites vegetales puros y usados (Awogbemi et al., 2019)

	Aceite de girasol		Aceite de palma		Margarina	
	Puro	Usado	Puro	Usado	Puro	Usado
Ácido palmítico	32.21	0.36	-	-	8.07	43.20
Ácido linoleico	21.98	0.10	45.50	-	24.57	-
Ácido erúcico	-	0.26	6.83	-	-	-
Ácido caprílico	0.22	0.20	0.56	-	1.06	0.15
Ácido heptanoico	0.51	-	0.82	-	-	-
Ácido cáprico	0.51	-	2.43	-	2.84	-

Ácido esteárico	9.27	-	2.67	-	4.22	-
Ácido araquídico	12.36	-	-	-	-	-
Ácido láurico	-	-	0.86	-	0.83	-
Ácido oleico	-	0.8	-	0.72	-	18.02
Ácido undecanoico	-	-	-	-	-	1.85
Ácido nodedéclico	-	-	-	9.76	-	-

1.4.2 Tratamiento de aceites de cocina usados

Los aceites de cocina usados son considerados altamente peligrosos debido al impacto ambiental que puede provocar un manejo inadecuado de los mismos. Los tratamientos de los aceites de cocina usados se centran en dos aspectos: las estrategias de desecho-recolección y las estrategias de reconversión. El presente trabajo, se centra en los métodos que existen dentro de las estrategias de reconversión, pues estos aceites pueden ser empleados como materia prima en diversas industrias como la producción de combustible, alimento para animales, aditivos, entre otros.

1.4.2.1 Métodos para el tratamiento de aceites de cocina usados

Los métodos para el tratamiento de estos aceites se pueden clasificar en tratamientos químicos y físicos.

Los tratamientos químicos de los aceites se centran en los procesos de esterificación, que son reacciones químicas que ocurren entre un alcohol y un ácido para formar un éster. Cuando se emplea metanol se obtiene ésteres metílicos de ácidos grasos, mientras que cuando se emplea etanol se obtiene ésteres etílicos de ácidos grasos, ambos son empleados ampliamente en la producción de biodiesel. También existe otro proceso de esterificación que emplea glicerol ya que permite regenerar, hasta cierto punto, la composición original del aceite; éstos

son empleados en la industria alimenticia, farmacéutica y al igual que los anteriores en la producción de biodiesel.

Los tratamientos físicos buscan eliminar los residuos no deseados en dichos aceites. Se pueden aplicar tres tratamientos para lograr dicho objetivo:

1) Separación basada en su solubilidad

Debido a la inmiscibilidad del agua con los aceites, ésta es usada para remover químicos que se encuentren presentes en los aceites de cocina usados. Un ejemplo de este tratamiento es el proceso de desgomado que consiste en la remoción de fosfolípidos y gomas del aceite.

2) Separación mediante filtración

La separación de las partículas no deseadas del aceite de cocina usado es fundamental en el tratamiento del mismo. En la separación mediante filtración, consiste en emplear una membrana semipermeable que permite el paso de aceite mientras retiene el material no deseado, éstas membranas pueden estar elaborados de materiales cerámicos, metálicos o poliméricos.

3) Separación basada en su punto de ebullición

El proceso consiste en la destilación de los aceites vegetales usados, mediante el uso equipos en los cuáles los aceites son calentados en vacío. Mediante la destilación a presión reducida la fracción volátil es removida del aceite, que posteriormente puede ser empleado como materia prima en otras industrias (Manu *et al.*, 2020).

1.4.3 Máquina centrifugadora

Una máquina centrifugadora es un equipo cuyo objetivo es separar los diferentes componentes que se encuentran presentes dentro de un fluido, a través de la fuerza centrífuga. Este proceso toma lugar dentro de un contenedor dentro del equipo, en el cual el fluido es sometido a altas velocidad de giro, debido a la diferencia de densidad entre los diferentes componentes, los mismos son separados (Perry & Green, 2008).

1.4.3.1 Tipos de máquinas centrifugadoras

En términos generales, existen dos tipos de máquinas centrifugadoras para la separación sólido-líquido, que son: máquinas centrífugas de sedimentación y de filtración.

Máquinas centrifugadoras de sedimentación

Su funcionamiento es basado en la diferencia de densidades entre dos fases líquido-líquido o sólido-líquido, y entre tres fases: sólido-líquido-sólido o sólido-líquido-líquido. Las partículas sólidas dentro del equipo están sometidas a fuerzas centrífugas, las cuales provocan que dichas partículas sean desplazadas de manera radial del eje de rotación asentándose sobre la pared sólida del recipiente (Svarovsky, 2001a).

Una centrifugadora de sedimentación consiste en un recipiente sin perforaciones dentro de la cuál ingresa el fluido y gira a altas velocidades. La diferencia de densidades provoca que los componentes más densos sean desplazados hacia las paredes de la centrifugadora, mientras que los menos densos permanecen en el centro, donde posteriormente son extraídos, el material más denso puede permanecer dentro del recipiente o ser descargado de forma continua (Svarovsky, 2001b).

Máquinas centrifugadoras de filtración

Su funcionamiento está basado en las fuerzas centrífugas que actúan sobre el fluido, sin embargo, a diferencia de las centrifugadoras de sedimentación no requieren de una diferencia de densidades entre los diferentes componentes que se encuentran en el fluido.

Todas las fases del fluido son impulsadas por las fuerzas centrífugas para que pasen a través del filtro. El fluido penetra el filtro mientras que los materiales sólidos son retenidos formando una capa llamada "cake", eventualmente dicha capa también actúa como otro filtro en serie. A diferencia de las máquinas centrifugadoras de sedimentación, éstas sólo

pueden ser empleados para la separación en dos fases sólido-líquido (Leung, 2007a).

1.4.3.2 Principales máquinas centrifugadoras

Las máquinas centrifugadoras más comunes que existen a nivel comercial son las centrifugadoras de disco y los decantadores.

Centrifugadoras de disco

Estas máquinas poseen un recipiente que gira alrededor de un eje vertical. El fluido ingresa a través de tuberías que se encuentran ubicadas cerca del eje de rotación del recipiente. El fluido es acelerado hasta alcanzar las velocidades de operación mediante un ensamble de paletas de forma radial, haciendo que fluya a través de una pila de discos que se encuentran a poca distancia entre ellos. Generalmente se emplean entre 50 a 150 discos, apilados a una distancia entre 0.4 a 3 mm entre los mismos. Cuando el líquido es sometido a las fuerzas centrífugas las partículas sólidas se asientan en la parte posterior de los discos y se desplazan hasta llegar a las paredes del recipiente donde posteriormente son extraídos. Los discos cuentan con agujeros espaciados uniformemente a lo largo de su circunferencia por donde fluye el líquido. El líquido se acumula en la parte superior del equipo y eventualmente son descargados (Perry & Green, 2008).

Centrífugas decantadoras

Las centrifugadoras decantadoras poseen un tornillo sin fin dentro de su recipiente y ambos giran alrededor de un eje horizontal. Tanto el recipiente como el tornillo sin fin giran a altas velocidades, no obstante, existe una diferencia de velocidad entre los mismos, lo que permite el transporte de las partículas sólidas desde el recipiente hasta la zona de descarga. Debido al equilibrio dinámico que se genera en el interior, tanto los sólidos como los líquidos involucrados adquieren una determinada posición radial dentro de la decantadora la cual depende de la magnitud de sus densidades. Comúnmente, las fases líquidas son eliminadas por diferentes agujeros siendo el agujero con el menor radio

utilizado para la eliminación del líquido más ligero (Woon-Fong Leung, 2020).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En la figura 2.1 se muestra la metodología que se empleó para el desarrollo del diseño de la máquina centrifugadora.

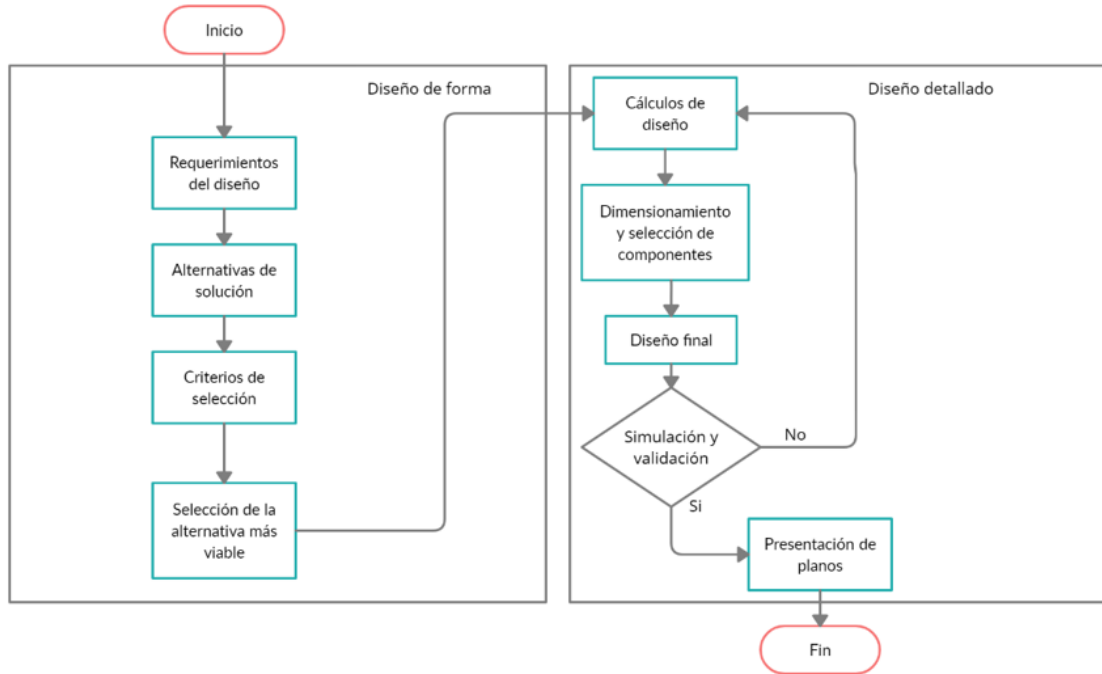


Figura 2. 1 Metodología de diseño [Elaboración propia]

Por otro lado, para ilustrar los factores involucrados en el diseño realizado se utilizó los procesos de diseño denominados 'caja negra' y 'caja transparente', ilustrados en las figuras 2.2 y 2.3 respectivamente.



Figura 2. 2 Caja negra [Elaboración propia]

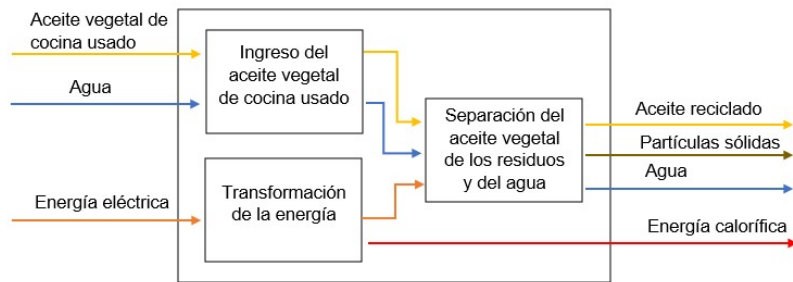


Figura 2. 3 Caja transparente [Elaboración propia]

2.1 Diseño de forma

2.1.1 Requerimientos del diseño

Para definir los requerimientos del diseño fue necesario conocer las especificaciones del cliente, con el fin de realizar un análisis del diseño a desarrollar. Luego de reuniones con el cliente se determinaron los siguientes requerimientos:

- Tamaño moderado
- Flujo de operación 8 GPM
- Fuerza G suficiente para la separación de los componentes del fluido
- Fluido de trabajo, aceite vegetal de cocina usado
- Temperatura de operación máxima de 55°C
- Propiedades de aceite vegetal de cocina usado

2.1.2 Especificaciones del diseño

Los parámetros establecidos en la tabla 2.1, permiten satisfacer los requerimientos del diseño del cliente y, al mismo tiempo, se adaptan con los parámetros de operación definidos por fabricantes de máquinas centrifugadoras para cumplir con la funcionalidad de los mismos.

Tabla 2. 1 Especificaciones de diseño [Elaboración propia]

Diámetro del recipiente	12 in
Caudal de operación	8 GPM
Velocidad de rotación	5500-7000 RPM

Fuerza G	5500-11000 g
Material	AISI 304
Temperatura de operación	45-55°C
Densidad del fluido de operación	900 kg/m ³
Viscosidad del fluido de operación	32 mm ² /s

2.1.3 Alternativas de solución

Las alternativas de solución planteadas fueron 3, las cuales se detallan a continuación:

- **Alternativa 1 (Centrifugadora de discos)**

La centrifugadora de discos es una máquina capaz de separar líquidos inmiscibles y partículas de sólidos encontradas en un fluido. Posee un recipiente que gira alrededor de un eje vertical. Se encuentra diseñada con discos en forma de cono. Debido a dichas características son capaces de producir fuerzas G mayores a 7000g (Dolphin Centrifuge, 2020c). Debido a las fuerzas G generadas, las partículas de sólidos se sedimentan en la superficie de los discos para que luego estas sean expulsadas hacia la periferia del recipiente. El tamaño de partículas que esta centrifugadora maneja está en el rango de 0.5 μ m a 1 mm (Dolphin Centrifuge, 2020b).

- **Alternativa 2 (Centrifuga decantadora)**

La centrifugadora decantadora consiste en una máquina en el que su recipiente gira alrededor de un eje horizontal, es capaz de producir fuerzas G mayores a 4000g (Dolphin Centrifuge, 2020a). Su funcionamiento se basa en un recipiente giratorio el cual posee una especie de tornillo sin fin, cuya particularidad es que posee una velocidad de giro diferente a la del recipiente razón por la cual los sólidos son expulsados hacia el extremo del decantador. El tamaño de partícula que separa está en el rango de 50 μ m a 10 mm (Dolphin Centrifuge, 2020b).

- **Alternativa 3 (Centrifugadoras de filtro)**

Las centrifugadoras de filtro, a diferencia de las previamente mencionadas, utilizan una especie de filtro colocado en las paredes del recipiente. A

medida que se introduce la mezcla, la parte líquida se filtra a través de perforaciones realizadas en el recipiente, pasando por medio de los sólidos que se encuentran atrapados en el filtro previamente mencionado. Pueden producir fuerzas G en un rango que va desde 30g hasta 1000g. El tamaño de partícula que manejan se encuentra entre 2 μm a 300 μm (Perry & Green, 2008).

2.1.4 Criterios de diseño

Con el fin de encontrar la mejor alternativa de diseño, fue necesario realizar una matriz de decisión en la cual se establecieron ciertos criterios los cuales se detallan a continuación:

- Costo de producción: Este criterio hace referencia al valor que costaría la manufactura del diseño.
- Mantenimiento: Este criterio hace referencia a la facilidad de mantenimiento que poseen las diversas alternativas de diseño.
- Capacidad de filtración: Este criterio hace referencia a la cantidad de sólidos capaz de ser filtrados por medio de las diferentes alternativas.
- Tamaño: Este criterio hace referencia a las dimensiones que poseen las alternativas comúnmente en el mercado.
- Rendimiento: Este criterio hace referencia a la relación entre el caudal (medido en GPM) de aceite vegetal usado que se va filtra y el costo necesario para realizar la operación.

En la tabla 2.2 se encuentra la ponderación de los diversos criterios de acuerdo con la importancia que posee cada uno en comparación de otro. Para realizar dicha tabla se compararon los criterios en una escala del 0-10, siendo 0 menos importante y 10 más importante.

Tabla 2. 2 Criterios de diseño [Elaboración propia]

Criterio	Costo de producción	Mantenimiento	Capacidad de filtración	Tamaño	Rendimiento	Total	Peso relativo (%)
----------	---------------------	---------------	-------------------------	--------	-------------	-------	-------------------

Costo de producción	5	7	8	8	3	31	24.80
Mantenimiento	3	5	9	9	6	32	25.60
Capacidad de filtración	2	1	5	7	2	17	13.60
Tamaño	2	1	3	5	1	12	9.60
Rendimiento	7	4	8	9	5	33	26.40
Total						125	100

El rendimiento fue el criterio que obtuvo mayor peso, debido a que se espera que el diseño sea capaz de procesar la mayor cantidad de fluido al menor costo posible. El mantenimiento fue el segundo criterio más importante, puesto que es necesario para aumentar la vida útil de la máquina y reducir los costos en compra de repuestos producto de averías. El siguiente criterio de mayor valor fue el costo de producción, puesto que uno de los objetivos del diseño es conocer la viabilidad económica de fabricar una máquina centrifugadora. La capacidad de filtración fue el siguiente criterio con mayor valor, esto debido a que existen restricciones en cuanto al tamaño de la partícula, sin embargo, existen procesos posteriores, a través de los cuales se puede mejorar la cantidad de sólidos removidos. Finalmente, el criterio de menor valor fue el tamaño, puesto a que sólo se indicó que el tamaño sea moderado, para que no existan inconvenientes en caso de que se ubique en un laboratorio.

Tabla 2. 3 Matriz de decisión [Elaboración propia]

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
			
Costo de producción	8	4	7
Mantenimiento	9	3	6

Capacidad de filtración	7	6	8
Tamaño	7	5	7
Rendimiento	8	7	7
Total	8.02	4.90	6.88

Se determinó que la opción más viable es una centrifugadora de discos, debido a que la ponderación fue la mayor en comparación con las otras alternativas.

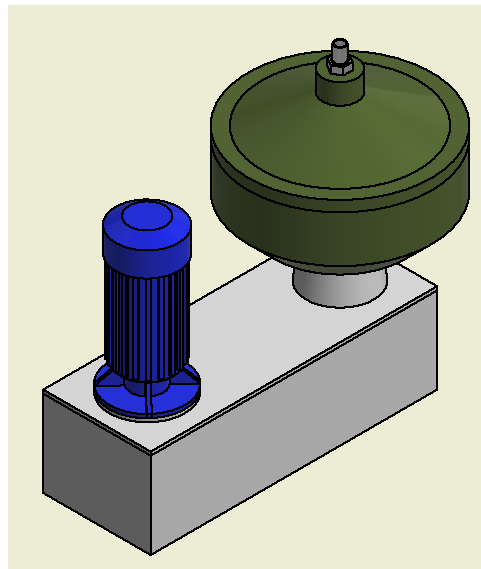


Figura 2. 4 Diseño de forma de la máquina centrifugadora [Autodesk Inventor Student, 2020]

2.2 Diseño detallado

2.2.1 Sistema de entrada a la centrifugadora

Para el caso del diseño detallado se tuvo que analizar el sistema de entrada que se encontraba en la centrifugadora, el cual se muestra en la figura 2.5 a continuación:

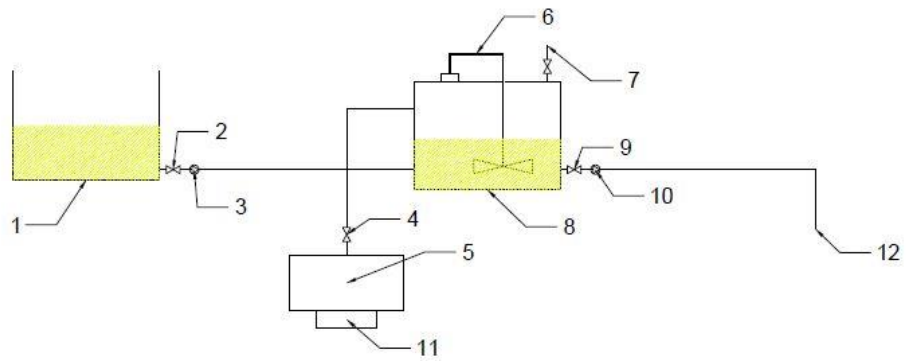


Figura 2. 5 Sistema de entrada del aceite [Autodesk AutoCAD, 2020]

1. Tanque de almacenamiento de aceite usado
2. Válvula
3. Bomba
4. Válvula de flujo de vapor
5. Tanque de vapor
6. Mezclador
7. Válvula de salida de vapor
8. Tanque de mezcla de vapor con aceite
9. Válvula de entrada para centrifugadora
10. Bomba de entrada para centrifugadora
11. Calentador
12. Entrada de centrifugadora

Las tuberías utilizadas para este caso corresponden a tuberías de acero inoxidable AISI 304 de 1 in, ya que son muy empleadas en la industria alimenticia para el traslado de aceites.

Para calcular el cabezal requerido para la bomba se aplicó el principio de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\rho_{aceite} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_1^2 + h_b + z_1 = \frac{P_2}{\rho_{aceite} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_2^2 + h_L + z_2 \quad (2.1)$$

Donde:

P_1 : Presión del aceite a la entrada [Pa]

P_2 : Presión del aceite a la salida [Pa]

ρ_{aceite} : Densidad del aceite usado [kg/m³]

V_1 : Velocidad del aceite a la entrada [m/s]

V_2 : Velocidad del aceite a la salida [m/s]

z_1 : Altura 1 [m]

z_2 : Altura 2 [m]

h_L : Pérdidas mayores y menores [m]

Las pérdidas debido a tubería y accesorios se calcularon mediante la siguiente ecuación:

$$h_L = \frac{1}{2} * \frac{V^2}{g} * \left(\frac{f * L}{D_{tubería}} + \sum K_{accesorios} \right) \quad (2.2)$$

Donde:

h_L : Pérdidas mayores y menores [m]

V: Velocidad en la tubería [m/s]

g: Gravedad [m/s²]

f: Coeficiente de fricción

L: Longitud de tubería [m]

$D_{tubería}$: Diámetro de tubería [m]

$\sum K_{accesorios}$: Sumatoria de coeficientes de pérdidas menores

La potencia requerida de la bomba con la siguiente ecuación:

$$P = \rho_{aceite} * g * Q_{aceite} * h_b \quad (2.3)$$

Donde:

P: Potencia de la bomba [W]

ρ_{aceite} : Densidad del aceite usado [kg/m³]

g: Gravedad [m/s²]

Q_{aceite} : Flujo volumétrico del aceite [m³/s]

h_b : Cabezal de la bomba [m]

Para determinar la cantidad de vapor necesario para calentar el flujo de aceite enviado al segundo tanque de almacenamiento fue necesario realizar un análisis termodinámico:

$$Q_{perdido\ por\ el\ vapor} = Q_{ganado\ por\ el\ aceite} \quad (2.4)$$

Debido a que se conocía tanto el flujo como el calor específico del aceite fue posible determinar la cantidad de calor que se necesitaba para aumentar su temperatura desde 24°C a 49°C (Jeff T. Deweese, s/f).

$$Q_{\text{ganado por el aceite}} = \dot{m}_{\text{aceite}} * C_{p \text{ aceite}} * (T_2 - T_1) \quad (2.5)$$

Donde:

$Q_{\text{ganado por el aceite}}$: Calor absorbido por el aceite [kJ/s]

\dot{m}_{aceite} : Flujo másico de aceite [kg/s]

$C_{p \text{ aceite}}$: Calor específico del aceite [kJ/kg*K]

T_1 : Temperatura inicial del aceite [°C]

T_2 : Temperatura final del aceite [°C]

La siguiente ecuación es utilizada para determinar el flujo másico de vapor requerido:

$$Q_{\text{perdido por el vapor}} = \dot{m}_{\text{vapor}} * (h_2 - h_1) \quad (2.6)$$

Donde:

$Q_{\text{perdido por el vapor}}$: Calor entregado por el vapor [kJ/s]

h_1 : Entalpía del vapor a su temperatura inicial [kJ/kg]

h_2 : Entalpía del vapor a su temperatura final [kJ/kg]

En la sección de apéndices se encuentra el cálculo detallado de cada una de las ecuaciones previamente mencionadas.

2.2.2 Dimensiones de la centrifugadora

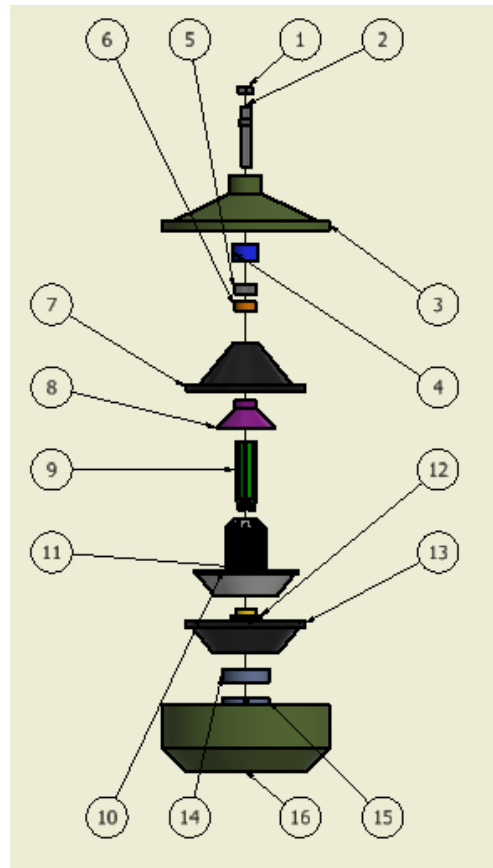


Figura 2. 6 Elementos de la máquina centrifugadora [Autodesk Inventor Student, 2020]

1. Tuerca
2. Tubería de alimentación
3. Carcasa superior
4. Cámara para agua
5. Disco de gravedad
6. Cámara para aceite
7. Cono superior
8. Disco superior
9. Distribuidor de aceite
10. Discos (50)
11. Tazón inferior
12. Acople
13. Cono inferior

14. Water disc superior
15. Water disc inferior
16. Carcasa inferior

El dimensionamiento de los distintos componentes que integran la máquina centrífuga fue realizado usando como referencia algunos equipos de fabricantes, como la serie PX (ALFA LAVAL, s/f), y las series SELFJECTOR GENIUS (MITSUBISHI, s/f-a) y FUTURE (MITSUBISHI, s/f-b). Los elementos de la centrífuga son de acero inoxidable AISI 304, puesto que poseen una alta resistencia a la acidez del aceite de cocina (Thomas & Betts, s/f).

Aceleración radial

Las partículas en el interior de la centrífuga están sometidas a fuerzas centrífugas que son perpendiculares a la trayectoria, la aceleración radial está en la misma dirección de la fuerza centrífuga y su magnitud se determina mediante la ecuación 2.7

$$a_r = \omega^2 * R \quad (2.7)$$

Donde:

a_r : Aceleración radial [m/s²]

ω : Velocidad angular [rad/s]

R : Radio del recipiente [m]

Velocidad tangencial

Un fluido que rota como un cuerpo sólido experimenta una velocidad tangencial, cuyo valor se determina mediante la ecuación 2.8

$$v_t = \omega * R \quad (2.8)$$

Donde

v_t : Velocidad tangencial [m/s]

ω : Velocidad angular [rad/s]

R : Radio del recipiente [m]

Fuerza G

La ecuación 2.9 determina la fuerza G que es una medida de la aceleración que experimenta un cuerpo, y se mide en múltiplos de la aceleración gravitacional.

$$\frac{G}{g} = 0.000559 * \omega^2 * r_p \quad (2.9)$$

Donde

G: Fuerza G [g]

ω : Velocidad angular [rad/s]

R: Radio del recipiente [m]

- Tubería de alimentación

Las dimensiones de la tubería de alimentación fueron determinadas a partir del tamaño de tubería que se emplea en el sistema de alimentación de la centrifugadora. Además, posee una sección roscada que le permite sujetarse a la carcasa superior mediante una tuerca.

- Distribuidor de aceite

El diámetro interno del distribuidor fue seleccionado para que sea ligeramente mayor al diámetro exterior de la tubería de alimentación, lo que permite una mayor facilidad en el montaje y desmontaje de las piezas. El distribuidor posee unas protuberancias en forma de rieles que permite alinear tanto al disco superior como cada uno de los discos que conforman la pila. Las dimensiones de dichas protuberancias fueron seleccionadas teniendo en cuenta el radio de los discos, y el espacio necesario para que el aceite pueda ascender hasta la cámara de aceite.

- Cámara para agua y aceite

Las dimensiones de las cámaras fueron escogidas considerando los diámetros tanto del distribuidor como del disco superior, pues es donde se almacenarán los fluidos separados. Por lo que sus dimensiones deben ser

los adecuados para asegurar que sólo el fluido deseado sea almacenado en dichas cámaras.

- Cono superior, cono inferior y tazón inferior

Las dimensiones de estos componentes fueron determinadas usando como referencia los valores de las empresas fabricantes, luego fueron escaladas para cumplir con los requerimientos de diseño. Las medidas se presentan en la figura 2.7

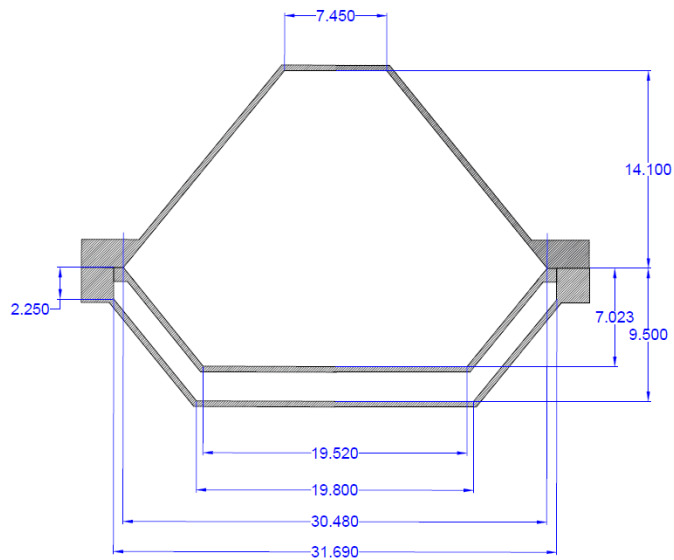


Figura 2. 7 Dimensiones de la centrifugadora [Autodesk AutoCAD, 2020]

Área Lateral

El área lateral de los componentes corresponde al área lateral de un cono truncado, se determinó mediante la ecuación 2.10

$$A_L = \pi * \sqrt{h^2 + (R - r)^2} * (R + r) \quad (2.10)$$

Donde:

A_L : Área lateral [cm²]

R : Radio mayor del cono truncado [cm]

r : Radio menor del cono truncado [cm]

h : Altura del cono truncado [cm]

Volumen

El volumen total que cada componente puede abarcar se calculó mediante la ecuación 2.11

$$V = \frac{\pi * h}{3} * (r^2 + R^2 + r * R) \quad (2.11)$$

Donde:

V : Volumen [cm^3]

R : Radio mayor del cono truncado [cm]

r : Radio menor del cono truncado [cm]

h : Altura del cono truncado [cm]

Presión en el interior del recipiente

La energía cinética producto del movimiento del fluido provoca una presión en el interior del recipiente, sobre las paredes del cono superior y el tazón inferior. La magnitud de dicha presión se determinó mediante la ecuación 2.12

$$P = \frac{1}{2} \rho v_t^2 \quad (2.12)$$

Donde

P : Presión en el interior del recipiente [Pa]

ρ : Densidad del aceite [kg/m^3]

v_t : Velocidad tangencial [m/s]

Espesor de plancha

El espesor mínimo de plancha necesario para soportar el esfuerzo tangencial se determinó mediante la ecuación 2.13

$$t = \frac{P * D}{2 * \sigma_t} \quad (2.13)$$

Donde

t : Espesor de plancha [m]

P : Presión en el interior del recipiente [Pa]

σ_t : Esfuerzo de tangencial [Pa]

D : Diámetro del recipiente [m]

- Disco

El diámetro del disco fue determinado considerando el espacio disponible en el interior de la máquina centrifugadora. Generalmente, el ángulo de inclinación de los discos se encuentra en un rango entre 35°-50°, mientras que la separación de las mismas se encuentra entre 0.3 a 1 mm, esto se logra mediante protrusiones en la superficie de los discos. El número de discos varía entre 50 hasta 300 dependiendo de la disponibilidad del espacio (Leung, 2007b). Los orificios en los discos permiten al aceite fluir a través de la pila de discos, mejorando la separación de los componentes en el fluido. La cara superior del disco posee unas ranuras, permitiendo a los discos alinearse al distribuidor de aceite y evitando desajustes que comprometan el proceso de separación.

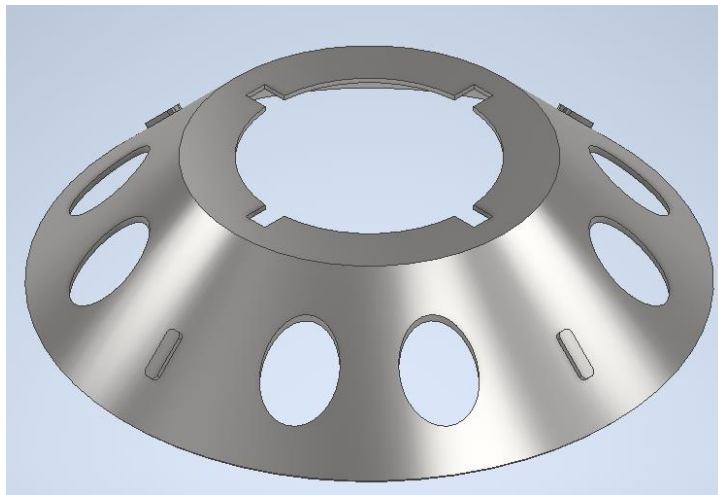


Figura 2. 8 Disco de centrifugado [Autodesk Inventor Student, 2020]

Velocidad neta de la partícula

La velocidad neta en la dirección x de la partícula, entre los discos se calculó mediante la ecuación 2.14 (Ochoa, s/f).

$$v_x = \left(\frac{3Q}{4\pi r a} \right) \left[1 - \left(\frac{2y}{a} \right)^2 \right] \quad (2.14)$$

Donde

v_x : Velocidad neta en la dirección x [m/s]

Q : Flujo volumétrico del aceite [m³/s]

n : Número de espacios en la pila de discos

r : Radio del disco [m]

a : Separación entre discos [m]

y : Posición de la partícula en el eje y [m]

Variación de presión en los discos

La diferencia entre la presión a la entrada y a la salida de los discos se calcula mediante la ecuación 2.15 (Ochoa, s/f).

$$\Delta P = \frac{6Q\mu L}{n\pi a^3 r} \quad (2.15)$$

Donde

ΔP : Diferencia de presión entre la entrada y salida de los discos [Pa]

Q : Flujo volumétrico del aceite [m³/s]

n : Número de espacios en la pila de discos

r : Radio del disco [m]

a : Separación entre discos [m]

L : Longitud del disco [m]

μ : Viscosidad dinámica [Pa*s]

- Water disc superior e inferior

Las dimensiones de los componentes fueron determinados considerando el espacio disponible en la parte inferior del cono inferior, así como la cantidad de agua necesaria para hacer operar el sistema de agua de operación. El disco inferior posee dos tuberías ubicadas a cada lado por donde entra y sale agua, la dimensión de dicha tubería se definió conforme al tamaño que posee la tubería del sistema de agua de operación.

2.2.3 Sistema de agua de operación

Los desechos sólidos se acumulan en las paredes del cono superior y del tazón inferior, para descargar dichos desechos, el tazón inferior funciona a manera de pistón. Cuando existe la cantidad adecuada de desechos acumulados, el tazón inferior desciende permitiendo la descarga de los mismos, luego asciende sellando el volumen, evitando de esta manera que

el fluido se escape durante la operación. Los movimientos del tazón fueron controlados empleando agua de operación, y la diferencia de presiones que se produce en la parte superior e inferior del tazón. La presión en la parte superior del tazón se produce debido a la energía cinética del fluido de trabajo en rotación, mientras que la presión en la parte inferior del tazón se produce debida energía cinética del agua en rotación.

2.2.4 Sistema de transmisión

- Diseño de eje

Para el diseño del eje de transmisión se empleó la siguiente ecuación en cada uno de los tramos donde el eje experimentará torsión o momento:

$$D = \left(\frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{K_t * M}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{1/3} \quad (2.16)$$

Donde:

D : Diámetro del eje [m]

N : Factor de seguridad

K_t : Coeficiente 'Keayseat'

M : Momento aplicado [N*m]

T : Torque aplicado [N*m]

S_y : Esfuerzo de fluencia [MPa]

S_e : Límite de resistencia a la fatiga.

- Selección del motor

La selección del motor se la realizó calculando la potencia necesaria que debe tener el mismo para vencer la inercia de toda la máquina, las siguientes ecuaciones se emplearon para realizar esto:

$$T = I_{total} * \alpha \quad (2.17)$$

Donde:

T : Torque requerido [N*m]

I_{total} : Inercia total de la máquina [kg * m²]

α : Aceleración angular de la máquina [rad/s²]

Una vez calculado dicho torque se procede a calcular la potencia necesaria del motor:

$$P = T * \omega \quad (2.18)$$

Donde:

P: Potencia requerida [kW]

T: Torque requerido [N*m]

ω : Velocidad angular [rad/s]

La potencia del motor fue transmitida a través de bandas, para realizar esto fue necesario calcular el diámetro de las poleas a utilizar:

$$\omega_{motor} * d_{polea\ motor} = \omega_{operación} * d_{polea\ eje} \quad (2.19)$$

Donde:

ω_{motor} : Velocidad angular del motor [rad/s]

$d_{polea\ motor}$: Diámetro de la polea conectada al motor [m]

$d_{polea\ eje}$: Diámetro de la polea conectada al eje [m]

ω_{motor} : Velocidad angular del eje [rad/s]

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Sistema de entrada

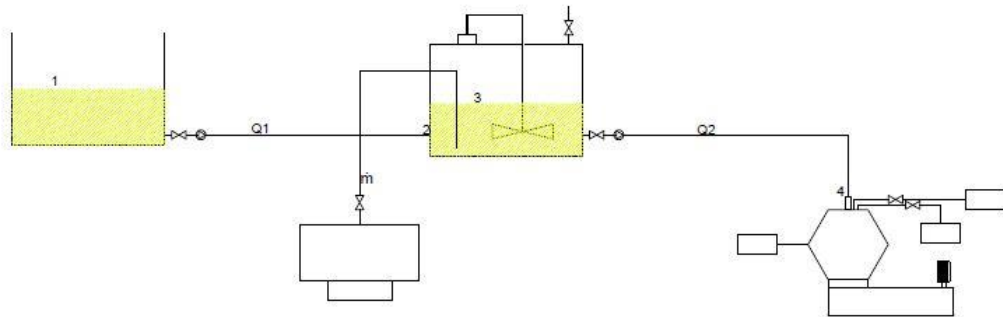


Figura 3. 1 Sistema de entrada [Autodesk AutoCAD, 2020]

A continuación, se presentan los resultados de presiones y caudales obtenidos mediante el análisis del sistema de entrada. Los cálculos detallados se encuentran en la sección de apéndice A.

Tabla 3. 1 Resultados del sistema de entrada [Elaboración propia]

Caudales [gpm]	$Q_1 : 10$ $Q_2: 8$
Flujo de vapor \dot{m} [kg/s]	3.22
Presiones [kPa]	$P_1: 101.32$ $P_2: 103.05$ $P_3: 104.87$ $P_4: 111.87$

3.2 Máquina centrífuga

En esta sección, se presentan las dimensiones de algunos de los elementos que componen la máquina centrífuga. En la sección de Apéndices se encuentran los planos detallados.

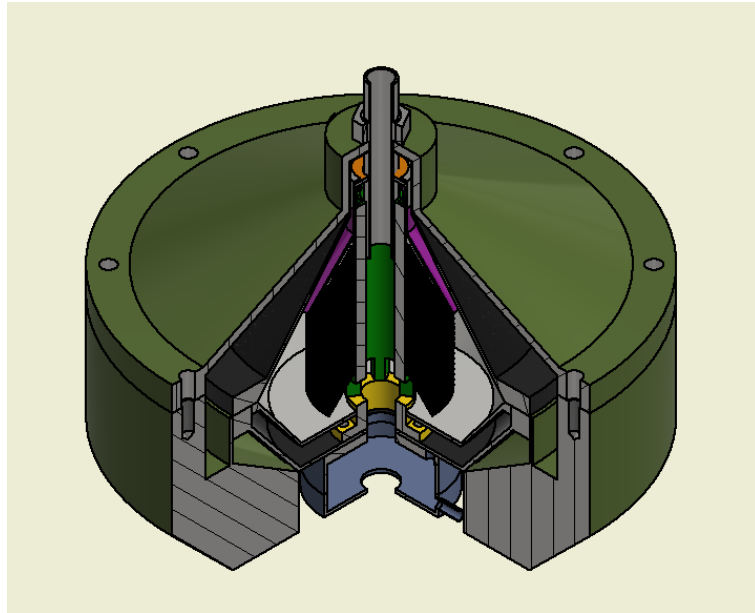


Figura 3. 2 Vista interior de la máquina [Autodesk Inventor Student, 2020]

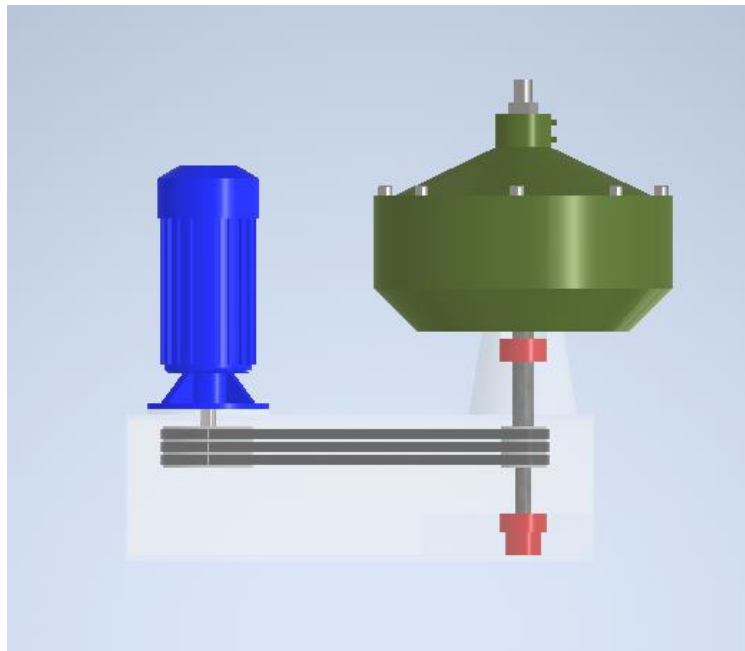


Figura 3. 3 Sistema de transmisión [Autodesk Inventor Student, 2020]

3.2.1 Dimensionamiento de los discos

La centrifugadora poseía una pila de 50 discos fabricados de planchas AISI 304 con un espesor de 1 mm. El disco fue diseñado con un ángulo de 45° y 4 protusiones de 1 mm cada 90°, además contaba con 8 orificios de 7.50 mm de radio.

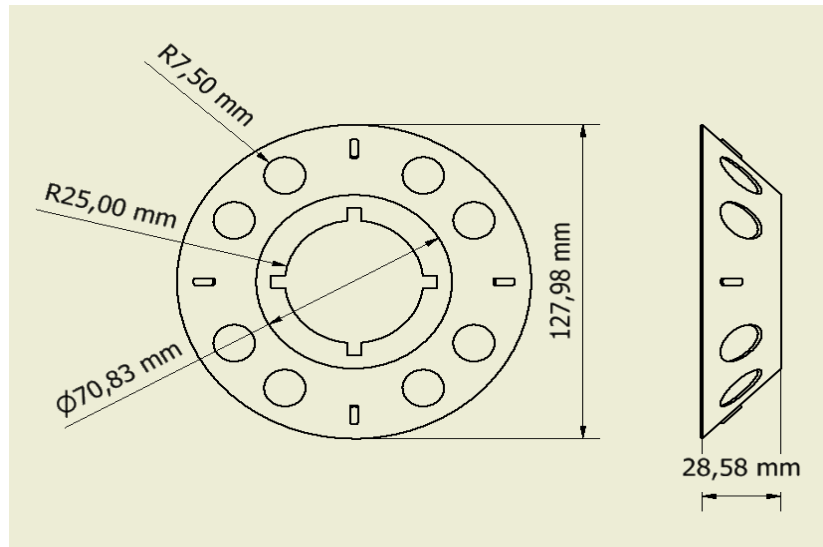


Figura 3. 4 Dimensiones de los discos [Autodesk Inventor Student, 2020]

3.2.2 Dimensionamiento del distribuidor

El distribuidor fue elaborado de un eje de material AISI 304. El diámetro interior, por donde ingresaba el fluido de trabajo, es de 35 mm. El distribuidor poseía 4 rieles separados a 90°, de longitud 176 mm y un área transversal de 5 x 10.15 mm, donde se colocaban los discos.

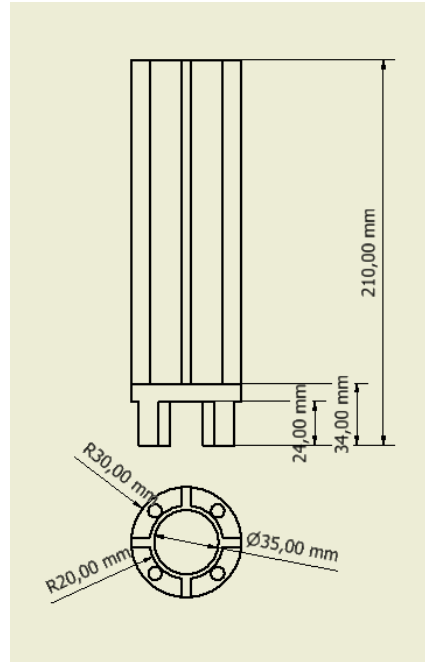


Figura 3. 5 Dimensiones del distribuidor [Autodesk Inventor Student, 2020]

3.3 Simulación del equipo

3.3.1 Simulación elemento estructural

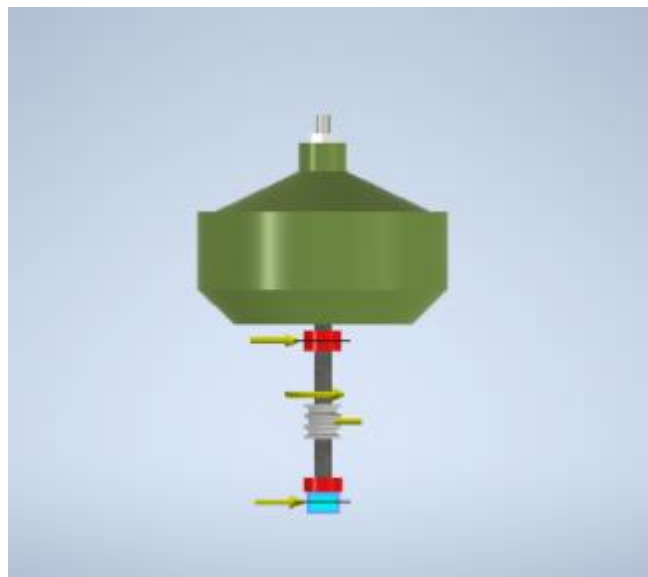


Figura 3. 6 Estructura de la máquina con las fuerzas aplicadas [Autodesk Inventor Student, 2020]

Se realizó la simulación de la parte estructural de la centrifugadora mediante la aplicación de las fuerzas ejercidas sobre el eje. El eje, cuya

función era realizar la rotación de la máquina, fue diseñado de acero AISI 304. Posee una longitud de 480 mm y 3 secciones con diámetros de: 30 mm, 32 mm y 35mm respectivamente.

Las fuerzas que actúan sobre el mismo se detallan a continuación:

Tabla 3. 2 Resultados de fuerzas y torque aplicado sobre el eje
[Elaboración propia]

Fuerzas en rodamientos [N]	161.46
	236.80
Fuerzas en polea [N]	239.69
	158.57
Torque aplicado [N*m]	7.63

La figura 3.7 y 3.8 presentan los esfuerzos de Von Mises y la deformación del eje durante el funcionamiento de la máquina.

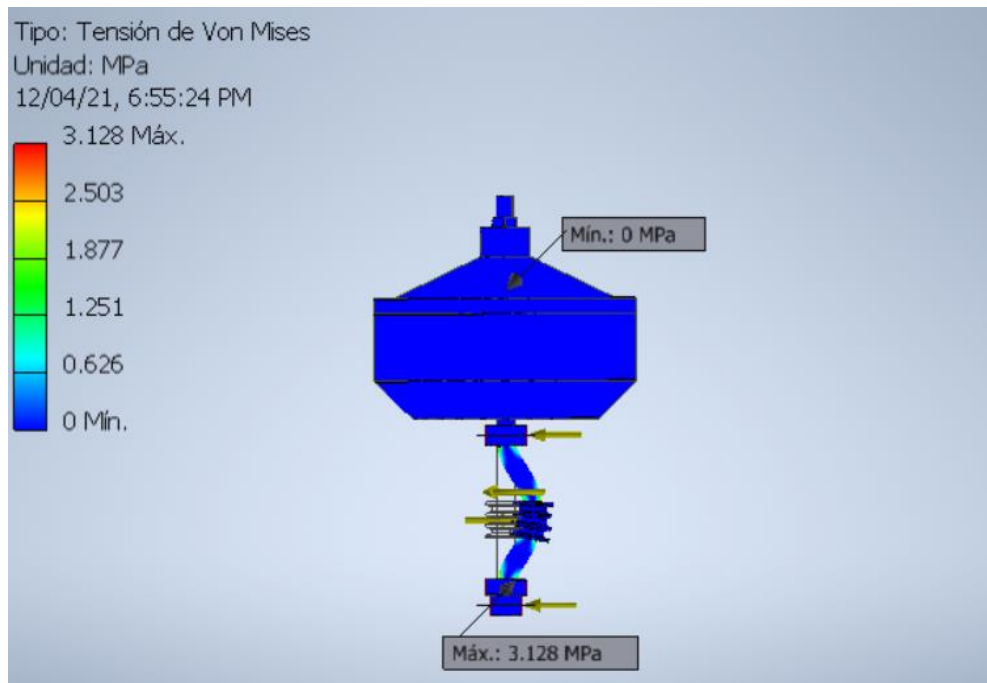


Figura 3. 7 Esfuerzos de Von Mises [Autodesk Inventor Student, 2020]

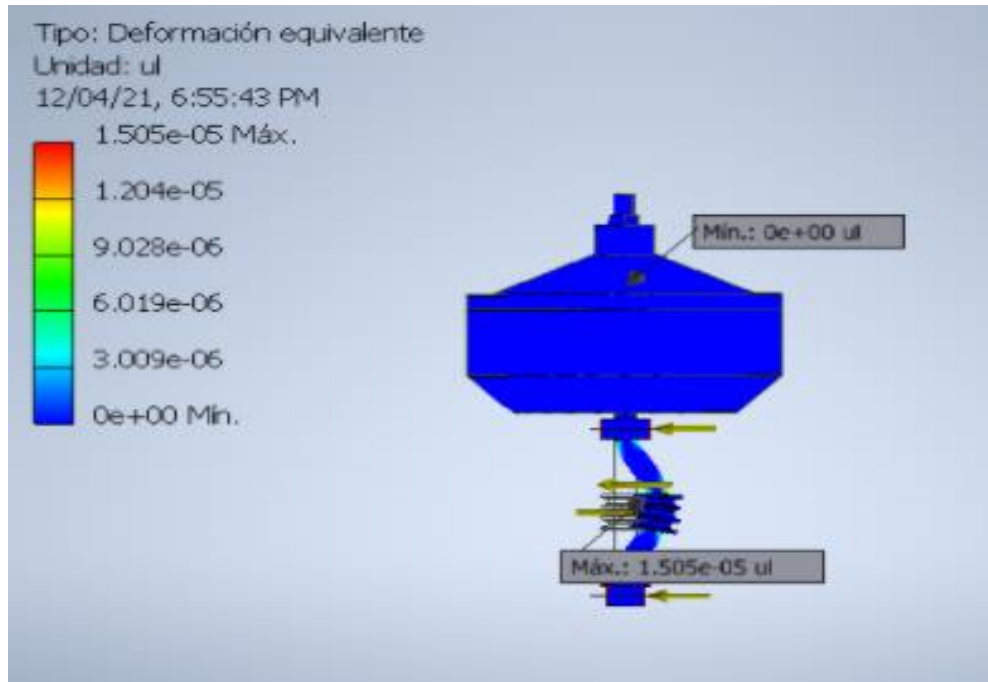


Figura 3. 8 Deformación en el eje [Autodesk Inventor Student, 2020]

3.3.2 Simulación ANSYS Fluent

En esta sección se presentan los resultados de simulaciones realizadas para analizar el comportamiento del fluido dentro de la misma. En la sección de Apéndice B, se detalla las condiciones de borde y el setup realizado.

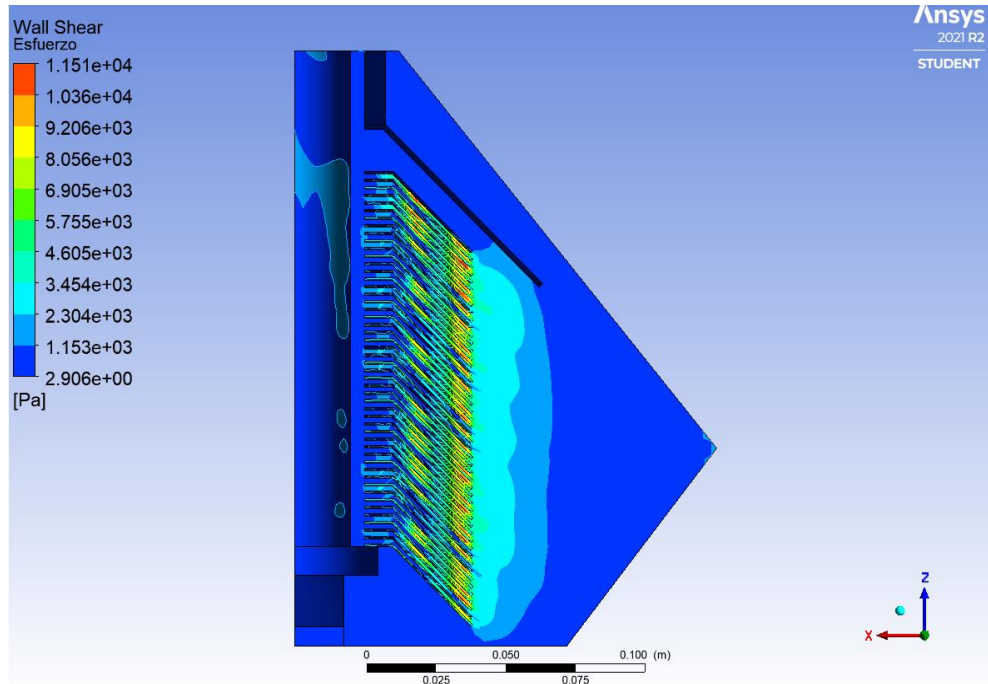


Figura 3. 9 Esfuerzos cortantes en el interior de la centrifugadora [Ansys Student, 2021]

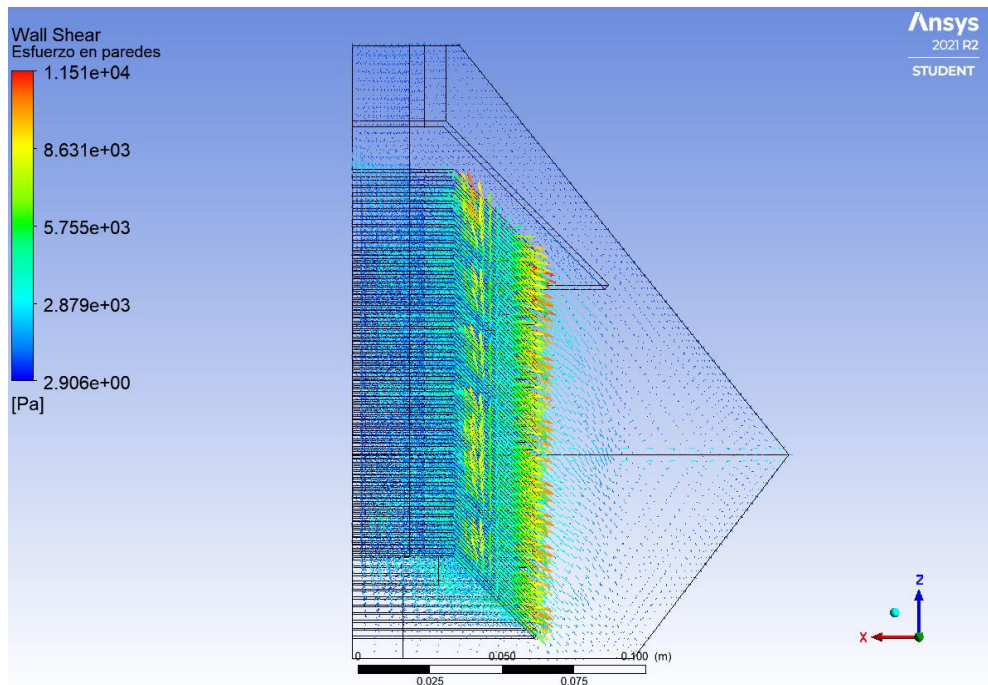


Figura 3. 10 Vectores de esfuerzos cortantes en el interior de la centrifugadora [Ansys Student, 2021]

En la figura 3.9, se presenta el contorno del esfuerzo cortante sobre las paredes del recipiente.

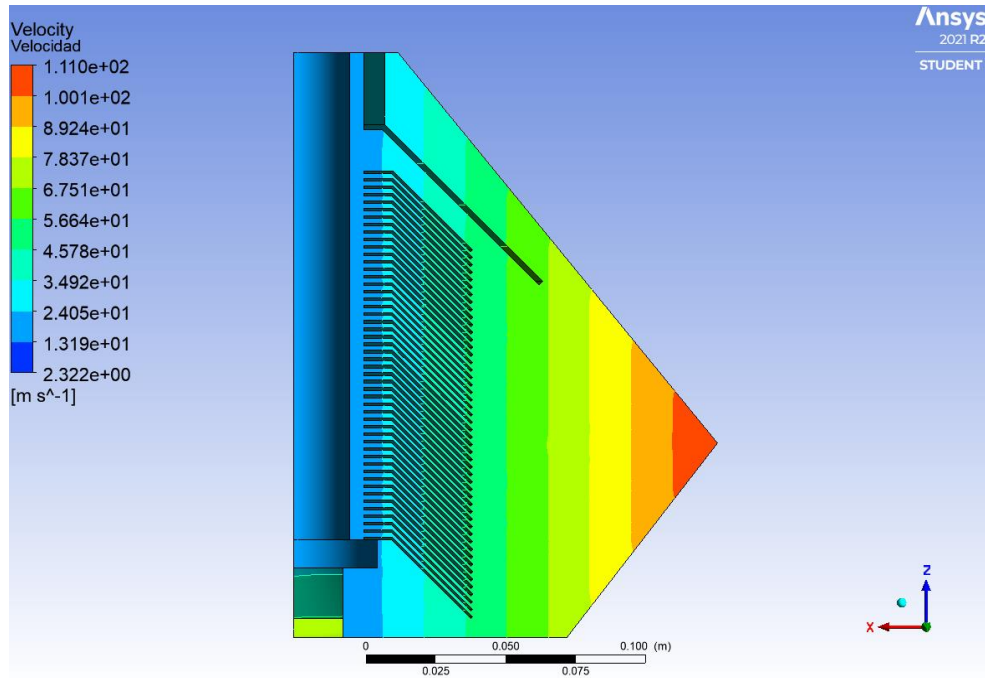


Figura 3. 11 Velocidad del fluido en el interior de la centrifugadora [Ansys Student, 2021]

La figura 3.11 muestra el contorno de velocidades en el interior de la centrifugadora. La magnitud de la velocidad se detalla a continuación:

Tabla 3. 3 Comparación de valor teórico con valor experimental [Elaboración propia]

Valor teórico [m/s]	Valor experimental [m/s]	Error porcentual [%]
111.71	111	0.64

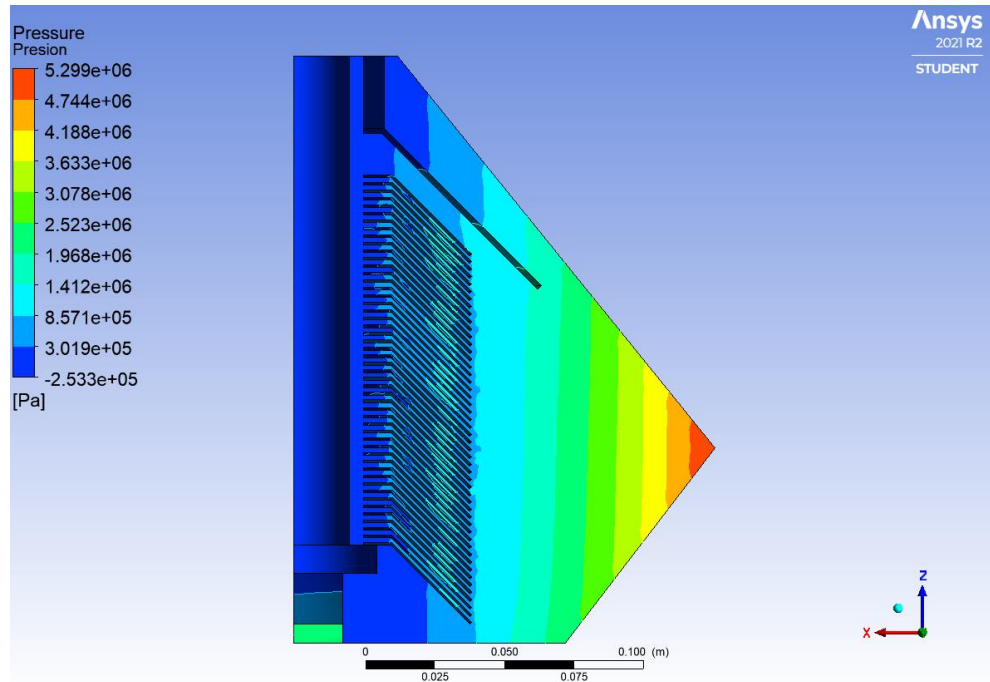


Figura 3. 12 Presiones en el interior de la centrifugadora [Ansys Student, 2021]

La figura 3.12 muestra el contorno de presiones en el interior de la centrifugadora. La magnitud máxima se detalla a continuación:

Tabla 3. 4 Comparación de valor teórico con valor experimental [Elaboración propia]

Valor teórico [MPa]	Valor experimental [MPa]
5.61	5.29

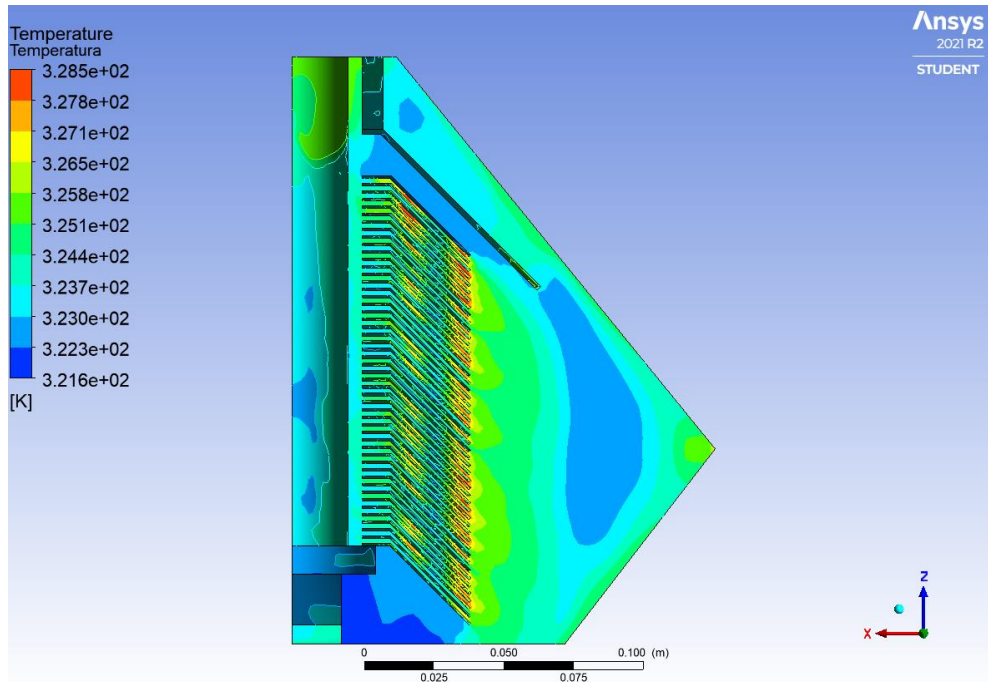


Figura 3. 13 Temperatura en el interior de la centrifugadora [Ansys Student, 2021]

La figura 3.13 presenta el contorno de temperatura del fluido en el interior de la centrifugadora.

Tabla 3. 5 Comparación de temperaturas [Elaboración propia]

Temperatura de entrada [K]	Temperatura máxima [K]
322	328.5

3.4 Análisis de resultados

En la figura 3.7, se presentan los esfuerzos a los que la máquina se encontraba sometido, el máximo esfuerzo fue de 3.12 MPa en el rodamiento inferior, puesto que es donde se encuentra la mayor fuerza, debido a la fuerza de la polea y al peso del equipo. No obstante, el esfuerzo es muy inferior al de fluencia (215 MPa) por lo que no se producirá fallas en el eje. Además, la deformación máxima obtenida en el eje es de 1.50×10^{-5} , en el centro del mismo donde se aplicó la fuerza de la polea y el torque del motor.

En la figura 3.9, se presenta el contorno del esfuerzo cortante sobre las paredes del recipiente. El esfuerzo máximo se presentó en las regiones próximas a los discos, esto debido a que los discos y las protrusiones actuaban como turbuladores, afectando el patrón uniforme del flujo. Un aumento en la intensidad de la turbulencia provoca un incremento del esfuerzo cortante, lo que a su vez incrementa la tasa de desgaste (Zhou, 1993). Un estudio realizado por Zhou demostró que, para un fluido dentro de una tubería, conformado por 60% aceite y 40% agua, que se encuentra fluyendo de forma constante un esfuerzo de 200 Pa produce una tasa de desgaste de 50 mils/yr. Además, a mayor fracción de aceite el efecto del esfuerzo cortante sobre la tasa de desgaste disminuye, por lo tanto, el diseño planteado tendrá una tasa de desgaste menor a 50 mils/yr.

En la figura 3.11 se pudo observar que la velocidad tangencial se encuentra en función del radio por lo que incrementaba conforme la región analizada se alejaba del eje de rotación. La velocidad máxima se dio en $x=15.24$ cm, que corresponde al radio del recipiente. Al comparar el valor teórico con el valor experimental obtenido de la simulación se notó que los valores son muy cercanos entre sí obteniendo un error porcentual de apenas 0.64%. Por otro lado, en la figura 3.12 se pudo notar como la presión interna de la máquina presentó una variación aproximadamente uniforme en la dirección radial. La máxima presión obtenida de acuerdo con la simulación fue de 5.29 MPa, esto confirmaba que la centrifugadora diseñada iba a resistir las presiones internas a las cuales estaba sometida pues al momento de diseñarla se lo hizo para un valor de presión de 5.61 MPa de acuerdo con los cálculos teóricos realizados. También, se pudo observar que existían regiones con presiones negativas, éstas provocaban un efecto de succión hacia el exterior, puesto a que son las regiones por donde salían los fluidos, aceite y agua. Finalmente, en la figura 3.13 se presenta la variación de temperatura interna de la centrifugadora. Se pudo observar que en las regiones próximas a las paredes del recipiente y los discos existía un incremento de temperatura, esto debido a la fricción del fluido sobre las superficies. Dicha fricción dependía de la viscosidad del mismo, la cual transformaba la energía cinética en energía calorífica. La temperatura de salida es de aproximadamente 325.5 K, lo que significa un incremento de 3.5 K, que se encuentra dentro del rango de 3 a 4 K, definido en un estudio realizado por Costagli donde analiza el uso de una centrifugadora en la industria del aceite vegetal (Costagli, 2018)

Tabla 3. 6 Características de la máquina centrifugadora [Elaboración propia]

Caudal de operación [gpm]	8
Velocidad angular [rpm]	7000
Fuerza G	8348.77g
Potencia [hp]	7.50

Al comparar las características de la centrifugadora diseñada con las características de un fabricante como ‘Crown Machinery’, se pudo notar según la tabla 3.7 que su centrifugadora poseía una velocidad angular ligeramente mayor a la diseñada pero su caudal de operación es inferior, siendo este de apenas de 6.60 gpm además de utilizar una mayor potencia (10 hp) para obtener dicho resultado.

Tabla 3. 7 Característica de centrifugadora de Crown Machinery DGS/DGC 400 [Crown Machinery™ Disc Stack Centrifuges, 2017]

Caudal de operación [gpm]	6.60
Velocidad angular [rpm]	7038
Potencia [hp]	10

3.5 Análisis de costos

3.5.1 Costo de materiales de construcción

En la tabla 3.8 se muestran los precios de los diversos materiales requeridos para la elaboración del proyecto, los mismos que fueron cotizados en diferentes proveedores a nivel nacional. La selección de los componentes se presenta en la sección de Apéndice C.

Tabla 3. 8 Detalle de los costos de materiales de construcción [Elaboración propia]

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio total
4	Tubo redondo Acero Inoxidable AISI 304 1 in	\$27.32	\$109.28
6	Plancha de acero inoxidable AISI 304 (1mm)	\$108.42	\$650.52

4	Plancha de Acero Inoxidable AISI 304 (4mm)	\$444.82	\$1779.28
1	Bomba para aceite 1 HP WCB75	\$570.09	\$570.09
1	Bomba para aceite de ½ HP WCB30	\$482.36	\$482.36
3	Válvula de compuerta 1 in	\$16.17	\$48.51
1	Mezclador	\$392.00	\$392.00
1	Calentador eléctrico	\$48.22	\$48.22
1	Eje AISI 304 (3.5 in)	\$612.50	\$612.50
1	Eje AISI 304 (2 in)	\$200	\$200
4	Tornillo Allen ¼ in x 2 in	\$0.10	\$0.40
6	Perno de cabeza hexagonal 9/16 in x 4 ½ con tuerca	\$1.83	\$10.98
8	Tornillo Allen 5/8 in x 4 ½ in	\$1.35	\$10.80
6	Anillo presión 9/16 in	\$0.05	\$0.30
1	Rodamiento 35 mm	\$12.30	\$12.30
1	Rodamiento 30 mm	\$8.30	\$8.30
1	Polea 3 canales (6 in)	\$49.90	\$49.90
1	Polea 3 canales (3 in)	\$21.23	\$21.23
1	Bomba centrífuga THEBE 3HP	\$624.71	\$624.71
1	Motor eléctrico trifásico 7.5HP 3600rpm	\$ 493.49	\$ 493.49
3	Banda V (B-55)	\$5.58	\$16.74
1	Termocupla Cabezal PT- 100 0-500°C PIXSYS	\$85.40	\$85.40
3	Electroválvula 1" 240 AC Vapor, 125-150 PSI ASCO	\$708.75	\$2126.25
1	LOGO 8 PLC 12/24 RCE Ethernet 8ED (4EA) / 4SD 12/24 VDC SIEMENS	\$218.00	\$218.00
2	LOGO 8 módulo de expansión AM2 RTD 2AI SIEMENS	\$163.00	\$326.00

2	LOGO 8 módulo de expansión AM2 AQ 2AO SIEMENS	\$194.00	\$388.00
1	Variador ABB 7.5 HP 5.5 KW/220V, ACS355-03E-24 ³ 4-2	\$1037.00	\$1037.00
1	Panel control básico ABB ACS-CP-C para ACS310-355	\$81.00	\$81.00
2	Variador KEWO 1 HP 0.75 KW 230V 4A	\$198.46	\$396.92
1	Variador KEWO 3 HP 2.20 KW 230V 10A	\$316.89	\$316.89
4	Encoder incremental 1500 pulsos/rev	\$230.00	\$920.00
1	Válvula de bloqueo y purga WINTERS	\$61.80	\$61.80
3	Medidor de flujo volumétrico TACTICAL FLOW METER	\$1600.00	\$4800.00
Total			\$17,099.17

3.5.2 Costos de mano de obra

En la tabla 3.9, se presentan los costos de mano de obra para cada trabajador. Los valores fueron obtenidos luego de consultas de acuerdo con las actividades que se debían realizar.

**Tabla 3. 9 Detalle de los costos de mano de obra por trabajador
[Elaboración propia]**

Trabajador	Costo
Soldador	\$450.00
Tornero	\$100.00
Electricista	\$1300.00
Ayudante	\$100.00
Total	\$1,950.00

Los valores divididos para los diferentes sistemas del proyecto y el detalle de la mano de obra se encuentran en la sección de Apéndice D.

El costo total de todo el sistema fue de \$19,049.17. Una centrifugadora de las mismas características que la diseñada, las cuales se detallan en la tabla 3.6, se encontraba en un rango de precios de \$9,000 a \$12,000 dependiendo del fabricante según datos de Alibaba (Alibaba, 2021) sin incluir el costo extra debido a la importación que esto conlleva, además de que dicho valor no contemplaba el costo del sistema de entrada. Si solo se tomaba en cuenta la construcción de la centrifugadora, esto es la mano de obra más los materiales, el costo sería de \$7,062.79. Debido a todo lo expuesto anteriormente, fabricar la máquina resultaría más económico en lugar de importarla.

3.6 Mantenimiento del equipo

El mantenimiento de la máquina se puede dividir en mantenimientos menores y mayores. Los mantenimientos menores involucran el desmontaje de la máquina y la limpieza de sus componentes; detectando cualquier grieta o falla. Mientras que los mantenimientos mayores, incluyen los mismos procedimientos del mantenimiento menor y otros adicionales, incluyendo las piezas sujetas a desgaste y el sistema de transmisión. En el Apéndice E, se detallan los intervalos máximos de inspección de los componentes de la máquina.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se verificó mediante simulaciones, el correcto diseño de la máquina. Además, las simulaciones fueron validadas, comparando valores teóricos y experimentales, obteniendo errores porcentuales bajos. Debido al análisis estructural realizado se puede concluir que la máquina centrifugadora no presentará fallas estructurales durante su operación.

La temperatura de entrada del aceite, definida en 322 K (49°C) es adecuada para el correcto desempeño del equipo, debido a que la variación de temperatura obtenida se encuentra dentro del rango aceptado. El aumento de la temperatura del aceite usado es un factor muy importante que realizar previo al proceso de centrifugado, debido a que esto permite que el aceite disminuya su viscosidad facilitando su flujo en el interior de la máquina.

La implementación del proyecto generaría un impacto positivo en la comunidad, debido a que es una gran oportunidad para contribuir con el medio ambiente y evitar que el desecho de aceites vegetales afecte al mismo. Mediante este proyecto se pueden generar centros de acopio con el fin de comprar el aceite usado tanto de domicilios como de restaurantes con el fin de procesarlo y reutilizarlo en la elaboración de otros productos, generando ganancias en el proceso y reduciendo la contaminación al medio ambiente.

La utilización de bandas y poleas para el sistema de transmisión del equipo es adecuada para esta aplicación debido a que reduce el ruido y el mantenimiento del mismo en comparación a la utilización de un sistema de cadenas o engranes.

La tasa de desgaste de los discos de la centrifugadora será menor a 50 mils/yr, esto debido a que aun cuando el esfuerzo cortante del diseño es superior al analizado en el estudio realizado por Zhou, la fracción de aceite, en promedio, para

aceite de cocina usado es del 85% (Zhou, 1993). Una mayor fracción de aceite provoca una menor tasa de desgaste. Además, se debe tener en consideración que la centrifugadora, a diferencia de la tubería, no estará en constante operación, por lo que el tiempo que está sometido a dichos esfuerzos es notablemente menor.

Al comparar las características de la centrifugadora diseñada con una del mercado, se pudo evidenciar que la centrifugadora diseñada poseía un caudal de operación mayor que la centrifugadora comercial utilizando una potencia más baja lo que implicaba un ahorro en la energía eléctrica para el usuario.

La construcción de la centrifugadora es viable debido a que la elaboración de la misma permitiría generar un ahorro de casi el 22% en comparación con la adquisición de una centrifugadora en el mercado extranjero sin tener cuenta los gastos de importación que esto conlleva. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el desgaste de las piezas, a futuro, conlleva un gasto adicional. A diferencia de realizar la adquisición de la centrifugadora a un fabricante, donde solo se requeriría comprar el repuesto, en caso de construirla, se debe realizar la compra de los materiales y fabricar dicho componente.

En caso de implementarse el proyecto, y el aceite reciclado sea comercializado, bajo ciertas consideraciones se podría esperar un retorno de la inversión en un periodo aproximado de 4 meses. Esto es, siempre y cuando la planta de centrifugación esté operando dentro de una empresa ya existente, lo que implica que no requiere costos de puesta en marcha del negocio, y además opere de manera constante durante al menos 4 horas al día, 5 días a la semana. Además, para un periodo de 2 años, la tasa interna de retorno es del 27.84%.

4.2 Recomendaciones

Antes de poner en funcionamiento la máquina centrifugadora, se recomienda analizar el aceite usado con el fin de determinar distintas variables del mismo, como el porcentaje de sólidos, el tamaño de partícula, la viscosidad del fluido, el porcentaje de agua, entre otros. Esto con el fin de poder realizar una comparación

de dichas variables con aquellas obtenidas del aceite reciclado después de realizar el proceso de centrifugado para determinar la pureza del mismo.

Antes de calentar el aceite que va a ingresar a la máquina se recomienda que este pase a través de un filtro, de esta manera se podrían reducir la cantidad de partículas sólidas encontradas en el mismo.

Posterior al proceso de centrifugado con el fin de obtener mayor pureza en el aceite reciclado, se recomienda que este pase por un proceso de decantado, que consiste en dejar en reposo el aceite, que sale de la centrifugadora, en depósitos por cierto periodo de tiempo para que se depositen las micropartículas que puedan quedar luego del centrifugado.

El plan de mantenimiento planteado se debe seguir tal y como se ilustra con el fin de evitar daños en la máquina y que esta funcione sin inconvenientes. Al momento de realizar el mantenimiento del equipo, se debe tener en cuenta las medidas de seguridad de todos los sistemas que lo componen.

Es recomendable realizar la simulación de fluido en el interior de la máquina centrifugadora considerando las partículas presentes en la misma. Debido a las limitaciones que presentaba trabajar con la versión con licencia estudiantil de Ansys y la capacidad computacional del equipo, no se pudo realizar un análisis del comportamiento de las partículas.

BIBLIOGRAFÍA

- ALFA LAVAL. (s/f). *PX disc stack centrifuge*. Recuperado el 24 de noviembre de 2021, de <https://www.alfalaval.es/productos-y-soluciones/separacion/separadoras-centrifugas/separadoras/px/>
- Alibaba. (2021). *Disk Stack Centrifuge*. Alibaba. https://spanish.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=disk+stack+centrifuge+3+phase+oil&viewtype=&tab=
- Awogbemi, O., Onuh, E. I., & Inambao, F. L. (2019). Comparative study of properties and fatty acid composition of some neat vegetable oils and waste cooking oils. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 14(3), 417–425. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz038>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). Elementos Mecánicos Flexibles. En *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY* (Octava, pp. 860–885). McGraw-Hill.
- Caballero, B., Finglas, P., & Toldrá, F. (Eds.). (2003). Vegetables oils/Types and Properties. En *Encyclopedia of food sciences and nutrition* (Segunda, pp. 5899–5904). Academic Press.
- Castañeda, J. (2018). *Análisis de la generación de residuos de aceite de uso domiciliario para promover la correcta gestión y sensibilización ambiental de la población del cantón Esmeraldas*. Pontífice Universidad Católica del Ecuador.
- Costagli, G. (2018). The use of disc stack centrifuge in the virgin olive oil industry. *Journal of Agricultural Engineering*, 49(2), 75–80. <https://doi.org/10.4081/jae.2018.784>
- Crown Machinery™ *Disc Stack Centrifuges*. (2017). Crown Machinery. <https://crown-machinery.com/disc-stack-centrifuge/>

Dolphin Centrifuge. (2020a). *Decanter Centrifuge | Working, Types, Benefits, Cost, Specs, Uses*. Dolphin Centrifuge. <https://dolphinscentrifuge.com/decanter-centrifuge/>

Dolphin Centrifuge. (2020b). *Difference Between Decanter and Disc Centrifuge | Technical Comparison*. Dolphin Centrifuge. <https://dolphinscentrifuge.com/difference-between-decanter-centrifuge-disc-centrifuge/>

Dolphin Centrifuge. (2020c). *Disc Stack Centrifuge | Benefits, Costs, Operation, Specs, Sizing, etc.* Dolphin Centrifuge. <https://dolphinscentrifuge.com/disc-stack-centrifuge/>

Ekin, O., & Çerçi, Y. (2020, marzo 27). A discrete element modeling investigation of the centrifugal separation process of bovine milk somatic cells. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 38(1), 95–109.

Jeff T. Dewese. (s/f). *METHOD AND SYSTEM FOR PROCESSING USED COOKING OL* (Patent Núm. PCT/US2012/039861).

Krist, S. (2020). Introduction. En *Vegetables fats and oils* (Primera, pp. 1–2). Springer.

Leung, W. W.-F. (2007a). 1—Introduction. En W. W.-F. Leung (Ed.), *Centrifugal Separations in Biotechnology* (pp. 1–17). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-185617477-0/50001-X>

Leung, W. W.-F. (2007b). 4—Disk Centrifuge. En W. W.-F. Leung (Ed.), *Centrifugal Separations in Biotechnology* (pp. 59–94). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-185617477-0/50004-5>

Mannu, A., Garroni, S., Ibanez Porras, J., & Mele, A. (2020). Available Technologies and Materials for Waste Cooking Oil Recycling. *Processes*, 8(3), 366. <https://doi.org/10.3390/pr8030366>

MITSUBISHI. (s/f-a). *Instruction Manual SELFJECTOR* (Genius Series, pp. 1–69).

SAMGONG-MITSUBISHI.

MITSUBISHI. (s/f-b). *Instruction Manual SELFJECTOR* (Future Series, pp. 1–99).

SAMGONG-MITSUBISHI.

Ochoa, S. H. (s/f). *Centrifugación*. Universidad Autónoma Metropolitana.

Panadare, D. C., & Rathod, V. K. (2015). Applications of waste cooking oil other than biodiesel: A Review. *Iranian Journal of Chemical Engineering*, 12(3), 55–76.

Perry, R. H., & Green, D. W. (Eds.). (2008). *Perry's chemical engineers' handbook* (8th ed). McGraw-Hill.

Pritchard, P. J. (2011). Fundamentals Concepts. En *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics* (Octava, p. 33). Wiley.

SADI TRANSMISIONES S.L. (s/f). *Correas Industriales PIX*.
https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/205217/CORREAS_PIX.pdf

Svarovsky, L. (2001a). 1—Introduction to solid-liquid separation. En L. Svarovsky (Ed.), *Solid-Liquid Separation (Fourth Edition)* (pp. 1–29). Butterworth-Heinemann.
<https://doi.org/10.1016/B978-075064568-3/50025-0>

Svarovsky, L. (2001b). 7—Separation by centrifugal sedimentation. En L. Svarovsky (Ed.), *Solid-Liquid Separation (Fourth Edition)* (pp. 246–280). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-075064568-3/50032-8>

Thomas & Betts. (s/f). 304 Stainless Steel Corrosion Compatibility Chart. *Citric Acid*, 4.

Translink. (s/f). *Soportes* (p. 15).

Treese, S. A., Pujadó, P. R., & Jones, D. S. J. (Eds.). (2015). Introduction. En *Handbook of Petroleum Processing* (Segunda, p. 11). Springer.

TVL Compañía Especialista en Vapor. (2021). *Aplicaciones Principales para el Vapor de Agua*. TLV - Compañía Especialista en Vapor.

<https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/principal-applications-for-steam.html>

Valencia, paco cerdà. (2012, enero 20). *Un ladrón roba 50 litros de aceite usado de un bar para venderlo y hacer biodiésel*. Levante-EMV. [https://www.levante-emv.com/comunitat-valenciana/2012/01/20/ladron-roba-50-litros-aceite-](https://www.levante-emv.com/comunitat-valenciana/2012/01/20/ladron-roba-50-litros-aceite-13008666.html)

[13008666.html](https://www.levante-emv.com/comunitat-valenciana/2012/01/20/ladron-roba-50-litros-aceite-13008666.html)

Vásconez, L. (2018, septiembre 6). *Convenios en cinco ciudades del Ecuador para reciclar aceites usados*. El Comercio.

<https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/convenios-ciudades-ecuador-reciclar-aceites.html>

White, F. (2003). *Mecánica de fluidos* (Quinta). McGraw-Hill.

Woon-Fong Leung, W. (2020). Decanter Centrifuge. En *Centrifugal separation in biotechnology* (Segunda, pp. 150–151). El Servier.

Zhou, X. (1993). *Experimental study of corrosion rate and slug flow characteristics in horizontal, multiphase pipeline*. Ohio University.

APÉNDICES

APÉNDICE A – CÁLCULOS

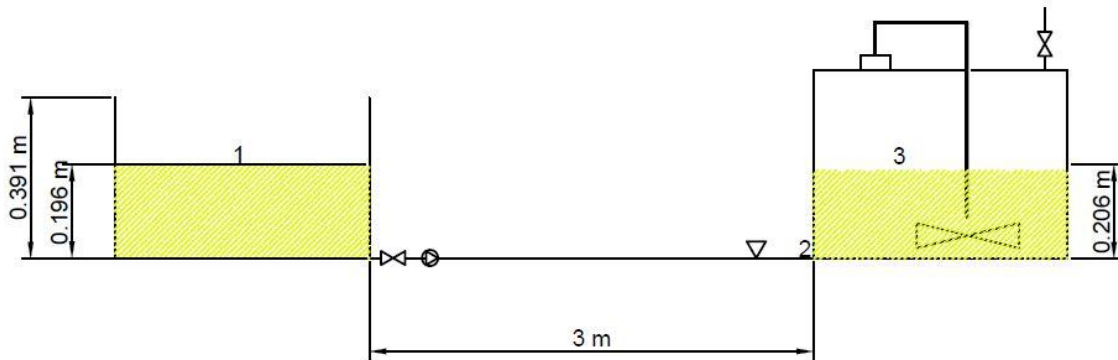


Figura A. 1 Primera parte del sistema de entrada a la centrifugadora [Autodesk AutoCAD, 2020]

El tanque de aceite usado corresponde a un tanque de 60 galones del cual a través de una válvula y de una bomba se extraen 10 gpm hacia un nuevo tanque de almacenamiento.

Como se puede observar aquí se encuentra la primera parte del sistema de entrada de la centrifugadora, el caudal de salida del tanque de aceite será de 10 gpm ($6.309 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$), para lo cual se requerirá una bomba para mover el fluido.

Se aplica el principio de Bernoulli para determinar el cabezal de bomba requerido para realizar dicha operación.

$$\frac{P_1}{\rho_{\text{aceite}} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_1^2 + h_b + z_1 = \frac{P_2}{\rho_{\text{aceite}} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_2^2 + h_L + z_2$$

Para determinar la presión P_2 se aplica la siguiente ecuación:

$$P_2 = P_1 + \rho_{\text{aceite}} * g * (z_1 - z_2)$$

Reemplazando:

$$P_2 = 101325 + 900 * 9.8 * (0.196)$$

$$P_2 = 103053.72 \text{ Pa}$$

Debido a que $V_1 = 0$, la ecuación se reduce a:

$$\frac{P_1}{\rho_{\text{aceite}} * g} + h_b + z_1 = \frac{P_2}{\rho_{\text{aceite}} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_2^2 + h_L + z_2$$

Para determinar la velocidad V_2 que poseerá el fluido, se calculó basado en el caudal y en el área de tubería. Para este caso se seleccionó una tubería de 1 pulgada de acero inoxidable.

$$Q = V_2 * A$$

$$V_2 = \frac{Q}{A}$$

$$V_2 = \frac{0.00063}{\pi * \frac{0.0254^2}{4}}$$

$$V_2 = 1.24 \text{ m/s}$$

Para el caso de las pérdidas, se consideró tanto pérdidas mayores como menores, es decir pérdidas por tubería y por accesorios colocados.

$$h_L = \frac{1}{2} * \frac{V_2^2}{g} * \left(\frac{f * L}{D_{tubería}} + K_{válvula} + K_{entrada} + K_{salida} \right)$$

En donde se relacionan las dimensiones de la tubería, la velocidad que poseerá el fluido y los coeficientes que dependen de los accesorios empleados en la tubería.

Para calcular el coeficiente de fricción f se procede a calcular el número de Reynolds.

Número de Reynolds

$$Re = \frac{V_2 * D_{tubería}}{\nu}$$

$$Re = \frac{1.24 * 0.0254}{0.000045}$$

Re = 699.91 (Flujo laminar)

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{699.91} = 0.091$$

Los demás factores pueden ser observados de la siguiente tabla:

	Diámetro nominal, in								
	Roscado				Acoplado				
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20
Válvulas (abiertas):									
Globo	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5
Compuerta	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03
De retención	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
De ángulo	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0
Codos:									
45° normal	0.39	0.32	0.30	0.29					
45° suave					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14
90° normal	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21
90° suave	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10
180° normal	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20
180° suave					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10
«Tees»:									
Flujo directo	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07
Flujo lateral	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41

Figura A. 2 Coeficientes de accesorios en tuberías [White, 2003]

Reemplazando:

$$h_L = \frac{1}{2} * \frac{1.24^2}{9.8} * \left(\frac{0.091 * 3}{0.0254} + 8.2 + 1 + 1 \right)$$

$$h_L = 1.65 \text{ m}$$

$$\frac{101325}{900 * 9.8} + h_b + 0 = \frac{103053.72}{900 * 9.8} + \frac{1}{2 * 9.8} * 1.24^2 + 1.65 + 0.196$$

$$h_b = 2.12 \text{ [m]}$$

Potencia de la bomba

$$P = \rho_{aceite} * g * Q_{aceite} * h_b$$

$$P = 900 * 9.8 * 0.00063 * 2.12$$

$$P = 11.84 \text{ W} = 0.016 \text{ hp}$$

Por lo tanto, una bomba de ½ hp puede ser empleada en este caso.

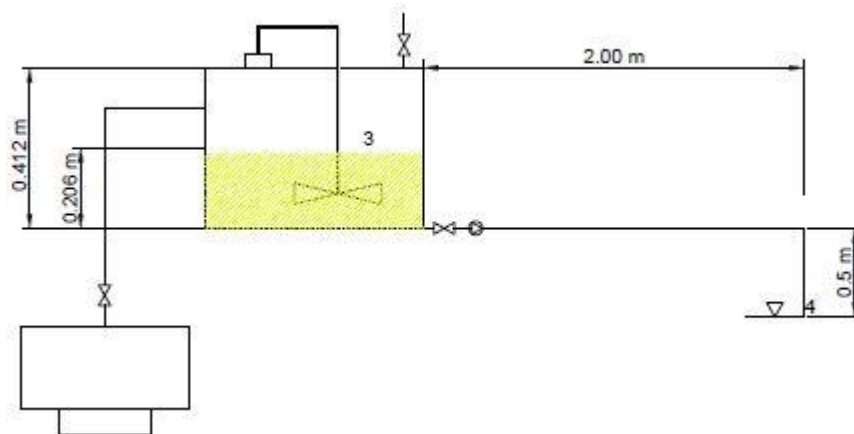


Figura A. 3 Segunda parte del sistema de entrada a la centrifugadora [Autodesk AutoCAD, 2020]

El aceite en el tanque de almacenamiento poseía una temperatura aproximada de 24 °C, la cual se debe aumentar para que este entre en la centrifugadora.

Tal y como se mencionó previamente, se debe aumentar la temperatura del aceite para que este reduzca su viscosidad, razón por la cual es recomendable subir su temperatura a 120°F (aproximadamente 49°C). Para realizar esto se procedió a calentar el aceite con vapor sobrecalentado a 200°C a una presión de una 1 atm, debido a que en estas condiciones el vapor se puede manipular de mejor manera. El vapor será generado por

medio de un calentador, el cual será el encargado de calentar el agua dentro del tanque y elevar su temperatura a 200°C.

Para conocer cuanto vapor se requiere para calentar el aceite hasta 120 °F (49°C), es necesario realizar un balance de energía.

$$Q_{\text{perdido por el vapor}} = Q_{\text{ganado por el aceite}}$$

Entonces:

$$Q_{\text{ganado por el aceite}} = \dot{m}_{\text{aceite}} * c_{p \text{ aceite}} * (T_2 - T_1)$$

Una vez encontrado el calor necesario para elevar la temperatura del aceite, se procedió a reemplazar dicho calor en la fórmula del calor perdido por el vapor en donde se asumió un diferencial de temperatura de 5°C. Utilizando la siguiente expresión donde se involucran las entalpías del vapor fue posible calcular el flujo másico del vapor necesario para elevar la temperatura del aceite a la deseada.

$$Q_{\text{ganado por el aceite}} = 900 * 0.00063 * 2.26 * (49 - 24)$$

$$Q_{\text{ganado por el aceite}} = 32.19 \text{ kJ/s}$$

Para calcular el flujo másico de vapor de agua necesario para otorgar dicho calor, se estableció que el vapor entra a una temperatura de 200°C y sale a una temperatura de 195 °C. De las tablas termodinámicas, se estableció que la entalpía para el vapor a 200 °C es 2875.5 kJ/kg y para una temperatura de 195°C es 2865.61 kJ/kg. Reemplazando e igualando se obtiene:

$$Q_{\text{perdido por el vapor}} = \dot{m}_{\text{vapor}} * (h_2 - h_1)$$

$$-32.19 = \dot{m}_{\text{vapor}} * (2865.61 - 2875.50)$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = 3.25 \text{ kg/s}$$

Utilizando la ilustración 1 se puede determinar la presión en el punto 3 utilizando la siguiente ecuación:

$$P_3 = P_1 + \rho_{\text{aceite}} * g * (z_1 - z_2) + \rho_{\text{aceite}} * g * (z_3 - z_2)$$

$$P_3 = 101325 + 900 * 9.8 * (0.196 - 0) + 900 * 9.8 * (0.206 - 0)$$

$$P_3 = 104870.64 \text{ Pa}$$

Utilizando la ilustración 2 fue posible calcular la presión de entrada a la centrifugadora aplicando la siguiente ecuación:

$$P_4 = \rho_{\text{aceite}} * g * (z_4 - 0) + \rho_{\text{aceite}} * g * (z_4 - z_3) + P_3$$

$$P_4 = 900 * 9.8 * (0.5 - 0) + 900 * 9.8 * (0.5 - 0.206) + 104870.64$$

$$P_4 = 111873.72 \text{ Pa}$$

Analizando del punto 3-4 se obtiene:

$$\frac{P_3}{\rho_{aceite} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_3^2 + h_b + z_3 = \frac{P_4}{\rho_{aceite} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_4^2 + h_L + z_4$$

Debido a que $V_3 = 0$, la expresión se reduce a:

$$\frac{P_3}{\rho_{aceite} * g} + h_b + z_3 = \frac{P_4}{\rho_{aceite} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_4^2 + h_L + z_4$$

Para calcular V_4 es necesario establecer el caudal que llegará a la centrifugadora el cual es de 8 gpm ($0.0005047 \text{ m}^3/\text{s}$):

$$Q = V_4 * A$$

$$V_4 = \frac{Q}{A}$$

$$V_4 = \frac{0.0005}{\pi * \frac{0.0254^2}{4}}$$

$$V_4 = 0.99 \text{ m/s}$$

Para el caso de las pérdidas, se consideró tanto pérdidas mayores como menores, es decir pérdidas por tubería y por accesorios colocados.

$$h_L = \frac{1}{2} * \frac{V_4^2}{g} * \left(\frac{f * L}{D_{tubería}} + K_{válvula} + K_{entrada} + K_{salida} + K_{codo} \right)$$

Para calcular el coeficiente de fricción f se procede a calcular el número de Reynolds.

Número de Reynolds

$$Re = \frac{V_4 * D_{tubería}}{\nu}$$

$$Re = \frac{0.99 * 0.0254}{0.000045}$$

$Re = 562.187$ (Flujo laminar)

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{562.187} = 0.11$$

Reemplazando:

$$h_L = \frac{1}{2} * \frac{0.99^2}{9.8} * \left(\frac{0.11 * 2.5}{0.0254} + 8.2 + 1 + 1 + 0.32 \right)$$

$$h_L = 1.100 \text{ m}$$

$$\frac{104870.64}{900 * 9.8} + h_b + 0.206 = \frac{111873.72}{900 * 9.8} + \frac{1}{2 * 9.8} * 0.99^2 + 1.10 + 0.5$$

$$h_b = 2.23 \text{ m}$$

Potencia de la bomba

$$P = \rho_{aceite} * g * Q_{aceite} * h_b$$

$$P = 900 * 9.8 * 0.00050 * 2.23$$

$$P = 9.96 W = 0.013 hp$$

Como se puede observar aquí se encuentra la primera parte del sistema de entrada de la centrifugadora, el caudal de salida del tanque de aceite será de 10 gpm ($6.309 \times 10^{-5} m^3/s$), para lo cual se requerirá una bomba para mover el fluido.

Se aplica el principio de Bernoulli para determinar el cabezal de bomba requerido para realizar dicha operación.

$$\frac{P_1}{\rho_{aceite} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_1^2 + h_b + z_1 = \frac{P_2}{\rho_{aceite} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_2^2 + h_L + z_2$$

Para determinar la presión P_2 se aplica la siguiente ecuación:

$$P_2 = P_1 + \rho_{aceite} * g * (z_1 - z_2)$$

Reemplazando:

$$P_2 = 101325 + 900 * 9.8 * (0.196)$$

$$P_2 = 103053.72 Pa$$

Debido a que $V_1 = 0$, la ecuación se reduce a:

$$\frac{P_1}{\rho_{aceite} * g} + h_b + z_1 = \frac{P_2}{\rho_{aceite} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_2^2 + h_L + z_2$$

Para determinar la velocidad V_2 que poseerá el fluido, se calculó basado en el caudal y en el área de tubería. Para este caso se seleccionó una tubería de 1 pulgada de acero inoxidable.

$$Q = V_2 * A$$

$$V_2 = \frac{Q}{A}$$

$$V_2 = \frac{0.00063}{\pi * \frac{0.0254^2}{4}}$$

$$V_2 = 1.245 m/s$$

Para el caso de las pérdidas, se consideró tanto pérdidas mayores como menores, es decir pérdidas por tubería y por accesorios colocados.

$$h_L = \frac{1}{2} * \frac{V_2^2}{g} * \left(\frac{f * L}{D_{tubería}} + K_{válvula} + K_{entrada} + K_{salida} \right)$$

Para calcular el coeficiente de fricción f se procede a calcular el número de Reynolds.

Número de Reynolds

$$Re = \frac{V_2 * D_{tubería}}{\nu}$$

$$Re = \frac{1.24 * 0.0254}{0.000045}$$

$Re = 699.91$ (Flujo laminar)

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{699.91} = 0.091$$

Los demás factores pueden ser observados de la siguiente figura A.2

Reemplazando:

$$h_L = \frac{1}{2} * \frac{1.245^2}{9.8} * \left(\frac{0.091 * 3}{0.0254} + 8.2 + 1 + 1 \right)$$

$$h_L = 1.65 \text{ m}$$

$$\frac{101325}{900 * 9.8} + h_b + 0 = \frac{103053.72}{900 * 9.8} + \frac{1}{2 * 9.8} * 1.24^2 + 1.65 + 0.196$$

$$h_b = 2.12 \text{ [m]}$$

Potencia de la bomba

$$P = \rho_{aceite} * g * Q_{aceite} * h_b$$

$$P = 900 * 9.8 * 0.00063 * 2.128$$

$$P = 11.84 \text{ W} = 0.016 \text{ hp}$$

Por lo tanto, una bomba de ½ hp puede ser empleada en este caso.

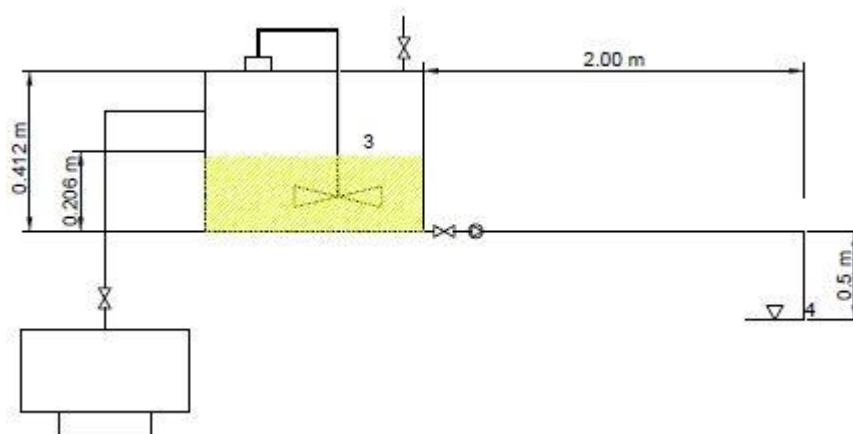


Figura A. 4 Sistema de entrada a la centrifugadora, mezcladora de aceite [Autodesk AutoCAD, 2020]

Para el caso de conocer cuanto vapor se requiere para calentar el aceite hasta 120 °F (49°C), es necesario realizar un balance de energía.

$$Q_{perdido \text{ por el vapor}} = Q_{ganado \text{ por el aceite}}$$

Entonces:

$$Q_{\text{ganado por el aceite}} = \dot{m}_{\text{aceite}} * c_{p \text{ aceite}} * (T_2 - T_1)$$

Se asumió que el aceite entra a una temperatura de 24°C. Reemplazando:

$$Q_{\text{ganado por el aceite}} = 900 * 0.00063 * 2.26 * (49 - 24)$$

$$Q_{\text{ganado por el aceite}} = 32.19 \text{ kJ/s}$$

Para calcular el flujo másico de vapor de agua necesario para otorgar dicho calor, se estableció que el vapor entra a una temperatura de 200°C y sale a una temperatura de 195 °C (TVL Compañía Especialista en Vapor, 2021). De las tablas termodinámicas, se estableció que la entalpía para el vapor a 200 °C a 1 atm es 2875.5 kJ/kg y para una temperatura de 195°C es 2865.61 kJ/kg. Reemplazando e igualando se obtiene:

$$Q_{\text{perdido por el vapor}} = \dot{m}_{\text{vapor}} * (h_2 - h_1)$$

$$-32.19 = \dot{m}_{\text{vapor}} * (2865.61 - 2875.50)$$

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = 3.25 \text{ kg/s}$$

Utilizando la ilustración 1 se puede determinar la presión en el punto 3 utilizando la siguiente ecuación:

$$P_3 = P_1 + \rho_{\text{aceite}} * g * (z_1 - z_2) + \rho_{\text{aceite}} * g * (z_3 - z_2)$$

$$P_3 = 101325 + 900 * 9.8 * (0.196 - 0) + 900 * 9.8 * (0.206 - 0)$$

$$P_3 = 104870.64 \text{ Pa}$$

Utilizando la ilustración 2 fue posible calcular la presión de entrada a la centrifugadora aplicando la siguiente ecuación:

$$P_4 = \rho_{\text{aceite}} * g * (z_4 - 0) + \rho_{\text{aceite}} * g * (z_4 - z_3) + P_3$$

$$P_4 = 900 * 9.8 * (0.5 - 0) + 900 * 9.8 * (0.5 - 0.206) + 104870.64$$

$$P_4 = 111873.72 \text{ Pa}$$

Analizando del punto 3-4 se obtiene:

$$\frac{P_3}{\rho_{\text{aceite}} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_3^2 + h_b + z_3 = \frac{P_4}{\rho_{\text{aceite}} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_4^2 + h_L + z_4$$

Debido a que $V_3 = 0$, la expresión se reduce a:

$$\frac{P_3}{\rho_{\text{aceite}} * g} + h_b + z_3 = \frac{P_4}{\rho_{\text{aceite}} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_4^2 + h_L + z_4$$

Para calcular V_4 es necesario establecer el caudal que llegará a la centrifugadora el cual es de 8 gpm (0.0005047 m³/s):

$$Q = V_4 * A$$

$$V_4 = \frac{Q}{A}$$

$$V_4 = \frac{0.00050}{\pi * \frac{0.0254^2}{4}}$$

$$V_4 = 0.996 \text{ m/s}$$

Para el caso de las pérdidas, se consideró tanto pérdidas mayores como menores, es decir pérdidas por tubería y por accesorios colocados.

$$h_L = \frac{1}{2} * \frac{V_4^2}{g} * \left(\frac{f * L}{D_{tubería}} + K_{válvula} + K_{entrada} + K_{salida} + K_{codo} \right)$$

Para calcular el coeficiente de fricción f se procede a calcular el número de Reynolds.

Número de Reynolds

$$Re = \frac{V_4 * D_{tubería}}{\nu}$$

$$Re = \frac{0.99 * 0.0254}{0.000045}$$

$Re = 562.187$ (Flujo laminar)

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{562.18} = 0.11$$

Reemplazando:

$$h_L = \frac{1}{2} * \frac{0.99^2}{9.8} * \left(\frac{0.11 * 2.5}{0.0254} + 8.2 + 1 + 1 + 0.32 \right)$$

$$h_L = 1.100 \text{ m}$$

$$\frac{104870.64}{900 * 9.8} + h_b + 0.206 = \frac{111873.72}{900 * 9.8} + \frac{1}{2 * 9.8} * 0.99^2 + 1.10 + 0.5$$

$$h_b = 2.23 \text{ m}$$

Potencia de la bomba

$$P = \rho_{aceite} * g * Q_{aceite} * h_b$$

$$P = 900 * 9.8 * 0.00050 * 2.23$$

$$P = 9.96 \text{ W} = 0.013 \text{ hp}$$

Se utilizará una bomba de $\frac{1}{2}$ hp.

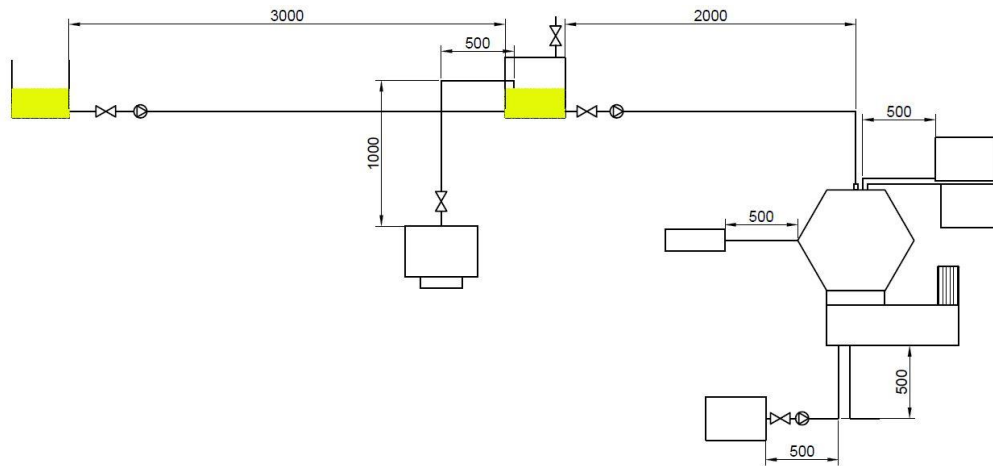


Figura A. 5 Dimensiones del sistema de entrada

Dimensionamiento de la centrifugadora

Datos

$$D = 12 \text{ in} = 30.48 \text{ cm}$$

$$d_1 = 7.45 \text{ cm}$$

$$d_2 = 19.80 \text{ cm}$$

$$d_3 = 19.52 \text{ cm}$$

$$d_4 = 31.69 \text{ cm}$$

$$h_1 = 14.10 \text{ cm}$$

$$h_2 = 9.5 \text{ cm}$$

$$h_3 = 7.02 \text{ cm}$$

$$h_4 = 2.25 \text{ cm}$$

Cono superior

Área lateral

$$A_{L1} = \pi * \sqrt{h_1^2 + (R - r_1)^2} * (R + r_1)$$

$$A_{L1} = \pi * \sqrt{14.10^2 + (15.24 - 3.725)^2} * (15.24 + 3.725)$$

$$A_{L1} = 1084.63 \text{ cm}^2$$

Volumen

$$V_1 = \frac{\pi * h_1}{3} * (r_1^2 + R^2 + r_1 * R)$$

$$V_1 = \frac{\pi * 14.10}{3} * (3.725^2 + 15.24^2 + 3.725 * 15.20)$$

$$V_1 = 4472.49 \text{ cm}^3$$

Cono inferior

Área lateral

$$A_{L2} = \pi * \sqrt{h_2^2 + (r_4 - r_2)^2} * (r_4 + r_2) + 2\pi * r_4 * h_4$$

$$A_{L2} = \pi * \sqrt{7.25^2 + (15.845 - 9.90)^2} * (15.845 + 9.90) + 2\pi * 15.845 * 2.25$$

$$A_{L2} = 982.32 \text{ cm}^2$$

Volumen

$$V_2 = \frac{\pi * h_2}{3} * (r_2^2 + R^2 + r_2 * R) + \pi * r_4^2 * h_4$$

$$V_2 = \frac{\pi * 7.25}{3} * (9.90^2 + 15.845^2 + 15.845 * 9.90) + \pi * 15.845^2 * 2.25$$

$$V_2 = 5615.85 \text{ cm}^3$$

Tazón inferior

Área lateral

$$A_{L3} = \pi * \sqrt{h_3^2 + (R - r_3)^2} * (R + r_3)$$

$$A_{L3} = \pi * \sqrt{7.023^2 + (15.24 - 9.76)^2} * (15.24 + 9.76)$$

$$A_{L3} = 699.63 \text{ cm}^2$$

Volumen

$$V_3 = \frac{\pi * h_3}{3} * (r_3^2 + R^2 + r_3 * R)$$

$$V_3 = \frac{\pi * 7.023}{3} * (9.76^2 + 15.24^2 + 15.24 * 9.76)$$

$$V_3 = 3502.62 \text{ cm}^3$$

Volumen total del recipiente

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_T = 4472.49 + 5615.85$$

$$V_T = 10088.35 \text{ cm}^3$$

$$V_T = 10.08 \text{ lt} = 2.66 \text{ gal}$$

Dimensionamiento del cono superior e inferior

Tanto el cono superior como el cono inferior fueron fabricados de planchas de AISI 304 con un espesor de 4 mm. Cada elemento cuenta con 6 orificios ubicados en la periferia para la sujeción mediante pernos y tuercas. El cono superior cuenta con un orificio con

un diámetro de 74.50 mm, mientras el cono inferior cuenta con un orificio de 35 mm de diámetro por donde pasan distintos elementos.

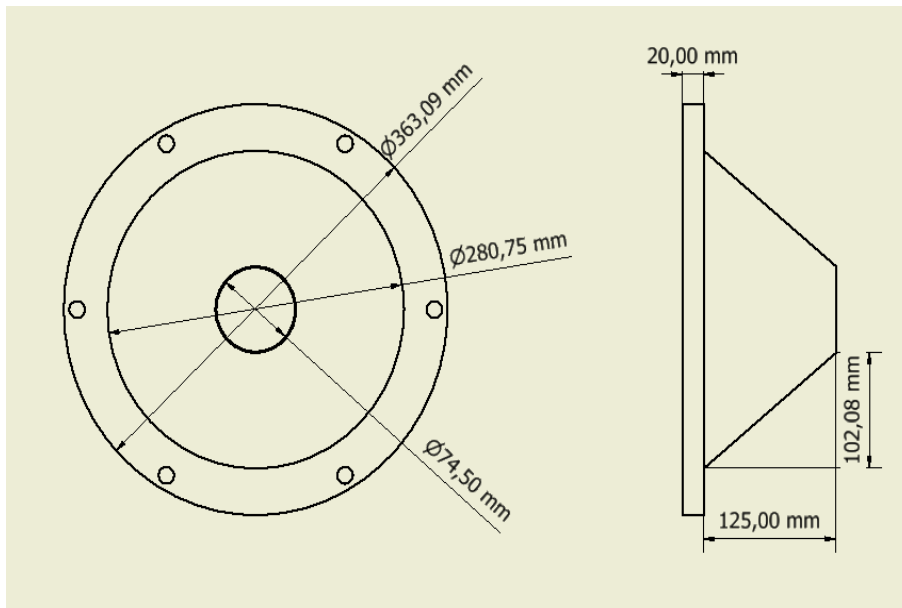


Figura A. 6 Dimensiones del cono superior [Autodesk Inventor Student, 2020]

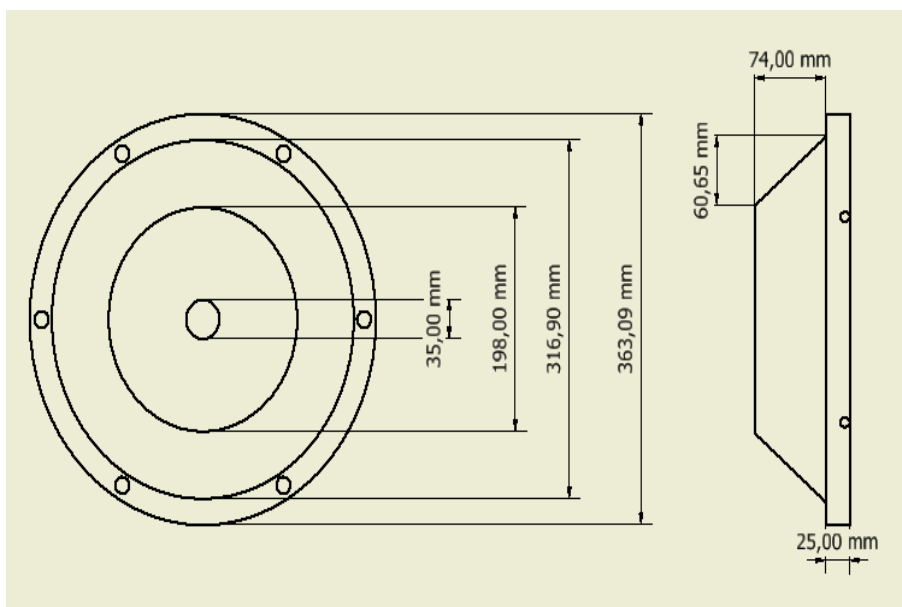


Figura A. 7 Dimensiones del cono inferior [Autodesk Inventor Student, 2020]

Aceleración radial

Máxima @7000RPM

$$\omega = 7000 \text{ RPM} * \frac{2\pi}{60} = 733.038 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$a_r = \omega^2 * R$$

$$a_r = 733.038^2 * 15.24$$

$$a_r = 8189133.37 \frac{cm}{s^2}$$

$$a_r = 81891.33 \frac{m}{s^2}$$

Velocidad tangencial

$$v_t = \omega * R$$

$$v_t = 733.038 * 15.20$$

$$v_t = 11171.49 \frac{cm}{s}$$

$$v_t = 111.71 \frac{m}{s}$$

Presión en el recipiente

$$P = \frac{1}{2} \rho v_t^2$$

$$P = \frac{1}{2} * 900 * 111.71^2$$

$$P = 5.61 MPa$$

Espesor de las paredes del recipiente

$$\sigma_t = \frac{P * D}{2 * t}$$

$$\sigma_t = 215 MPa$$

$$t = \frac{P * D}{2 * \sigma_t}$$

$$t = \frac{5.61 * 0.3048}{2 * 215}$$

$$t = 3.98 \times 10^{-3} m$$

$$t = 3.98 mm$$

Aceleración G

$$\frac{G}{g} = 0.000559 * \omega^2 * r_p$$

$$\frac{G}{g} = 0.000559 * 7000^2 * 0.3048$$

$$G = 8348.77 g$$

Potencia para acelerar el fluido

$$P_{ac} = 5.984(10^{-10}) * sg * Q * (\omega * r_p)^2$$

$$P_{ac} = 5.984(10^{-10}) * 1000 * 0.5047 * (7000 * 0.3048)^2$$

$$P_{ac} = 1.37 \text{ HP}$$

Dimensionamiento del water disk superior e inferior

Los water disk forman la cámara donde se almacenará el agua de operación, tanto el elemento superior como el elemento inferior estarán fabricados de planchas AISI 304 con un espesor de 4 mm. El water disk superior cuenta con 10 agujeros de 10 mm de diámetro separados 36° entre ellos, la distancia entre los centros de dichos agujeros y el eje central es de 60 mm, a través de estos agujeros el agua ingresa a los conos accionando el sistema de expulsión de los desechos en el aceite. El water disk inferior cuenta con dos tuberías de 12.7 mm, es decir $\frac{1}{2}$ pulg a cada costado, por donde se conectará con el sistema de agua. Estas tuberías permiten el ingreso y la salida del agua a la cámara.

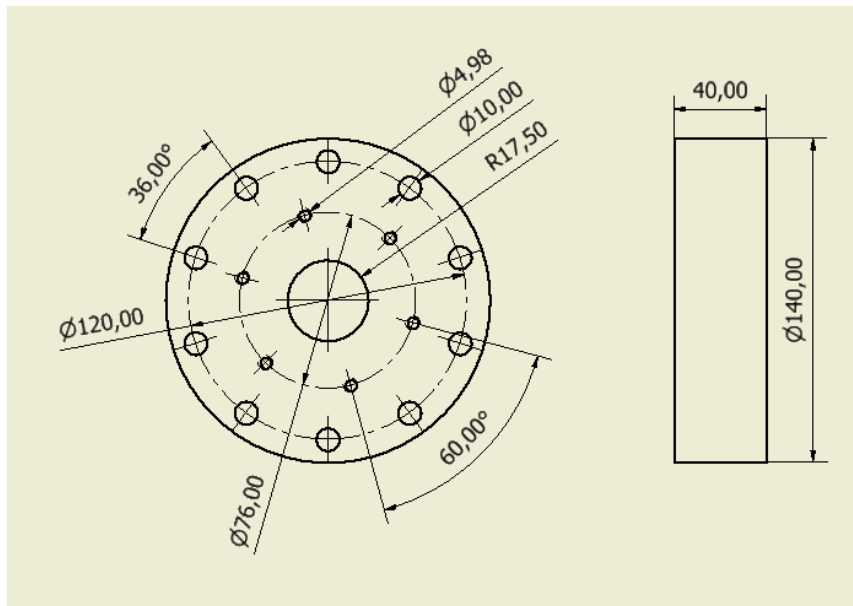


Figura A. 8 Dimensiones del water disk superior [Autodesk Inventor Student, 2020]

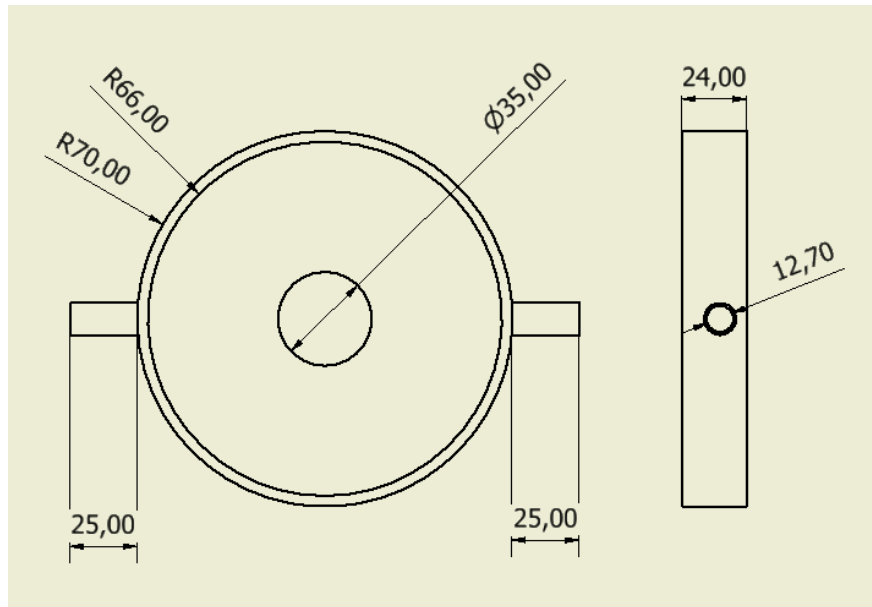


Figura A. 9 Dimensiones del water disk inferior [Autodesk Inventor Student, 2020]

Velocidad neta de la partícula

Entre los discos de centrifugado, la partícula posee una velocidad neta en la dirección paralela a los discos que es la resultante de la velocidad convectiva y por sedimentación. Se asume que el sistema se encuentra en estado estacionario, los efectos inerciales son despreciables y el flujo es laminar. Se considera una sección de longitud L , entre los discos, en donde la velocidad de la partícula solo depende de x mas no tiene componente en la dirección y . El espesor de la película es a .

$$v_x = \left(\frac{3Q}{4n\pi r a} \right) \left[1 - \left(\frac{2y}{a} \right)^2 \right]$$

En $y=0$ y con un caudal de 8 GPM

$$v_x = \left(\frac{3 * 5.04 \times 10^{-4}}{4 * 49 * \pi * 63.95 \times 10^{-3} * 1 \times 10^{-3}} \right) \left[1 - \left(\frac{2 * 0}{1 \times 10^{-3}} \right)^2 \right]$$

$$v_x = 0.038 \frac{m}{s}$$

Diferencia de presión entre la entrada y salida de los discos

$$\Delta P = \frac{6Q\mu L}{n\pi a^3 r}$$

$$\Delta P = \frac{6 * 5.04 \times 10^{-4} * 0.0288 * 0.04}{49 * \pi * (1 \times 10^{-3})^3 * 63.95 \times 10^{-3}}$$

$$\Delta P = 354.32 Pa$$

El sistema de agua para la descarga de los desechos sólidos va a operar debido a la diferencia de presiones que se produce en la parte superior e inferior del tazón. La presión en la parte superior del tazón se produce debido a la energía cinética del fluido de trabajo en rotación, mientras que la presión en la parte inferior del tazón se produce debida energía cinética del agua en rotación. Para conocer la potencia de la bomba necesaria para mantener el equilibrio en el tazón se emplea la ecuación de Bernoulli.

Potencia necesaria para la bomba del agua de operación

$$\frac{P_1}{\rho_{H2O} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_1^2 + h_b + z_1 = \frac{P_2}{\rho_{H2O} * g} + \frac{1}{2 * g} * V_2^2 + h_L + z_2$$

Donde: $V_1 = 0$

$$h_b = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{H2O} * g} + \frac{1}{2} * \frac{V_2^2}{g} + z_1 + h_L$$

La velocidad V_2 que poseerá el fluido será calculada basado en el caudal y en el área de tubería. Para este caso se seleccionó una tubería de ½ pulgada de acero inoxidable y un caudal de 5 GPM.

$$Q = V_2 * A$$

$$V_2 = \frac{Q}{A}$$

$$V_2 = \frac{3.15 \times 10^{-4}}{\pi * \frac{0.0127^2}{4}}$$

$$V_2 = 2.49 \text{ m/s}$$

Para el caso de las pérdidas, se considerarán tanto pérdidas mayores como menores, es decir pérdidas por tubería y por accesorios colocados.

$$h_L = \frac{1}{2} * \frac{V_2^2}{g} * \left(\frac{f * L}{D_{tubería}} + K_{válvula} + K_{acople T} + K_{entrada} + K_{salida} \right)$$

Para calcular el coeficiente de fricción f se procede a calcular el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería.

Número de Reynolds

$$Re = \frac{V_2 * D_{tubería}}{\nu}$$

$$Re = \frac{2.49 * 0.0127}{0.000000564}$$

$$Re = 52978.72 \text{ (Flujo turbulento)}$$

Rugosidad relativa

$$\frac{\varepsilon}{D_{tubería}} = \frac{0.015}{12.7} = 0.0011$$

Observando en el diagrama de Moody, se obtiene que:

$$f = 0.0018$$

Reemplazando:

$$h_L = \frac{1}{2} * \frac{2.49^2}{9.8} * \left(\frac{0.0018 * 1}{0.0127} + 0.3 + 1 + 1 \right)$$

$$h_L = 0.77 \text{ m}$$

$$h_b = \frac{5.61 \times 10^6}{988.7 * 9.8} + \frac{1}{2} * \frac{2.49^2}{9.8} - 1 + 0.77$$

$$h_b = 579.86 \text{ m}$$

Potencia de la bomba para tubería de agua

$$P = \rho_{H_2O} * g * Q_{agua} * h_b$$

$$P = 988.7 * 9.8 * 3.155 \times 10^{-4} * 579.86$$

$$P = 1772.60 \text{ W} = 2.38 \text{ hp}$$

Sistema de transmisión

Utilizando el software Inventor fue posible estimar las inercias de cada uno de los elementos involucrados en el proceso de centrifugado:

Tabla A. 1 Tabla de inercias de la máquina [Elaboración propia]

Elemento	Inercia [kg*mm ²]
Distribuidor	459.94
Cono superior	187952.52
Cono inferior	182918.91
Disco (Cantidad: 50)	12012.20
Tazón inferior	47001.09
Disco superior	2365.89

Total	432710.56
-------	-----------

Con dicha inercia se procedió a calcular la el torque necesario para que la centrifugadora comience a funcionar:

$$T = I_{total} * \alpha$$

La aceleración angular está relacionada con la velocidad angular que poseerá la centrifugadora al momento de operar y al tiempo que le toma a la misma llegar a dicho tiempo. Se desea que la velocidad de rotación de la centrifugadora se alcance en un tiempo promedio de 60 segundos.

Con dicho tiempo el valor de la aceleración angular puede ser calculado como:

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_o}{t}$$

$$\alpha = \frac{733.032 - 0}{60}$$

$$\alpha = 12.21 \text{ rad/s}^2$$

Reemplazando en la ecuación del torque se obtiene:

$$T = 0.43 * 12.21$$

$$T = 5.28 \text{ [N * m]}$$

$$P = T * \omega$$

$$P = 5.28 * 733.032$$

$$P = 3875.024 \text{ [W]} = 5.20 \text{ [hp]}$$

Se consideró un factor de seguridad de 1.4 para la potencia del motor.

$$P = 5.20 * 1.4 = 7.28 \text{ [hp]}$$

Debido a esto se escogió un motor de 7.5 hp.

Sistema de transmisión del motor

Para el diseño del sistema de transmisión, se consideró la velocidad que provee el motor y la velocidad a la cual se requiere operar.

Velocidad del motor: $\omega_{motor} = 3600 \text{ rpm}$

Velocidad de operación de la centrifugadora: $\omega_{operación} = 7000 \text{ rpm}$

La relación de poleas está dada por la expresión:

$$\omega_{motor} * d_{polea\ motor} = \omega_{operación} * d_{polea\ eje}$$

Se escogió un diámetro de polea para el motor de 6 in (15.24 cm) dando como resultado:

$$3600 * 6 = 7000 * d_{polea\ eje}$$

$$d_{polea\ eje} = \frac{3600 * 6}{7000}$$

$$d_{polea\ eje} = 3.086\ in = 7.83\ cm$$

Para este caso se utilizará una banda tipo V cuya sección es B-55. La banda utilizada posee una circunferencia interior de 55 in (139.700 cm).

Longitud de paso

Sección de la banda	A	B	C	D	E
Cantidad a sumar	1.3	1.8	2.9	3.3	4.5

Figura A. 10 Coeficientes para calcular la longitud de paso de la banda dependiendo de la sección [Budynas & Nisbett, 2008]

La longitud de paso de la banda está dada por la siguiente ecuación:

$$L_p = L + L_c$$

De acuerdo con la banda elegida, el valor de $L = 55\ in$ y según la figura A.5 sección B, el valor de $L_c = 1.8\ in$.

$$L_p = 55 + 1.8$$

$$L_p = 56.8\ in = 144.27\ cm$$

Distancia centro a centro

Para determinar la distancia de centro a centro de las poleas (C), se la despejó de la siguiente expresión:

$$L_p = 2C + \frac{\pi(d_{polea\ eje} + d_{polea\ motor})}{2} + \frac{(d_{polea\ motor} - d_{polea\ eje})^2}{4C}$$

$$C = 0.25 * \left(\left[L_p - \frac{\pi}{2}(d_{polea\ eje} + d_{polea\ motor}) \right] + \sqrt{\left[L_p - \frac{\pi}{2}(d_{polea\ eje} + d_{polea\ motor}) \right]^2 - 2(d_{polea\ motor} - d_{polea\ eje})^2} \right)$$

$$C = 0.25 * \left(\left[56.8 - \frac{\pi}{2}(3.086 + 6) \right] + \sqrt{\left[56.8 - \frac{\pi}{2}(3.086 + 6) \right]^2 - 2(6 - 3.086)^2} \right)$$

$$C = 21.214\ in = 53.88\ cm$$

Velocidad de la banda

La velocidad de la banda dependerá de las revoluciones que experimentará y el diámetro de la polea. Siendo ésta calculada por la siguiente expresión:

$$V = \frac{\pi * d_{polea\ eje} * \omega_{operación}}{12}$$
$$V = \frac{\pi * 3.086 * 7000}{12}$$
$$V = 5655.39 \frac{ft}{min} = 28.72 m/s$$

Potencia de diseño

La potencia de diseño se la encuentra empleando la siguiente ecuación:

$$H_d = H_{nom} * K_s * n_d$$

Dicha ecuación relaciona la potencia nominal que experimenta la banda, es decir la potencia del motor empleado, el factor de diseño n_d el cual será igual a 1.25 y el factor de servicio K_s .

El factor K_s depende del tipo servicio al cual estará expuesta la banda, dicho factor se seleccionó de la figura adjunta:

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Figura A. 11 Factor de servicio K_s [Budynas & Nisbett, 2008]

El factor de servicio seleccionado fue de 1.25. Reemplazando:

$$H_d = 7.5 * 1 * 1.25$$

$$H_d = 9.37 [hp]$$

Potencia permitida por banda

$$H_a = K_1 * K_2 * H_{tab}$$

La ecuación de la potencia permitida por banda relaciona la potencia tabulada (H_{tab}) que soporta la banda dependiendo del tipo de sección, el factor K_2 el cual corresponde a un factor de corrección de la longitud de la misma y el factor K_1 el cual corresponde a un factor de corrección del ángulo de contacto.

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
	7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90

Figura A. 12 Potencia permitida según la sección de la banda [Budynas & Nisbett, 2008]

$\frac{D-d}{C}$	θ , grados	VV	K_1 Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

Figura A. 13 Coeficiente K1 [Budynas & Nisbett, 2008]

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

Figura A. 14 Factor de longitud de la banda [Budynas & Nisbett, 2008]

De las tablas previamente mostradas, se obtiene que: $K_1 = 0.99$, $K_2 = 1$ y $H_{tab} = 5.01$.

Reemplazando:

$$H_a = 0.99 * 1 * 5.01$$

$$H_a = 4.95 [hp]$$

Número de bandas

$$N_b \geq \frac{H_d}{H_a}$$

$$N_b \geq \frac{9.37}{4.95}$$

$$N_b \geq 2$$

Se usarán 3 bandas.

Tensión debido a la fuerza centrífuga

$$F_c = K_c * \left(\frac{V}{1000} \right)^2$$

Sección de la banda	K_b	K_c
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1 098	1.217
8V	4 830	3.288

Figura A. 15 Coeficientes K_b y K_c [Budynas & Nisbett, 2008]

$$F_c = 0.965 * \left(\frac{5655.39}{1000} \right)^2$$

$$F_c = 30.86 \text{ [lbf]} = 137.28 \text{ [N]}$$

$$\Delta F = F_1 - F_2$$

$$\Delta F = \frac{63025 * H_d / N_b}{\omega_{polea\ eje} * \left(\frac{d_{polea\ eje}}{2} \right)}$$

$$\Delta F = \frac{63025 * 9.375 / 3}{7000 * \left(\frac{3.086}{2} \right)} = 18.23 \text{ lb}$$

Tensión del lado ajustado

La tensión en el lado tirante dependerá de la tensión debido a la fuerza centrífuga previamente calculada, así como del ángulo de contacto (ϕ) y del coeficiente de fricción definido para la polea ($f=0.5123$).

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F * e^{f*\phi}}{e^{f*\phi} - 1}$$

$$\phi = \pi - 2 * \text{sen}^{-1} \left(\frac{D - d}{2 * C} \right)$$

Reemplazando:

$$\phi = \pi - 2 * \text{sen}^{-1} \left(\frac{6 - 3.086}{2 * 38.736} \right)$$

$$\phi = 3.06 \text{ rad}$$

$$F_1 = 30.86 + \frac{18.23 * e^{0.5123*3.06}}{e^{0.5123*3.06} - 1}$$

$$F_1 = 53.88 \text{ lbf} = 239.69 \text{ [N]}$$

Tensión del lado holgado

Debido a que previamente se calculó la diferencia entre ambas tensiones tanto del lado ajustado como tirando, se pudo despejar y obtener de esta manera la tensión del lado holgado.

$$\begin{aligned}F_2 &= F_1 - \Delta F \\F_2 &= 53.85 - 18.23 \\F_2 &= 35.65 \text{ lbf} = 158.57 \text{ [N]}\end{aligned}$$

Tensión inicial

La tensión inicial es parte fundamental del funcionamiento correcto de la banda, el cálculo de la misma relaciona todas las tensiones previamente calculadas con la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}F_i &= \frac{F_1 + F_2}{2} - F_c \\F_i &= \frac{53.88 + 35.65}{2} - 30.86 \\F_i &= 13.90 \text{ lbf} = 61.84 \text{ [N]}\end{aligned}$$

Factor de seguridad

El factor de diseño es una de las variables más importantes a considerar ya que permitirá saber si la selección de la banda para la aplicación a realizar es la correcta.

$$\begin{aligned}n_{fs} &= \frac{H_a * N_b}{H_{nom} * K_s} \\n_{fs} &= \frac{4.959 * 3}{9.375 * 1} = 1.58\end{aligned}$$

El factor de seguridad es mayor a 1 siendo la selección de la banda correcta.

Diseño de eje

Para diseñar el eje fue necesario calcular todas las fuerzas que se encuentran involucradas en el mismo.

Torque del eje

El eje posee un torque el cual es equivalente a la potencia entregada por el motor, así como a las revoluciones a las cuales este girará.

$$\begin{aligned}P &= T * \omega_{eje} \\T &= \frac{P}{\omega_{eje}}\end{aligned}$$

$$T = \frac{5592.75}{733.032}$$

$$T = 7.63 [N * m]$$

Diámetro del eje

Para determinar el diámetro del eje fue necesario realizar un diagrama de cuerpo libre en cada uno de los planos en los cuales se experimentan fuerzas. La longitud del eje escogida fue de 48 cm.

Plano horizontal (Eje Z)

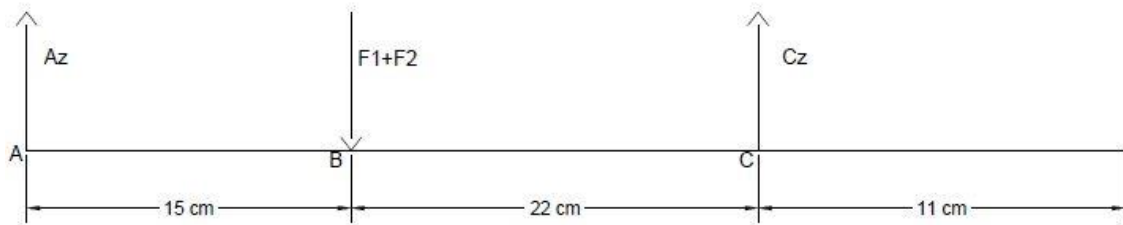


Figura A. 16 Diagrama de cuerpo libre [Elaboración propia]

Se aplica sumatoria de fuerzas y momentos (todas las fuerzas hacia abajo fueron consideradas negativas y los momentos antihorarios como positivos):

$$\sum F_z = 0$$

$$A_z - F_1 - F_2 + C_z = 0$$

$$A_z - 239.69 - 158.57 + C_z = 0$$

$$A_z + C_z = 398.27$$

$$A_z = 236.80 [N]$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-(F_1 + F_2) * 0.15 + C_z * 0.37 = 0$$

$$-(239.69 + 158.57) * 0.15 + C_z * 0.37 = 0$$

$$C_z = 161.46 [N]$$

Una vez obtenidas las fuerzas involucradas se requirió determinar el momento máximo en cada punto.

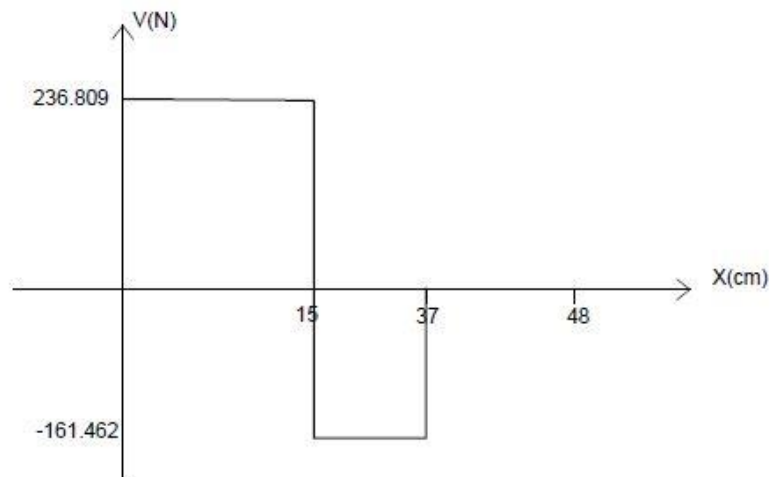


Figura A. 17 Diagrama de esfuerzo cortante [Elaboración propia]

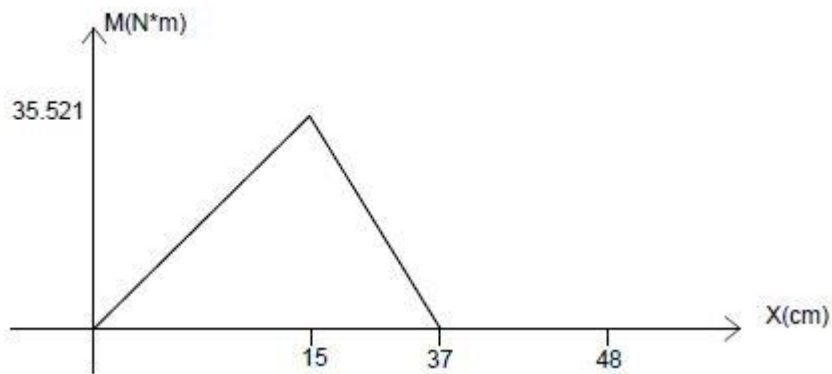


Figura A. 18 Diagrama de momento flector [Elaboración propia]

Para calcular los diámetros, se utilizó la ecuación obtenida del libro de Mott para diseño de ejes:

$$D = \left(\frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{K_t * M}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{1/3}$$

Las variables S_e y S_y dependen del material a utilizar, en este caso se usará acero AISI 304 cuyas propiedades son:

$$S_y = 215 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 505 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad N a considerar es de 2.5

En el caso de la variable S_e , esta depende de la siguiente ecuación:

$$S_e = 0.5 * S_{ut} * k_a * k_d * k_e$$

El factor k_a se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$k_a = a * (S_{ut})^b$$

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Figura A. 19 Valores del factor ka [Budynas & Nisbett, 2008]

Los valores de a y b se obtienen de la table adjunta en la se consideró que el eje será maquinado.

$$k_a = 4.51 * (505)^{-0.265}$$

$$k_a = 0.86$$

El factor k_d hace referencia a la temperatura de operación, el cual se puede observar en la siguiente tabla como S_t/S_{rt} . Se consideró que una temperatura máxima de 55°C.

Temperatura, °C	S_t/S_{RT}	Temperatura, °F	S_t/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Figura A. 20 Valores del coeficiente kd [Budynas & Nisbett, 2008]

Interpolando de la tabla se obtiene:

$$k_d = 1.01$$

Finalmente, el factor k_e hace referencia a la confiabilidad la cual se consideró de 99%.

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_u	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura A. 21 Valores del coeficiente k_e [Budynas & Nisbett, 2008]

$$k_e = 0.81$$

Reemplazando:

$$S_e = 0.5 * 505 * 0.86 * 1.01 * 0.84$$

$$S_e = 180.15 \text{ [Mpa]}$$

Para el punto A, solo se experimenta el torque ya que no hay momento en el mismo, reemplazando en la ecuación previamente calculada:

$$D_A = \left(\frac{32 * 2.5}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{K_t * 0}{S_e}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{7.63}{215 * 10^6}\right)^2} \right)^{1/3}$$

$$D_A = 0.0092 \text{ [m]} = 0.92 \text{ cm}$$

Para el punto B, experimenta tanto torque como momento:

$$D_B = \left(\frac{32 * 2.5}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{2.5 * 35.52}{180.15 * 10^6}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{7.63}{215 * 10^6}\right)^2} \right)^{1/3}$$

$$D_B = 0.023 \text{ m} = 2.32 \text{ cm}$$

Para el punto C, al igual que para el caso de A. Solo experimentará torque:

$$D_C = \left(\frac{32 * 2.5}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{K_t * 0}{S_e}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{7.63}{215 * 10^6}\right)^2} \right)^{1/3}$$

$$D_C = 0.0092 \text{ m} = 0.92 \text{ cm}$$

Debido a lo anterior, el eje poseerá una longitud de 480 mm y 3 secciones con diámetros de: 30 mm, 32 mm y 35mm respectivamente.

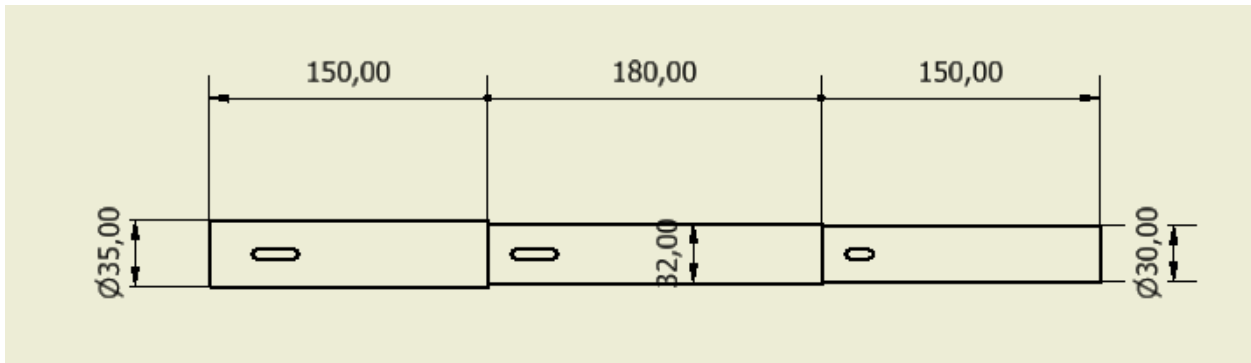


Figura A. 22 Dimensiones del eje de transmisión [Autodesk Inventor Student, 2020]

Cálculo de carga dinámica para rodamientos

Utilizando las siguientes expresiones se procedió a calcular la carga dinámica de los rodamientos con el fin de seleccionar los mismos.

$$P = VXR + YT$$

Donde:

P: Carga equivalente [N]

V: Factor de rotación

R: Carga radial aplicada [N]

T: Carga axial aplicada [N]

X: Factor radial

Y: Factor axial

Para el caso del primer rodamiento, la fuerza radial aplicada es de 236.809 N, mientras que la carga axial corresponde al peso del equipo que es de 2132.97 N. Para este caso, se utilizarán valores recomendados para los siguientes factores: X=0.56, V=1 y T=0.56. Se considerará un uso de 15000 horas.

$$P = 1 * 0.56 * 236.80 + 0.56 * 2132.97$$

$$P = 1327.08 [N]$$

Con el fin de calcular la carga dinámica es necesario calcular la vida del rodamiento mediante la siguiente expresión:

$$L_D = h * (\text{rpm}) * \left(60 \frac{\text{min}}{\text{h}}\right)$$

Donde:

L_D : Vida de los rodamientos [rev]

rpm: Velocidad de giro [rpm]

$$L_D = 15000 * (7000) * \left(60 \frac{\text{min}}{\text{h}}\right)$$

$$L_D = 6.3 \times 10^9 \text{ rev}$$

Finalmente se calcula la carga dinámica para dicho rodamiento:

$$C = P * \left(\frac{L_D}{10^6}\right)^{1/3}$$

Donde:

C: Carga dinámica [N]

L_D : Vida de los rodamientos [rev]

$$C = 1327.08 * \left(\frac{6.3 \times 10^9}{10^6}\right)^{1/3}$$

$$C = 24510.04 \text{ [N]}$$

Para el caso del otro rodamiento se realiza exactamente lo mismo, solo que la carga radial aplicada sobre el mismo es de 161.461 N.

$$P = 1 * 0.56 * 161.461 + 0.56 * 2132.97$$

$$P = 1284.88 \text{ [N]}$$

$$C = 1284.88 * \left(\frac{6.3 \times 10^9}{10^6}\right)^{1/3}$$

$$C = 23730.64 \text{ [N]}$$

APÉNDICE B - MEMORIA DE SIMULACIONES

La simulación del fluido en el interior de la máquina se realizó mediante la elaboración del modelo CFD en la versión estudiantil de ANSYS 2021 R2 Fluent. La figura B.1 muestra el procedimiento esquemático que se siguió para realizar la simulación.

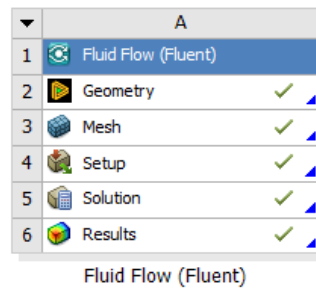


Figura B. 1 Esquemático de la simulación [Ansys Student, 2021]

En primer lugar, se procedió a generar la geometría, para ello se importó un archivo de tipo .stp, desde el entorno del programa CAD Autodesk Inventor. Debido a las limitaciones de la versión estudiantil, se procedió a desarrollar simplificaciones del modelo. Se trabajó con una geometría que comprendía 1/4 del volumen total de la máquina, esto es, se trabajó con una porción de 90° del equipo, además de eliminar la tubería de alimentación.

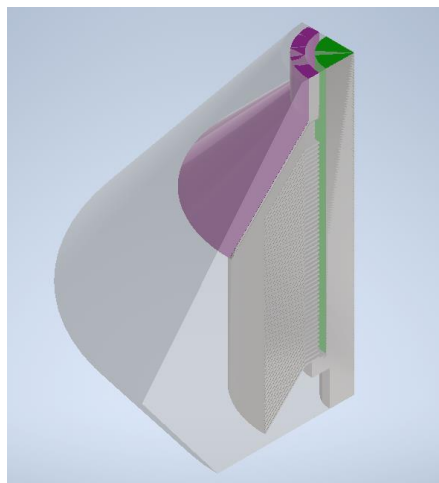


Figura B. 2 Porción de 90° del equipo [Autodesk Inventor, 2020]

Una vez importado el archivo, se usó la opción booleana para sustraer los elementos interiores (discos, disco superior y distribuidor) del volumen sólido. La figura B.3, muestra la geometría final con la que se trabajó.

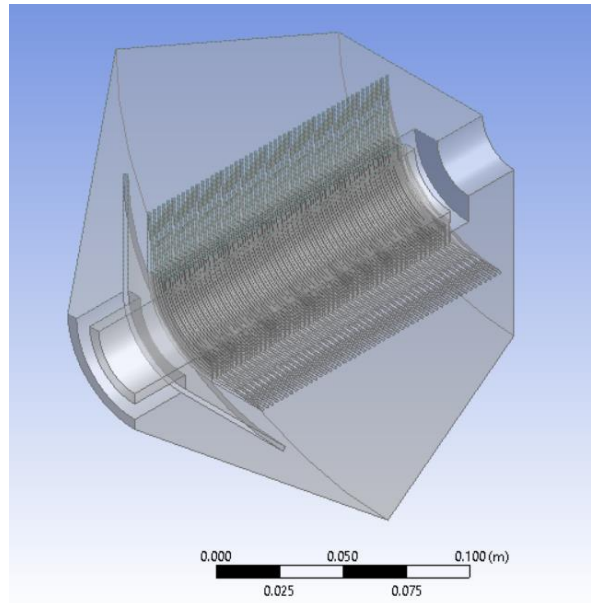


Figura B. 3 Geometría de la simulación [Ansys Fluent, 2021]

Una vez creada la geometría se procedió a indicar las entradas y salidas del sistema. En la figura B.4, se presenta la entrada (inlet) por donde ingresa el fluido, marcado con flechas azules, y las dos salidas (outlet) por donde salen los fluidos, marcado con flechas rojas.

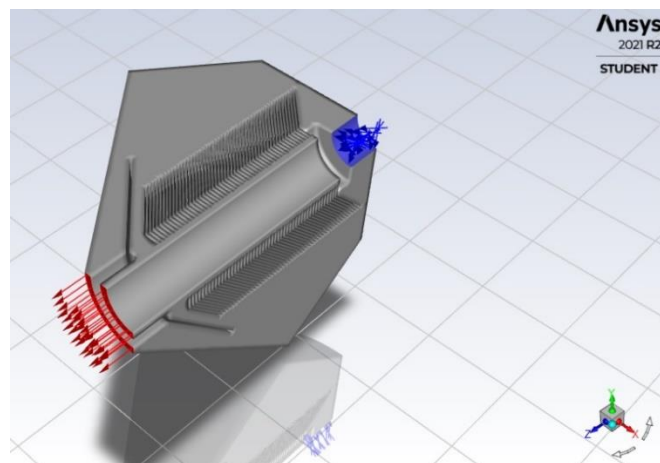


Figura B. 4 Entradas y salidas de la geometría [Ansys Student, 2021]

Luego se procedió a realizar el mallado, donde luego de varias iteraciones se definió un tamaño de elemento de 3×10^{-3} m, ya que con ese tamaño no se excedía el número máximo de elementos permitidos en la versión estudiantil.

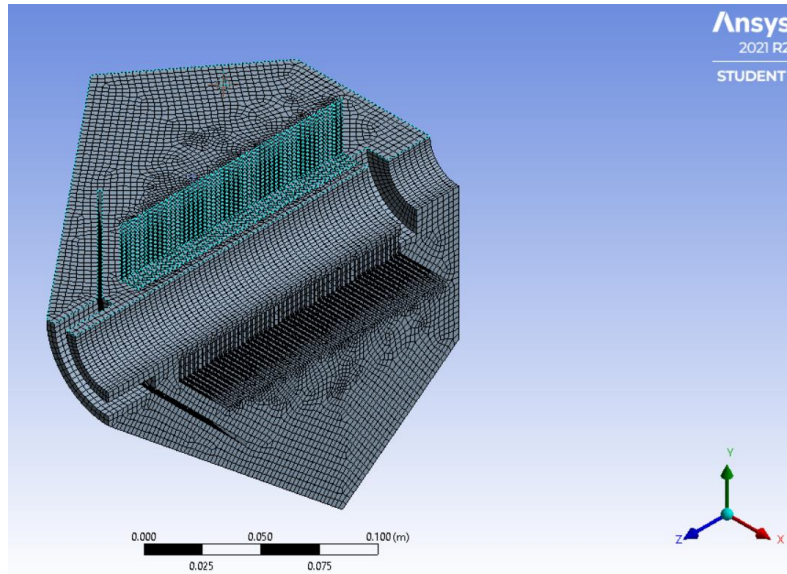


Figura B. 5 Mallado final de la geometría [Ansys Student, 2021]

Posteriormente, se realizó la configuración de la simulación. Se escogió una solución basada en la presión y el esquema de estado estacionario para el solucionador de fase continua, considerando que el equipo alcanza un comportamiento estable antes de que se puedan recolectar los fluidos centrifugados (Ekin & Çerçi, 2020).

Los modelos escogidos para la simulación se activó el modelo de energía, y para el modelo de viscosidad se escogió el standard k-epsilon donde se configuró para que considere los efectos térmicos sobre las paredes.

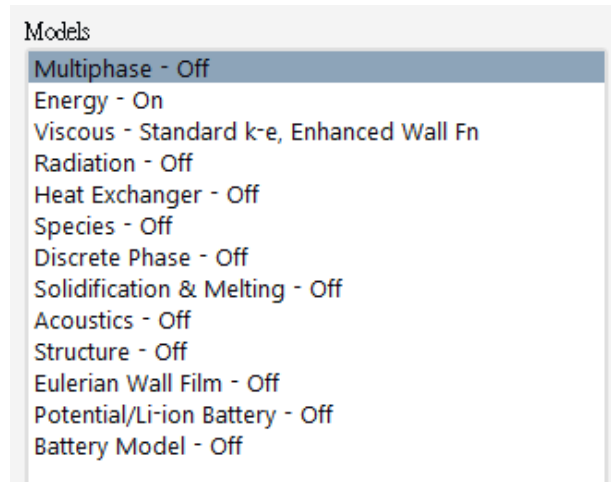


Figura B. 6 Modelos aplicados en la simulación [Ansys Student, 2021]

Se configuró la simulación para que considere la rotación del fluido. Para ello, se determinó el origen del eje de rotación, como se muestra en la figura B.7, que corresponde a la base de la máquina centrifugadora, en el centro de lo que sería la tubería de alimentación. Además, se estableció una velocidad de rotación de 733.038 rad/s.

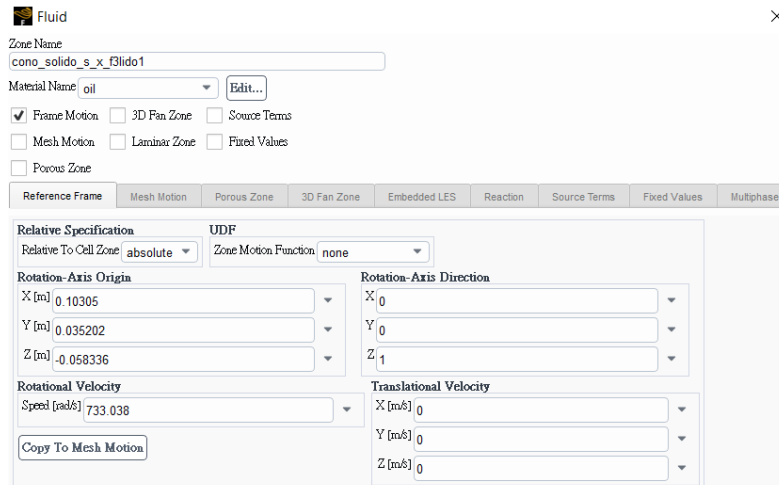


Figura B. 7 Configuración del Cell Zone [Ansys Student, 2021]

Las condiciones de borde se definieron de acuerdo con los cálculos y especificaciones de diseño definidos previamente. En la entrada, el fluido ingresa a una velocidad de 0.996 m/s a una temperatura de 322 K. Mientras que, a la salida, se estableció una presión manométrica igual a 0, es decir igual a la atmosférica.

Para la solución se establecieron residuales de 0.001 para todas las ecuaciones, en un máximo de 100 iteraciones. Esto implica que el programa, resuelve las ecuaciones hasta

que las soluciones converjan es decir obtener un residuo de todas las ecuaciones menor o igual a 0.001, o hasta alcanzar las 100 iteraciones.

Finalmente, con los resultados se procedió a obtener gráficas de los contornos de presión, velocidad, temperatura y esfuerzo cortante sobre las paredes.

APÉNDICE C - SELECCIÓN DE COMPONENTES

Sistema de entrada

Según los cálculos expuestos previamente, para el caso del sistema de entrada fue necesario la implementación de dos bombas de ½ hp cada una. Sin embargo, se tuvo que considerar que dichas bombas funcionen dentro del rango de caudal con el cual se iba a trabajar. Así mismo, se requería de un calentador con una potencia de 12kW y de un mezclador con una potencia de 1hp para ser utilizados con el fin de elevar la temperatura del aceite previo al ingreso a la centrifugadora.

Por esta razón los componentes seleccionados para este caso se detallan en la tabla a continuación:

Tabla C. 1 Componentes del sistema de entrada [Elaboración propia]

Equipo	Característica
Bomba para aceite 'DudaDiesel'	Potencia: 1HP Caudal máximo: 20GPM
Bomba para aceite 'DudaDiesel'	Potencia: 1/2HP Caudal máximo: 8GPM
Calentador eléctrico (Acero AISI 304)	Potencia: 12kW
Mezclador para aceite (Acero AISI 304)	Potencia: 1HP Rango de velocidad: 1-139 RPM

Sistema de transmisión

Para el caso del sistema de transmisión se seleccionó el motor, según los cálculos realizados se debía utilizar un motor de 7.5hp de 3600 rpm (60 Hz). Debido a que la implementación del proyecto será dentro de ESPOL, se utilizó un motor trifásico con el fin de ahorrar energía.

Así mismo para el caso de las poleas tanto impulsora como impulsada, se utilizó un diámetro de 6 y 3 in respectivamente.

La banda seleccionada corresponde a una banda sección B de la marca PIX como se puede observar dichas bandas resisten una velocidad máxima de 30 m/s. El proyecto realizado posee una velocidad de banda de 28.729 m/s por lo que la selección es la adecuada. La distancia entre centro es de 21.214 in. En la figura C.1, se encuentran las demás características correspondientes a la banda escogida.

SECCIÓN CLÁSICA: B

Correas trapezoidales con revestimiento	Información Útil
Normas para correas standard	Factor de Longitud de la Correa (mm)
ISO 4183, ISO4184, BS3790, DIN2215	- Lp a La - 26
Características	- Li a Lp - 43
· Resistentes al Aceite	- Li a La - 69
· Antiestáticas	Gama de fabricación
· Gama de temperatura: -18°C a + de 80°C	- 406 - 16713 mm
· Velocidad máxima lineal de la correa: 30m/seg.	Peso por metro (Kgs)
· Correas con certificado ATEX y FRAS disponibles bajo demanda	- 0,182
	Dia. Min. de la Polea
	- 112 dp (mm)

Longitud Nominal: Longitud Interior (Li) en pulgadas
Las correas "PIX" FRAS cumplen con las normas: II ZGD c IIB X (Informe de la prueba nº IB-03-4-934)

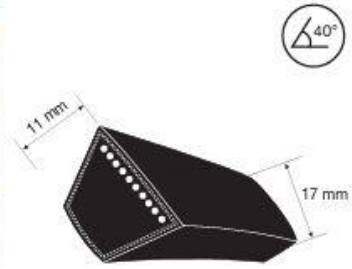


Figura C. 1 Características de la banda B-55 [SADI TRANSMISIONES S.L., s/f]

Finalmente se seleccionaron los rodamientos para que el eje pueda ser fijado. Para esto se consideró que dichos rodamientos debían de resistir una carga dinámica de 24510.04 [N] y 23730.64 [N]. Por lo cual se seleccionaron rodamientos del catálogo de Translink.

RODAMIENTOS / BEARINGS / ROULEMENTS / KUGELLAGER UCX200

Rodamiento Bearing Unit Roulement Kugellager No.	Diámetro del eje Shaft Diameter Diamètre du vile Achsenabmessung		Dimensiones Dimensions Dimensionen						Índice de carga básica Basic load rating Indice de charge de base Grundlasttragzahl		Peso Weight Poids Gewicht Mkg		
	in	mm	d	b	c	s	s1	g	h	ds			
UCX 205-14	7/8		62	38.1	19	15.9	22.2	6	5	MX1	19500	11200	0.42
205-15	15/16		2,4409	1,5000	0,7480	0,6260	0,8740	0,2362	0,1969	1/4-28UNF			0.40
205		25											0.39
205-16	1												0.38
UCX 206-18	1-1/8		72	42.9	20	17.5	25.4	6.5	5.8	MX1	25700	15200	0.58
206		30	2,8346	1,6890	0,7874	0,6890	1,0000	0,2559	0,2283	5/16-24UNF			0.58
206-19	1-3/16												0.58
206-20	1-1/4												0.55
UCX 207-22	1-3/8		80	49.2	21	19	30.2	8	6.3	MX1	29600	18200	0.75
207		35	3,1496	1,9370	0,8268	0,7480	1,1890	0,3150	0,2480	5/16-24UNF			0.75

Figura C. 2 Características de los rodamientos [Translink, s/f]

Tabla C. 2 Componentes del sistema de transmisión [Elaboración propia]

Equipo	Característica
Motor Trifásico 'WEG'	7.5HP 3600 RPM 60Hz
Diámetro de polea impulsora	6 in
Diámetro de polea impulsada	3.086 in
Bandas	3 bandas tipo V (B-55)
Rodamiento Translink UCX 207	Diámetro 35 mm
Rodamiento Translink UCX 206	Diámetro 30 mm

Sistema de agua

Para el sistema de agua según los cálculos previamente mostrados fue necesario la implementación de una bomba, la misma que debía ser de 3hp con el fin de trasladar el agua hacia la máquina. La bomba seleccionada fue: Bomba centrífuga THEBE 3HP.

Sistema de control

El sistema de control cuenta con una serie de transductores que permiten monitorear las distintas variables que intervienen en el proceso de centrifugación.

La medición de la temperatura se realiza mediante una termocupla PT100, que es un transductor de temperatura que tiene señales de salida análogas de 4 a 20 mA. Esta termocupla se coloca en el mezclador para monitorear la temperatura de mezclado del aceite y el gas, que está establecido en 42 °C.

El sistema de agua cuenta con dos válvulas solenoides de 1 pulgada, colocadas una en la tubería de entrada y otra en la tubería de salida. Estos se programan de tal manera de que se abran y cierren cada cierto intervalo de tiempo, permitiendo la presurización dentro del water disc.

El manómetro diferencial y la válvula de bloqueo y purga funcionan en conjunto, para asegurar que la presión del vapor que ingresa al mezclador sea siempre la adecuada. Si la presión medida por el manómetro supera el valor definido (presión 1 atm), la válvula de purga se activa liberando vapor al ambiente, reduciendo la presión en la tubería.

Para asegurar que el flujo volumétrico en las tuberías de entrada sean las adecuadas, se emplean caudalímetros que envían la información al controlador, en caso de que se requiera un caudal distinto, el controlador envía la señal a los variadores de frecuencia que, a su vez, permiten variar la velocidad de rotación tanto del motor como las bombas. Para monitorear la velocidad a la que gira las bombas y motores se emplean encoder incrementales.

Las distintas variables que intervienen en el sistema se controlan mediante un PLC (Controlador Lógico Programable), se escogió el LOGO 8 SIEMENS, que cuenta con 8 entradas digitales y 4 análogas, y su vez 4 salidas digitales. En caso de que se requieran más entradas o salidas a futuro, el PLC permite agregar módulos de expansión. En la tabla que se presenta a continuación:

Tabla C. 3 Componentes del sistema de control [Elaboración propia]

Equipo	Característica
--------	----------------

Termocupla PIXSYS	Temperatura: 0-500 °C
Electroválvula ASCO	Diámetro: 1 in Presión: 125-150 psi
PLC LOGO 8 SIEMENS	Entrada: 8 digitales, 4 análogas Salida: 4 digitales Voltaje: 12/24 DC
Variador ABB	Potencia: 7.5 HP
Variador KEWO	Potencia: 3 HP
Variador KEWO	Potencia: 1 HP
Encoder incremental	1500 pulsos/rev
Válvula de bloqueo y purga BVV Winters Instruments	Diámetro: 1 in
Caudalímetro TACTICAL FLOW METER	Diámetro: 1 in
Manómetro diferencial PDT Winters Instruments	PDT 22 psi

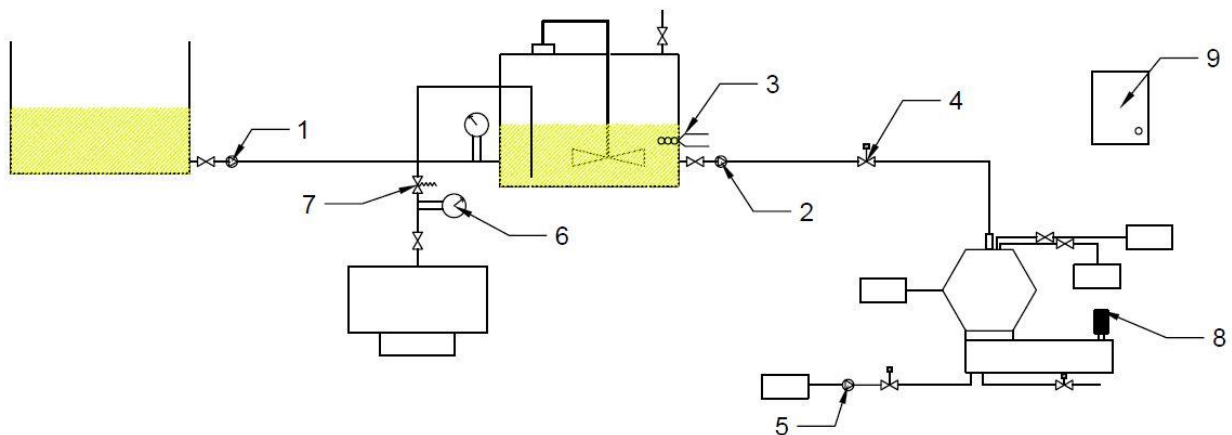


Figura C. 3 Componentes del sistema de control [Autodesk Autocad, 2020]

1. Encoder incremental para bomba de aceite ½ HP
2. Encoder incremental para bomba de aceite 1 HP
3. Termocupla PT-100
4. Válvula solenoide
5. Encoder incremental para bomba centrífuga de 3 HP
6. Manómetro diferencial
7. Válvula de bloqueo y purga
8. Encoder incremental para motor de 7.5 HP
9. Tablero de control

APÉNDICE D - DETALLE DE COSTOS POR SISTEMA Y MANO DE OBRA

A continuación, se muestran los precios de cada uno de los sistemas que componen al proyecto.

Sistema de entrada

Tabla D. 1 Detalle de costos del sistema de entrada [Elaboración propia]

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio total
2	Tubo redondo Acero Inoxidable AISI 304 1 in 6 metros	\$27.32	\$54.64
4	Plancha de Acero Inoxidable AISI 304 1220mmx2440mmx1mm	\$108.42	\$433.68
1	Bomba para aceite 1 HP 20 gpm WCB75	\$570.09	\$570.09
1	Bomba para aceite de ½ HP 8 gpm	\$482.36	\$482.36
3	Válvula de compuerta 1 in	\$16.17	\$48.51
1	Mezclador de 1 HP	\$392.00	\$392.00
1	Calentador eléctrico de inmersión	\$48.22	\$48.22
Total			\$2,029.50

Máquina centrífugadora

Tabla D. 2 Detalle de costos de la máquina centrífugadora [Elaboración propia]

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
1	Eje AISI 3.5 in (2 metros)	\$612.50	\$612.50
1	Tubo redondo Acero Inoxidable AISI 304 1 in 6 metros	\$27.32	\$27.32
4	Tornillo Allen ¼ in x 2 in HG GR 5	\$0.10	\$0.40
6	Perno de cabeza hexagonal 9/16 in x 4 ½ in HG GR 5	\$1.83	\$10.98

8	Tornillo Allen 5/8 in x 4 ½ in HG GR 5	\$1.35	\$10.80
6	Tuerca 9/16 in HG G5	\$0.20	\$1.20
4	Anillo presión ¼ in	\$0.01	\$0.04
12	Anillo presión 9/16 in	\$0.05	\$0.60
8	Anillo presión 5/8 in	\$0.10	\$0.80
4	Plancha de Acero Inoxidable AISI 304 1220mmx2440mmx4mm	\$444.82	\$1779.28
2	Plancha de Acero Inoxidable AISI 304 1220mmx2440mmx1mm	\$108.42	\$216.84
Total			\$2,660.76

Sistema de transmisión

Tabla D. 3 Detalle de costos del sistema de transmisión [Elaboración propia]

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio total
1	Eje AISI 304 2 in (2 metros)	\$200	\$200
1	Rodamiento TRANSLINK 35 mm	\$12.30	\$12.30
1	Rodamiento TRANSLINK 25 mm	\$8.30	\$8.30
1	Polea de 3 canales 6 in	\$49.90	\$49.90
1	Polea de 3 canales 3 in	\$21.23	\$21.23
1	Motor WEG 7.5HP 3600 RPM Trifásico	\$454.66	\$454.66
3	Banda tipo B-55	\$5.58	\$16.74
Total			\$763.00

Sistema de agua

Tabla D. 4 Detalle de costos del sistema de agua [Elaboración propia]

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
1	Bomba centrífuga THEBE 3HP	\$624.71	\$624.71
1	Tubo redondo Acero Inoxidable AISI 304 1/2 in 6 metros	\$16.37	\$16.37

Total	\$641.08
-------	----------

Sistema de control

Tabla D. 5 Detalle de costos del sistema de control [Elaboración propia]

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
1	Termocupla Cabezal PT-100 0-500°C PIXSYS	\$85.40	\$85.40
3	Electroválvula 1" 240 AC Vapor, 125-150 PSI ASCO	\$708.75	\$2126.25
1	LOGO 8 PLC 12/24 RCE Ethernet 8ED (4EA) / 4SD 12/24 VDC SIEMENS	\$218.00	\$218.00
2	LOGO 8 módulo de expansión AM2 RTD 2AI SIEMENS	\$163.00	\$326.00
2	LOGO 8 módulo de expansión AM2 AQ 2AO SIEMENS	\$194.00	\$388.00
1	Variador ABB 7.5 HP 5.5 KW/220V, ACS355-03E- 24*4-2	\$1037.00	\$1037.00
1	Panel control básico ABB ACS-CP-C para ACS310-355	\$81.00	\$81.00
2	Variador KEWO 1 HP 0.75 KW 230V 4A	\$198.46	\$396.92
1	Variador KEWO 3 HP 2.20 KW 230V 10A	\$316.89	\$316.89
4	Encoder incremental 1500 pulsos/rev	\$230.00	\$920.00
1	Manómetro diferencial PDT 22 psi	\$200.00	\$200.00
1	Válvula de bloqueo y purga BBV 1 in WINTERS	\$61.80	\$61.80
3	Medidor de flujo volumétrico MAG 1 in TACTICAL FLOW METER	\$1600.00	\$4800.00
Total			\$10,957.26

La cotización de la mano de obra de los distintos trabajadores que se requieren para la fabricación de la máquina centrifugadora se realizó en base a las actividades necesarias para el cumplimiento del mismo. En la tabla D.6, se presenta un detalle de los costos de mano de obra referenciales para cada trabajador por actividad.

Tabla D. 6 Detalle de costos por mano de obra [Elaboración propia]

Trabajador	Actividad	Costo de mano de obra
Soldador	Fabricación de los discos	\$50.00
	Fabricación de los conos, tazón y carcasas	\$250.00
	Fabricación de los componentes de la máquina	\$120.00
	Fabricación de la base	\$30.00
Tornero	Maquinado del eje de transmisión	\$35.00
	Maquinado del distribuidor	\$65.00
Eléctrico	Instalación de elementos de control	\$250.00
	Instalación control centralizado	\$400.00
	Tablero de motores y bombas	\$650.00
Ayudante	Instalación de elementos	\$50.00
	Montaje de elementos	\$50.00
Total		\$1950.00

APÉNDICE E - INTERVALOS DE MANTENIMIENTO

La tabla E.1 detalla los intervalos de tiempo máximos para las diferentes tareas de inspección de cada uno de los componentes. La tabla fue desarrollada en base a lo establecido en el Manual de instrucciones del SAMGONG – MITSUBISHI Selfjector Future Series (MITSUBISHI, s/f-b). Es importante notar que se debe realizar un monitoreo constante de los fluidos de salida, a fin de detectar posibles daños en los componentes del equipo.

Tabla E. 1 Intervalos máximos de inspección [MITSUBISHI, s/f-b]

	Componente	Detalles para inspeccionar	Intervalo (meses)
1	Carcasa superior e inferior	Holgura de los pernos	3
2		Contaminación de las tuberías de salida	6
3		Desgaste de las juntas tóricas	6
4		Sedimento depositado	3
5	Discos	Corrosión, deformación o grietas	6
6	Distribuidor	Deformación del chavetero	6
7	Cono superior e inferior	Desgaste de las juntas tóricas	6
8		Desgaste del orificio de salida del sedimento	6
9	Tazón inferior	Desgaste de la porción deslizante	6
10	Cámara de aceite	Obstrucción, contaminación, corrosión del interior	6
11	Cámara de agua	Obstrucción, contaminación, corrosión del interior	6
12	Tubería de alimentación	Daño de la sección roscada	6
13		Corrosión, desgaste de la tubería	12
14		Desviación de la tubería	12
15	Eje de transmisión	Desviación del eje	12
16		Desgaste de las secciones de acople	12
17		Corrosión, desgaste del eje	12
18		Desgaste del chavetero	12
19	Banda V	Desgaste de las bandas	6
20	Rodamientos	Corrosión y picadura en rodamientos	6
21	Water disc	Contaminación y obstrucción de la cámara	6
22		Desgaste de las juntas tóricas	6

APÉNDICE F – ANÁLISIS ECONÓMICO

Tabla F. 1 Flujo de caja del proyecto [Elaboración propia]

	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Unidades vendidas	0	123379	123503	123626	123750	123873	123997
Saldo inicial		-\$19,049.17	-\$13,597.50	-\$8,135.96	-\$2,964.54	\$2,516.78	\$8,007.99
Ingresos Operacionales							
Ventas en efectivo		\$22,208.26	\$22,230.46	\$22,252.69	\$22,274.95	\$22,297.22	\$22,319.52
Total de Ingresos Operacionales		\$22,208.26	\$22,230.46	\$22,252.69	\$22,274.95	\$22,297.22	\$22,319.52
Total de Ingresos		\$22,208.26	\$22,230.46	\$22,252.69	\$22,274.95	\$22,297.22	\$22,319.52
Egresos Operacionales							
Compra de mercancía / materia prima		\$12,337.92	\$12,350.26	\$12,362.61	\$12,374.97	\$12,387.35	\$12,399.73
Pago de nómina		\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00
Pago de Seguridad social		\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80
Pago de servicios públicos		\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86
Pago de mantenimiento				\$300.00			\$600.00
Total Egresos Operacionales		\$16,756.58	\$16,768.92	\$17,081.27	\$16,793.64	\$16,806.01	\$17,418.40
Egresos Iniciales							
Máquina de centrifugado	\$17,099.17						
Fabricación de máquina	\$1,950.00						
Total Egresos	\$19,049.17	\$16,756.58	\$16,768.92	\$17,081.27	\$16,793.64	\$16,806.01	\$17,418.40
Flujo de caja económico	-\$19,049.17	-\$13,597.50	-\$8,135.96	-\$2,964.54	\$2,516.78	\$8,007.99	\$12,909.11

Tabla F. 2 Flujo de caja del proyecto (Continuación) [Elaboración propia]

Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17
124121	124245	124370	124494	124619	124743	124868	124993	125118	125243	125368
\$12,909.11	\$18,420.15	\$23,941.12	\$29,172.03	\$34,712.89	\$40,263.71	\$45,224.50	\$50,795.27	\$56,376.03	\$61,666.79	\$67,267.56
\$22,341.84	\$22,364.18	\$22,386.55	\$22,408.93	\$22,431.34	\$22,453.77	\$22,476.23	\$22,498.70	\$22,521.20	\$22,543.72	\$22,566.27
\$22,341.84	\$22,364.18	\$22,386.55	\$22,408.93	\$22,431.34	\$22,453.77	\$22,476.23	\$22,498.70	\$22,521.20	\$22,543.72	\$22,566.27
\$22,341.84	\$22,364.18	\$22,386.55	\$22,408.93	\$22,431.34	\$22,453.77	\$22,476.23	\$22,498.70	\$22,521.20	\$22,543.72	\$22,566.27
\$12,412.13	\$12,424.54	\$12,436.97	\$12,449.41	\$12,461.86	\$12,474.32	\$12,486.79	\$12,499.28	\$12,511.78	\$12,524.29	\$12,536.81
\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00
\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80
\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86
		\$300.00			\$600.00			\$300.00		
\$16,830.80	\$16,843.21	\$17,155.63	\$16,868.07	\$16,880.52	\$17,492.98	\$16,905.46	\$16,917.94	\$17,230.44	\$16,942.95	\$16,955.48
\$16,830.80	\$16,843.21	\$17,155.63	\$16,868.07	\$16,880.52	\$17,492.98	\$16,905.46	\$16,917.94	\$17,230.44	\$16,942.95	\$16,955.48
\$18,420.15	\$23,941.12	\$29,172.03	\$34,712.89	\$40,263.71	\$45,224.50	\$50,795.27	\$56,376.03	\$61,666.79	\$67,267.56	\$72,878.34

Tabla F. 3 Flujo de caja del proyecto (Continuación) [Elaboración propia]

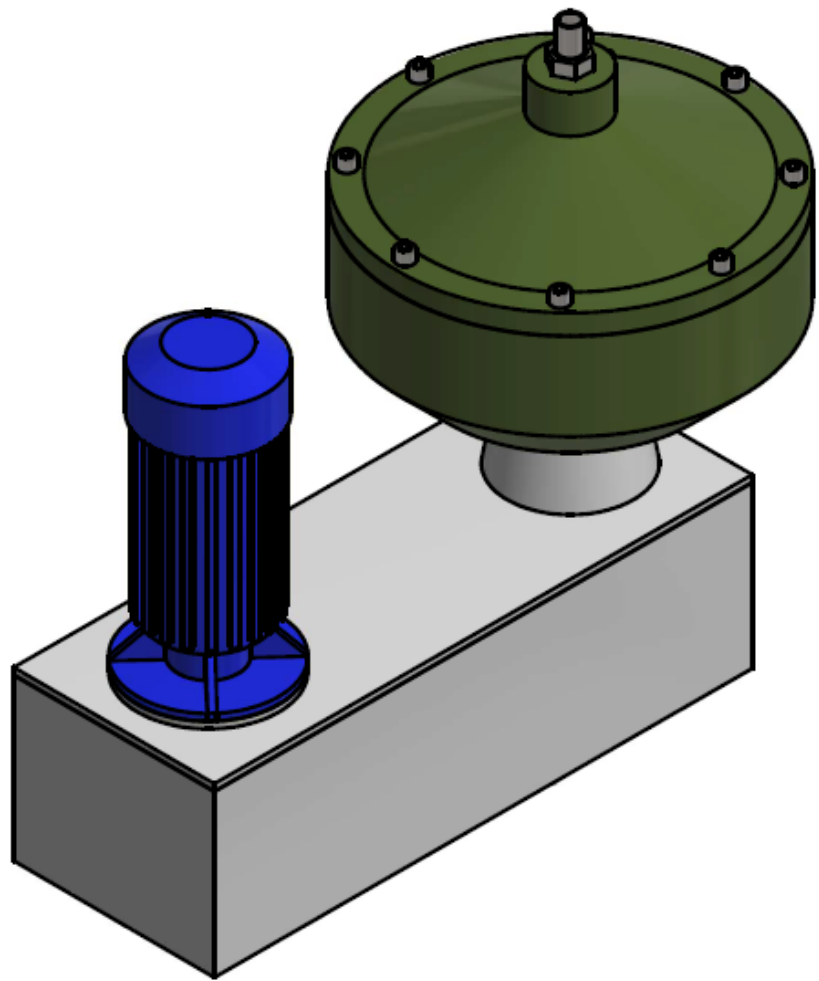
Mes 18	Mes 19	Mes 20	Mes 21	Mes 22	Mes 23	Mes 24
125494	125619	125745	125870	125996	126122	126248
\$72,878.34	\$77,899.16	\$83,530.02	\$89,170.92	\$94,521.89	\$100,182.92	\$105,854.03
\$22,588.83	\$22,611.42	\$22,634.03	\$22,656.67	\$22,679.32	\$22,702.00	\$22,724.70
\$22,588.83	\$22,611.42	\$22,634.03	\$22,656.67	\$22,679.32	\$22,702.00	\$22,724.70
\$22,588.83	\$22,611.42	\$22,634.03	\$22,656.67	\$22,679.32	\$22,702.00	\$22,724.70
\$12,549.35	\$12,561.90	\$12,574.46	\$12,587.04	\$12,599.62	\$12,612.22	\$12,624.84
\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00	\$1,200.00
\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80	\$133.80
\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86	\$3,084.86
\$600.00			\$300.00			\$600.00
\$17,568.02	\$16,980.57	\$16,993.13	\$17,305.70	\$17,018.29	\$17,030.89	\$17,643.50
\$17,568.02	\$16,980.57	\$16,993.13	\$17,305.70	\$17,018.29	\$17,030.89	\$17,643.50
\$77,899.16	\$83,530.02	\$89,170.92	\$94,521.89	\$100,182.92	\$105,854.03	\$110,935.24



En la tabla F.1, se presenta la proyección del flujo de caja para 24 meses, es decir 2 años luego de implementar el proyecto. Como egresos iniciales se consideró el costo de los materiales de todos los sistemas además de la mano de obra necesaria para la construcción e instalación del mismo, dichos valores se detallan en el apéndice D.

Los ingresos operacionales del proyecto corresponden a la venta del aceite de cocina reciclado. Las unidades fueron determinadas considerando la cantidad en litros que se puede obtener si el equipo opera a máxima capacidad, esto es 6.8 GPM de aceite reciclado, por 4 horas al día, 5 días a la semana. Luego se consideró un incremento en el número de unidades de 0.1% cada mes. El precio de compra del aceite usado se definió en \$0.10 tomando como referencia el valor que paga la empresa *Arc y Piper* por litro de aceite. Luego, se definió el precio de venta del aceite reciclado en \$0.18 por litro, tomando como referencia que en España el precio de venta es de aproximadamente el doble del precio de compra (Valencia, 2012).

Los egresos operacionales del proyecto se componen de algunos gastos. Además de los gastos por compra de materia prima, se tiene el pago del sueldo de los operarios definidos en \$1200 mensuales. El pago de seguro social corresponde al 11.15% del sueldo del personal. El pago de servicios públicos corresponde a los gastos por consumo de energía eléctrica y agua. En el sector industrial, el precio del kWh es de \$0.799, mientras que el precio del agua es de \$1.253 por metro cúbico más \$4.20 por cargo por disponibilidad. El pago por mantenimiento corresponde a mantenimientos menores cada 3 meses y mayores cada 6 meses, que incluye el precio del líquido de limpieza para los discos, además de repuestos.

APÉNDICE G – PLANOS



	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib.	24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Máquina centrifugadora	1 : 8
Rev.	18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob.	19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
			Número del plano:	
			1/21	
			Diseño de máquina centrifugadora	

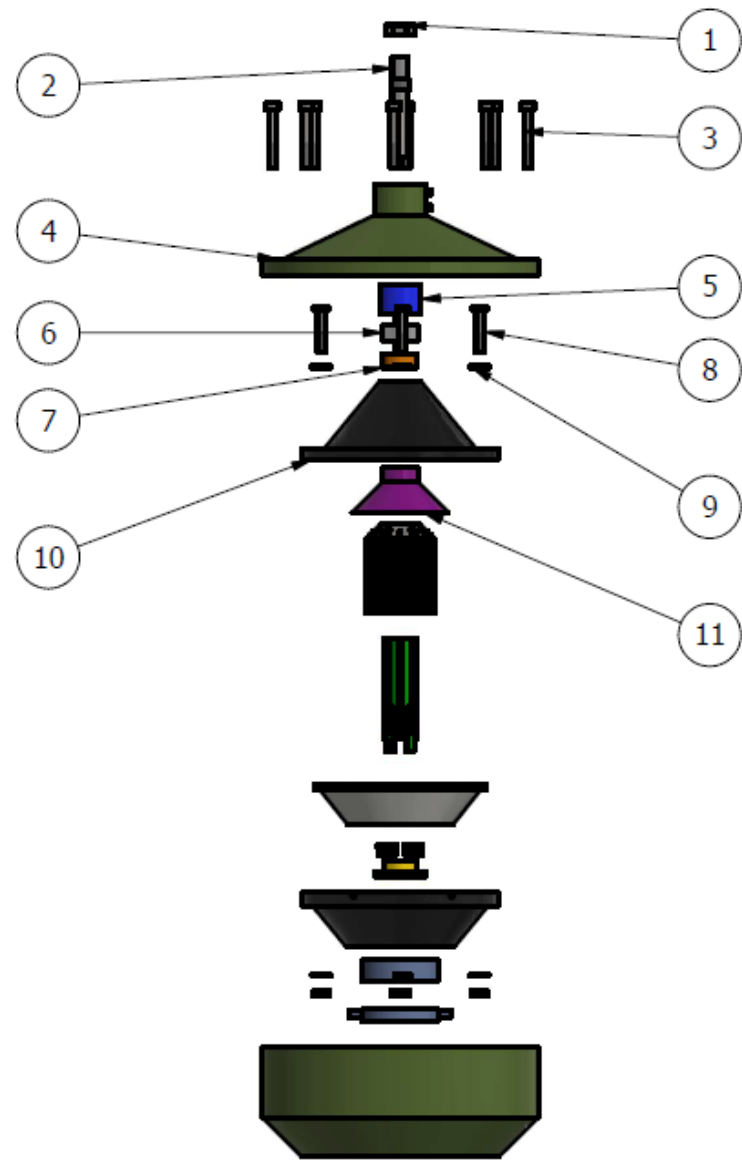
6 5 4 3 2 1



D
C
B
A

D
C
B
A



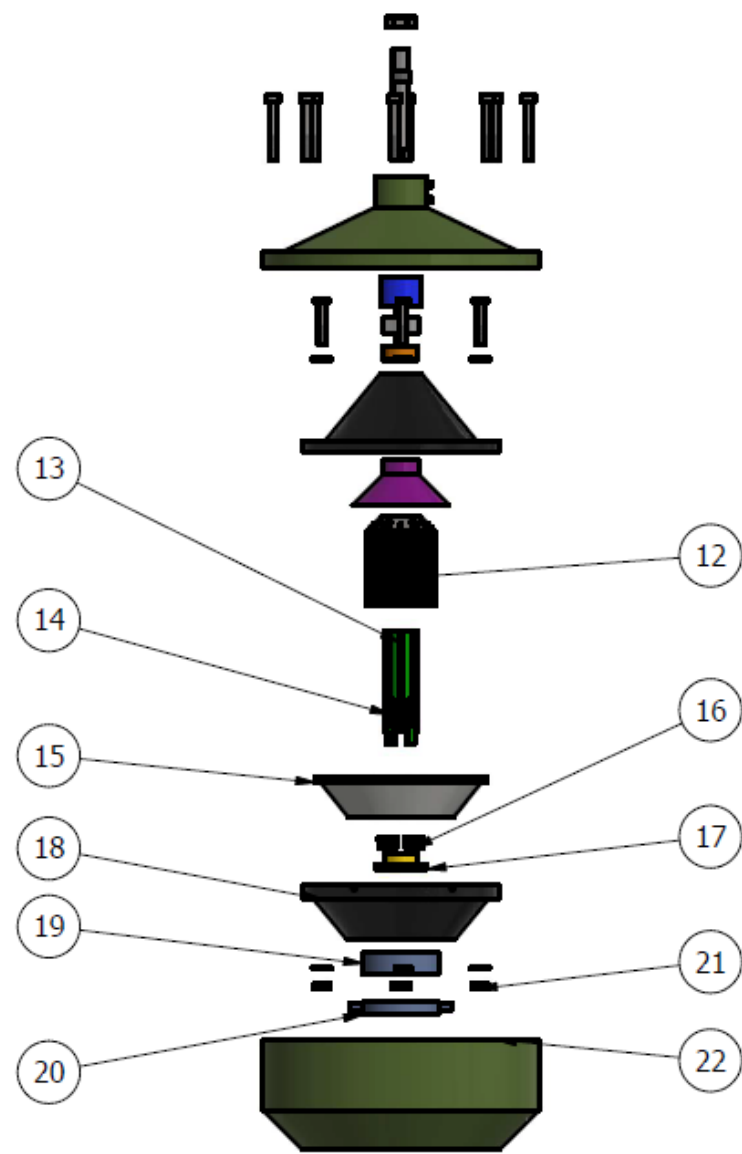


LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Tuerca	Acero Inoxidable
2	1	Tubería de alimentación	Acero Inoxidable AISI 304
3	8	ANSI B18.3 - 5/8 - 11 UNC - 4 1/4 HS HCS	Tomillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal
4	1	Carcasa superior	Acero Inoxidable AISI 304
5	1	Camara de agua	Acero Inoxidable AISI 304
6	1	Disco de gravedad	Acero Inoxidable AISI 304
7	1	Camara de aceite	Acero Inoxidable AISI 304
8	6	ANSI B18.2.1 - 9/16-12 UNC - 3, HCSI	Tomillo de remate hex
9	12	ASTM F436 - 9/16, CW	ANSI B18.22.1 Tipo A
10	1	Cono superior	Acero Inoxidable AISI 304
11	1	Disco superior	Acero Inoxidable AISI 304

	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib.	24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Máquina centrifugadora	1 : 14
Rev.	18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob.	19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
espol			Número del plano:	
			2/21	
			Diseño de máquina centrifugadora	

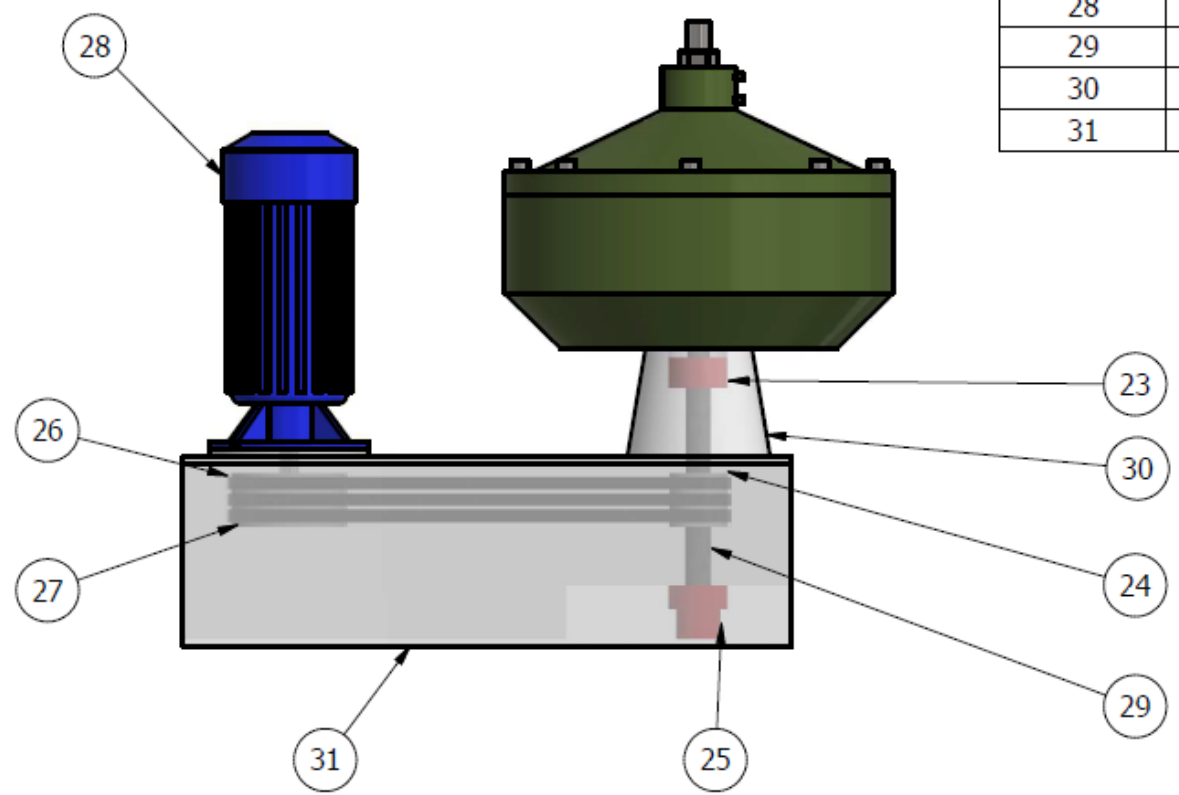
6 5 4 3 2 1



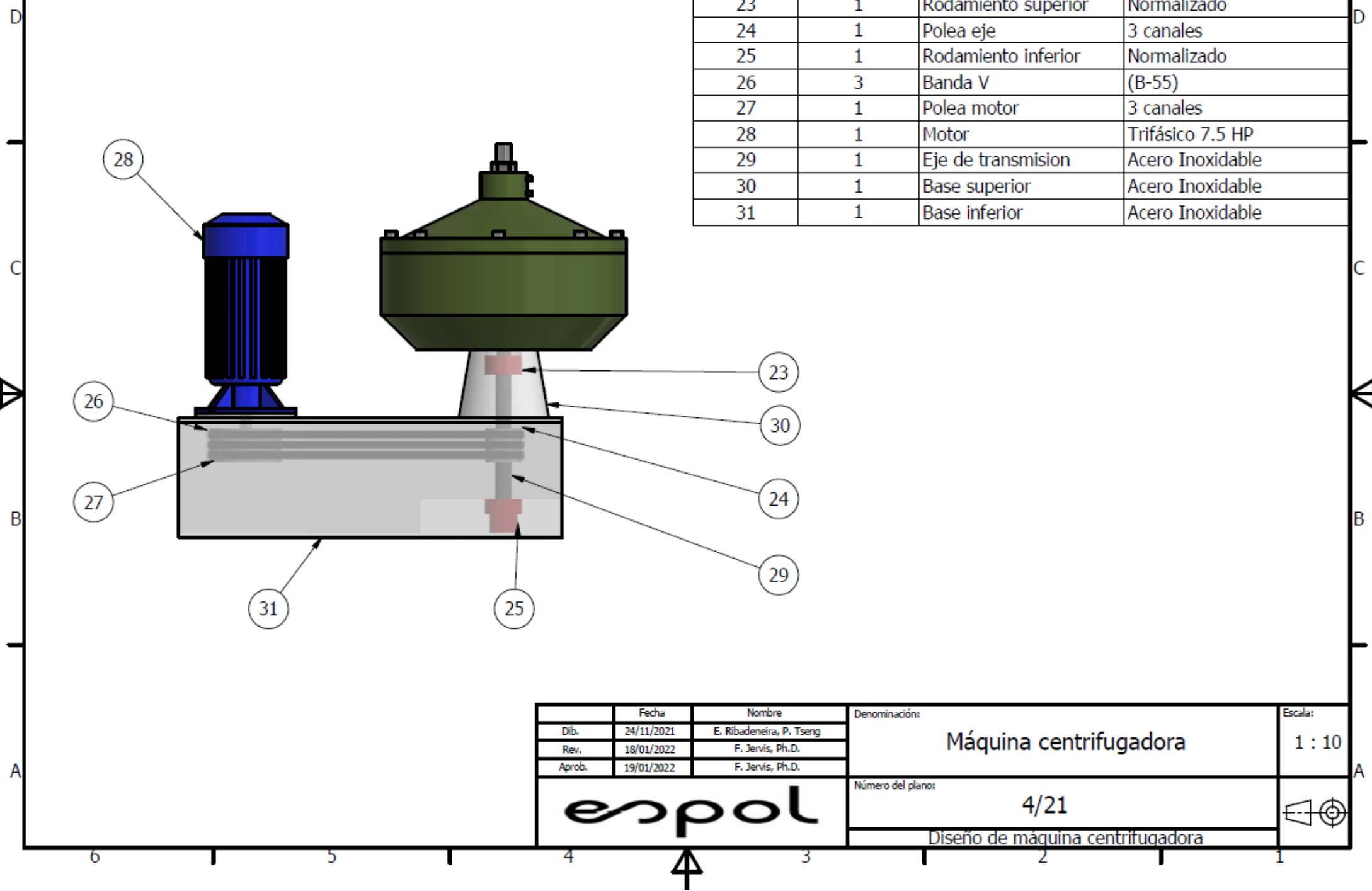
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
12	50	Disco	Acero Inoxidable AISI 304
13	1	Distribuidor	Acero Inoxidable AISI 304
14	4	ANSI B18.3 - 1/4 - 20 UNC - 1 3/4 HS HCS	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal
15	1	Tazon inferior	Acero Inoxidable AISI 304
16	6	ANSI B18.3 - 1/4 - 20 UNC - 5/8 HS HCS	Tornillo de cabeza cilíndrica con hueco hexagonal
17	1	Acople	Acero Inoxidable AISI 304
18	1	Cono inferior	Acero Inoxidable AISI 304
19	1	Water disc superior	Acero Inoxidable AISI 304
20	1	Water disc inferior	Acero Inoxidable AISI 304
21	6	ANSI B18.2.2 - 9/16 - 12, HNI	Tuercas hex. (serie en pulgadas) Tuerca hexagonal
22	1	Carcasa inferior	Acero Inoxidable AISI 304

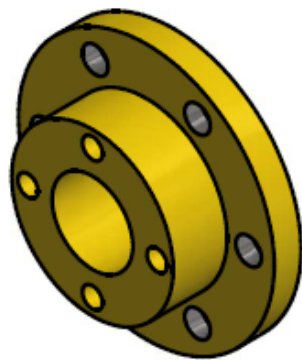
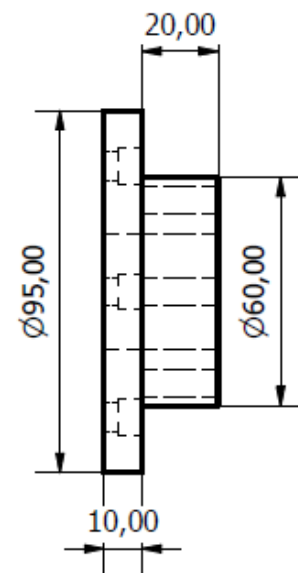
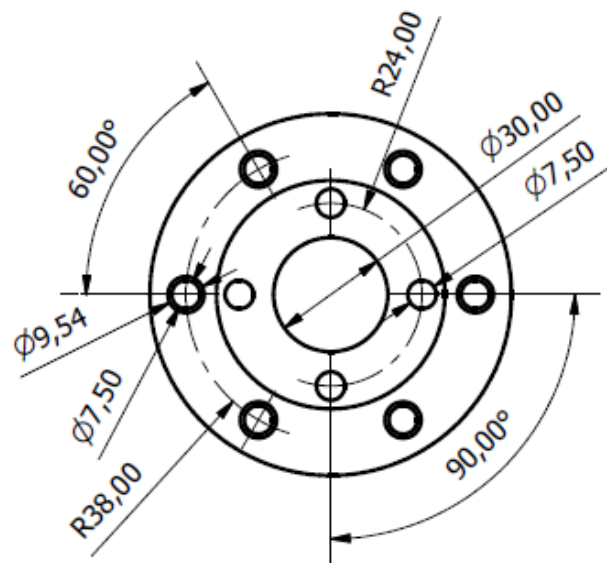
	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib.	24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Máquina centrifugadora	1 : 14
Rev.	18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob.	19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
			Número del plano:	
			3/21	
			Diseño de máquina centrifugadora	

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
23	1	Rodamiento superior	Normalizado
24	1	Polea eje	3 canales
25	1	Rodamiento inferior	Normalizado
26	3	Banda V	(B-55)
27	1	Polea motor	3 canales
28	1	Motor	Trifásico 7.5 HP
29	1	Eje de transmision	Acero Inoxidable
30	1	Base superior	Acero Inoxidable
31	1	Base inferior	Acero Inoxidable



	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib.	24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Máquina centrifugadora	1 : 10
Rev.	18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob.	19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
			Número del plano:	
			4/21	
			Diseño de máquina centrifugadora	

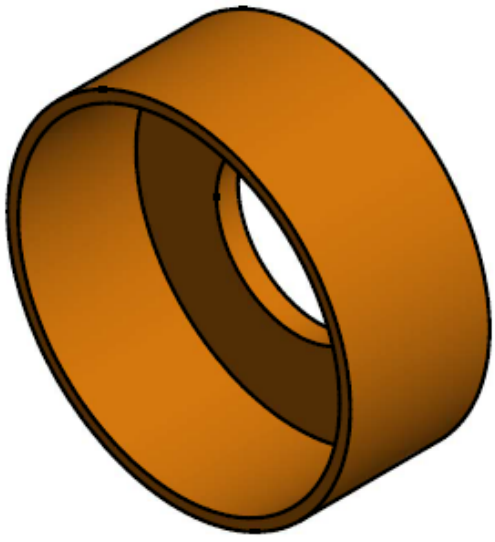
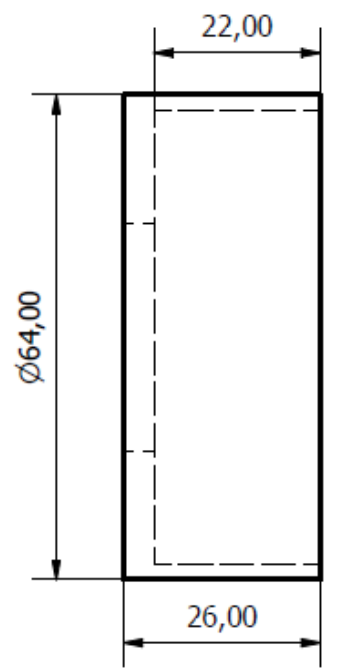
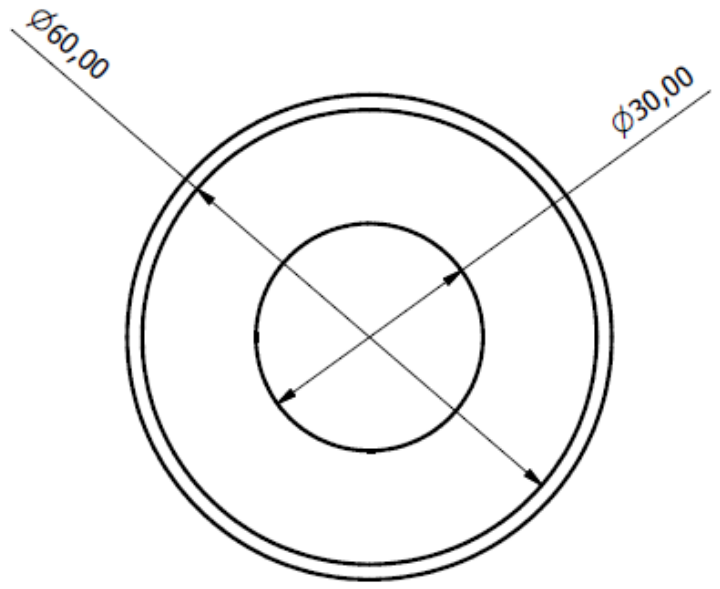




	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib.	24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Acople	1 : 2
Rev.	18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob.	19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
			Número del plano:	
			5/21	
			Diseño de máquina centrifugadora	

6 5 4 3 2 1



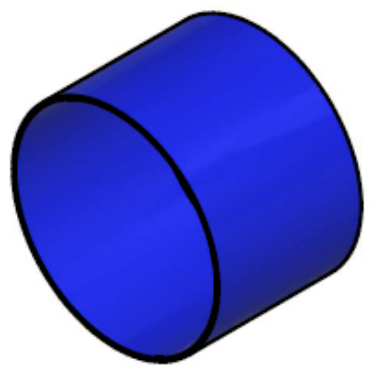
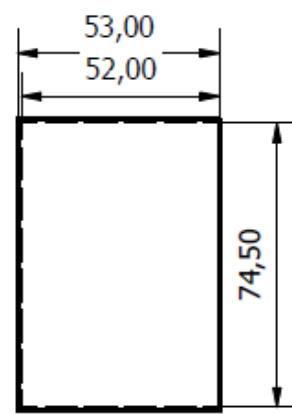
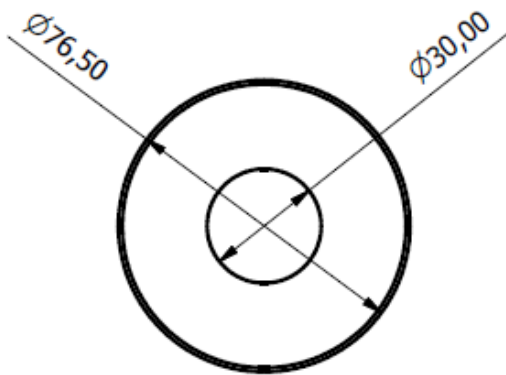


	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib.	24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Cámara de aceite	1 : 1
Rev.	18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob.	19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
			Número del plano:	
			6/21	
Diseño de máquina centrifugadora				

D
C
B
A

D
C
B
A

6 5 4 3 2 1



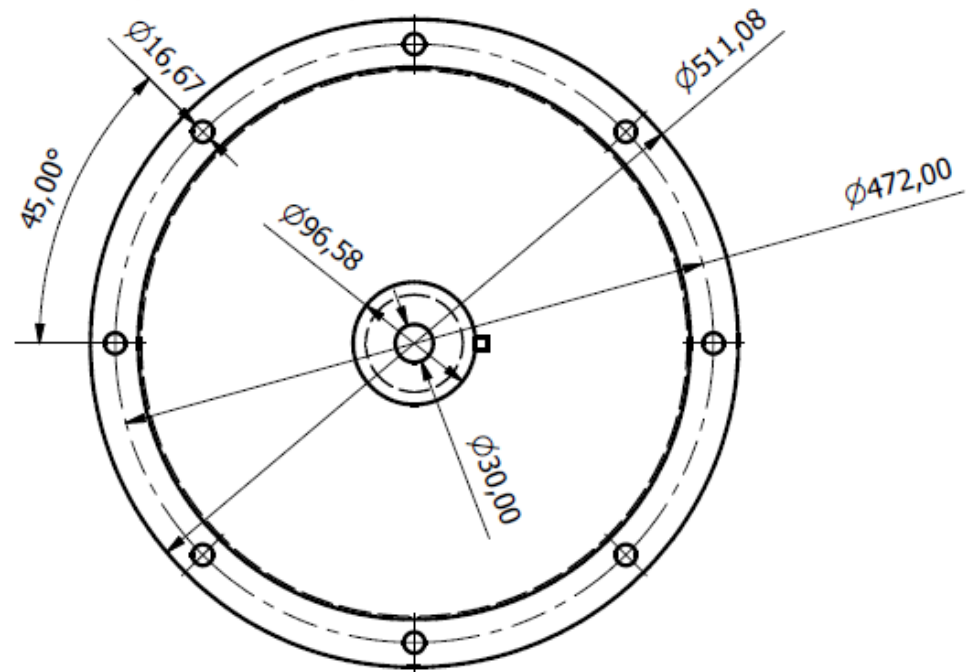
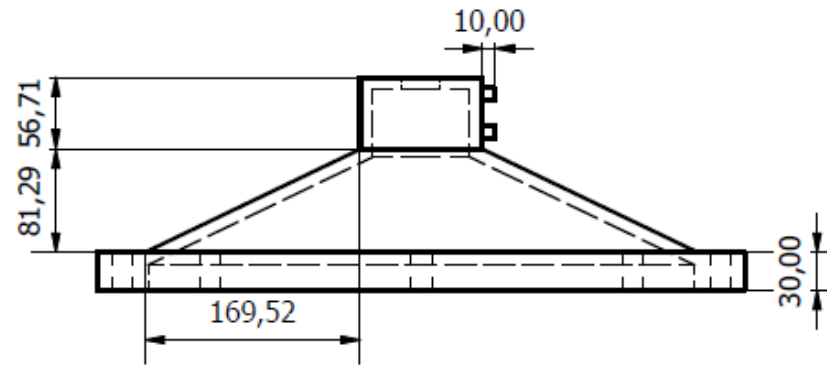
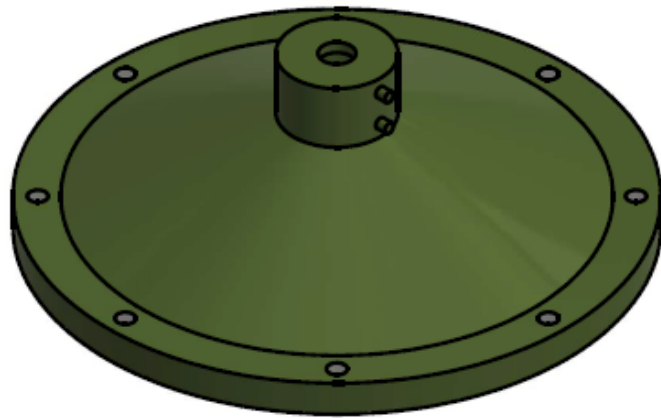
	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib.	24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Cámara de agua	1 : 2
Rev.	18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob.	19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
espol			Número del plano: 7/21	
			Diseño de máquina centrifugadora	

D
C
B
A

D
C
B
A

6 5 4 3 2 1

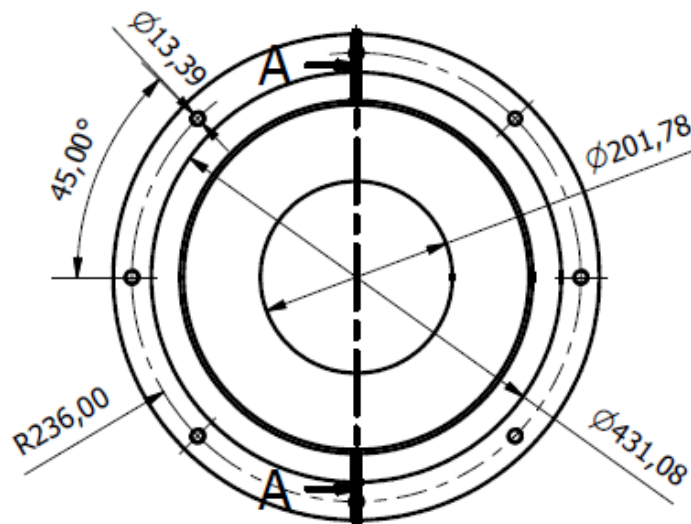
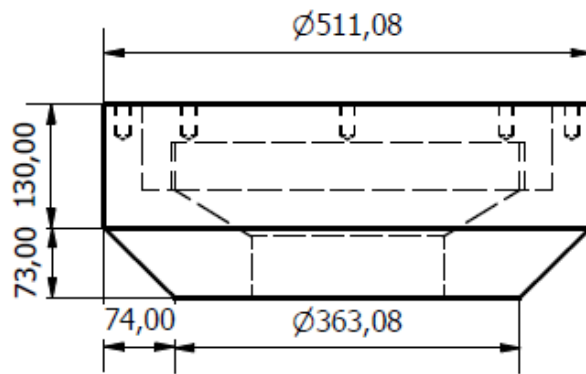




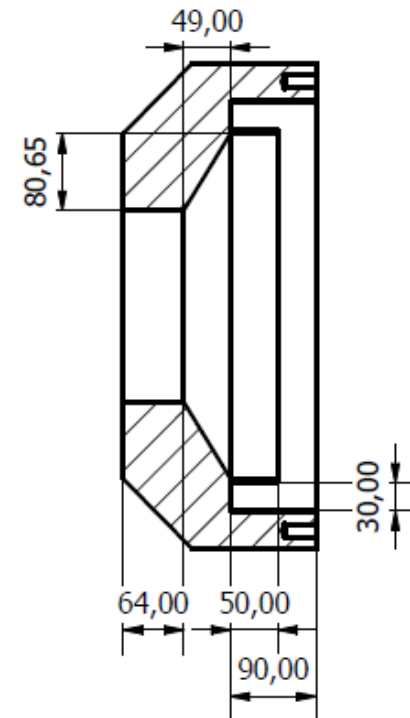
	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib.	24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Carcasa superior	1 : 6
Rev.	18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob.	19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
			Número del plano:	
			8/21	
			Diseño de máquina centrifugadora	

6 5 4 3 2 1

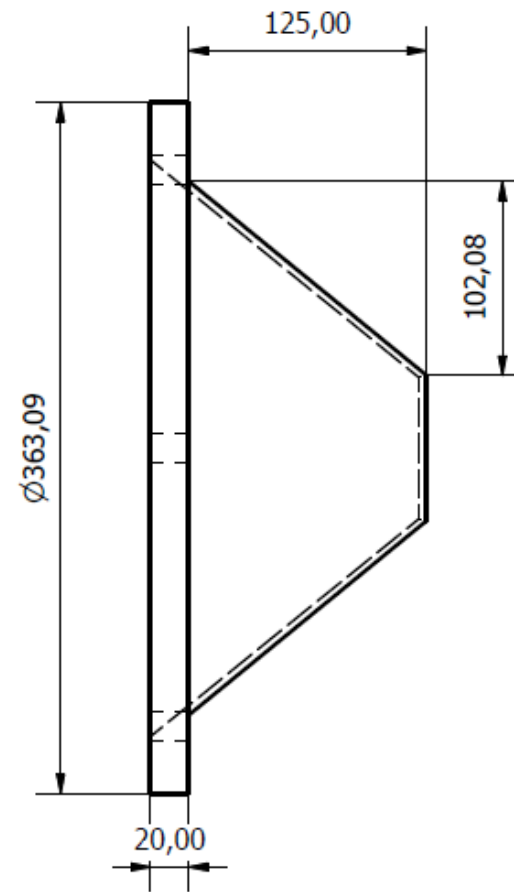
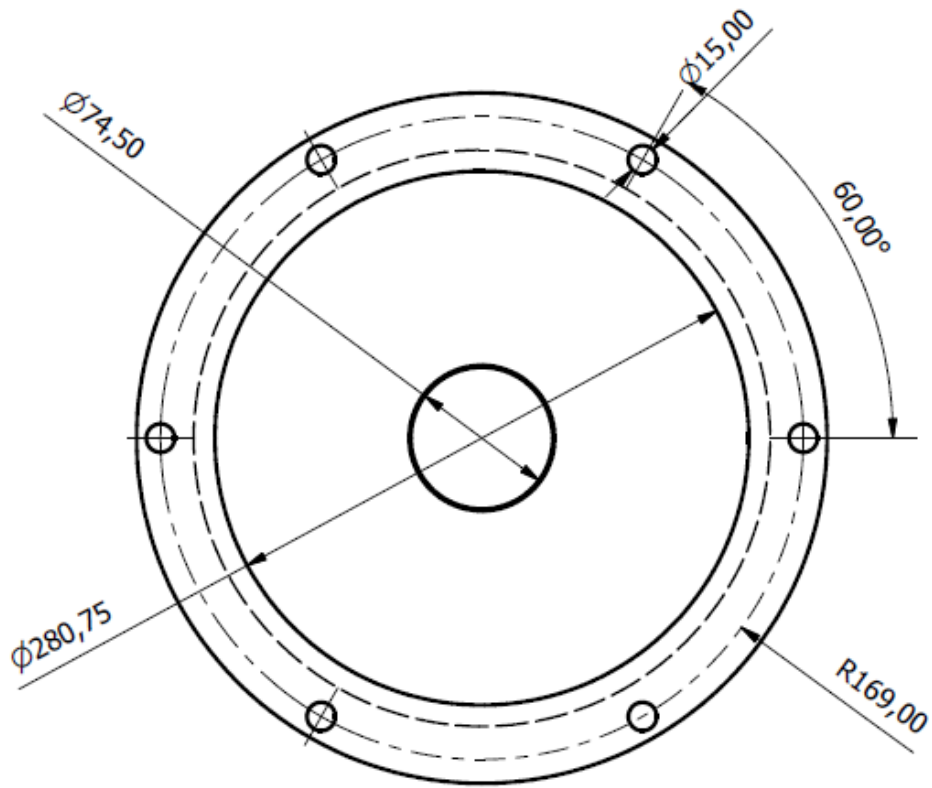




A-A (1 : 8)

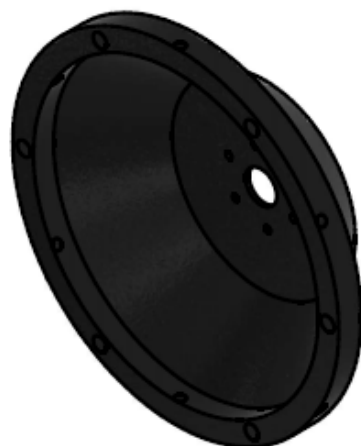
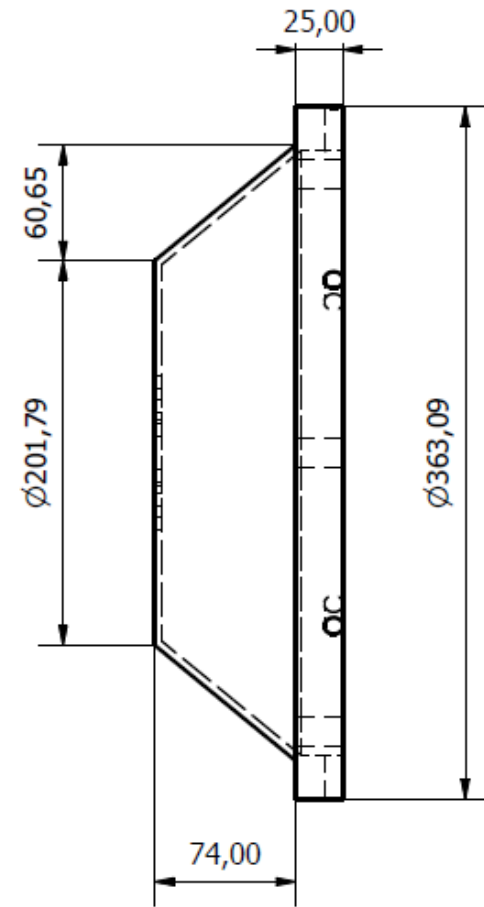
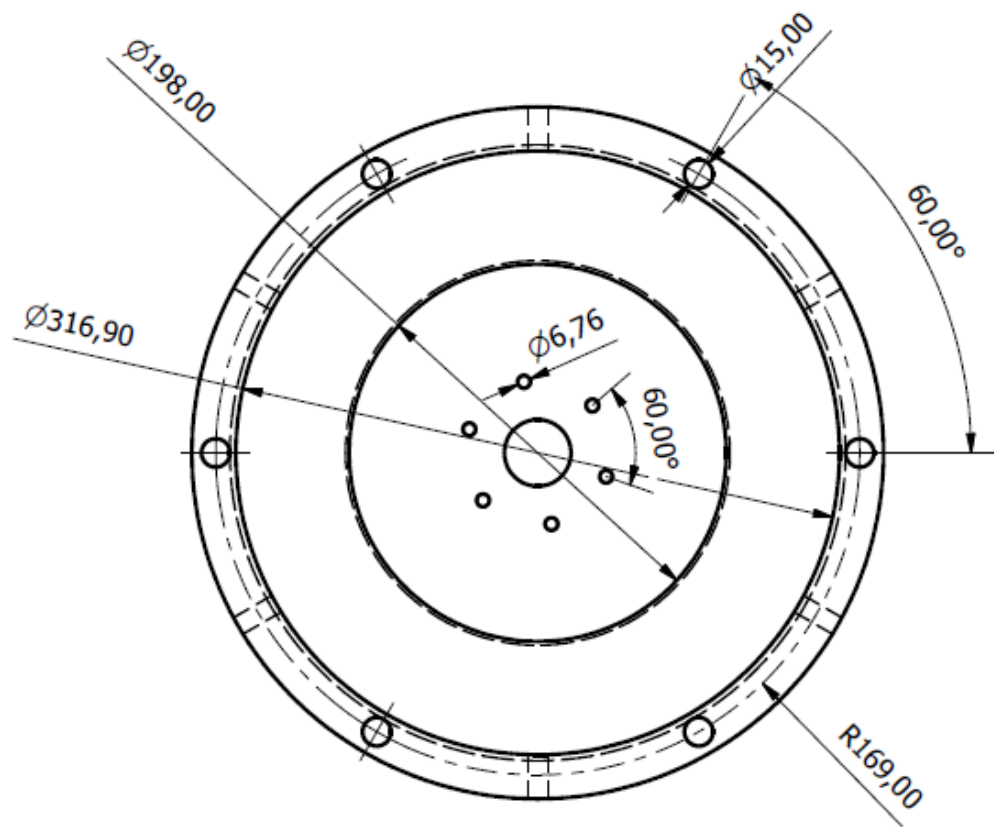


Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib. 24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Carcasa inferior	1 : 8
Rev. 18/01/2022	F. Jarvis, Ph.D.		
Aprob. 19/01/2022	F. Jarvis, Ph.D.		
		Número del plano:	
		9/21	
Diseño de máquina centrífuga			



Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib. 24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Cono superior	1 : 4
Rev. 18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob. 19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
espól		Número del plano:	10/21
		Diseño de máquina centrifugadora	



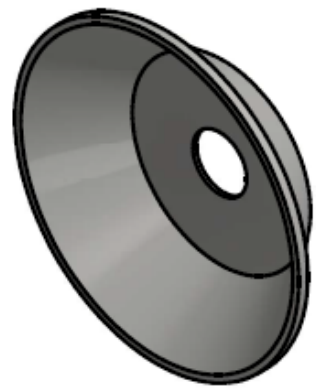
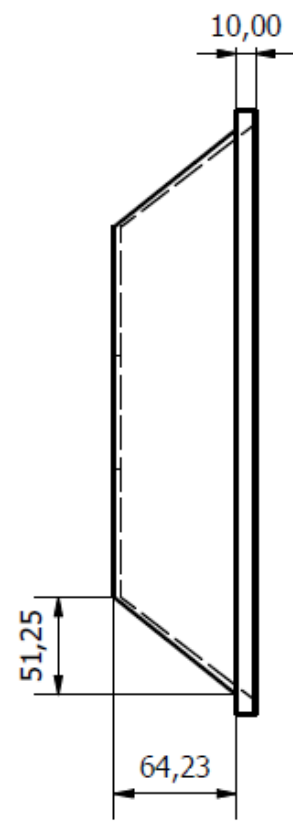
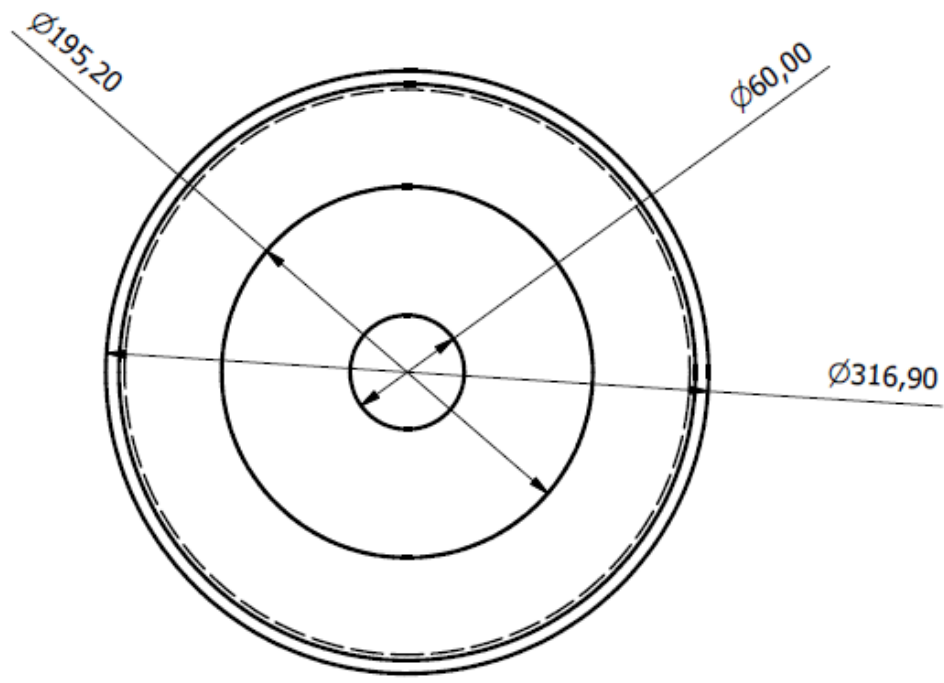


Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib. 24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Cono inferior	1 : 4
Rev. 18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob. 19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
		Número del plano:	
		11/21	
		Diseño de máquina centrifugadora	

D
C
B
A

D
C
B
A

6 5 4 3 2 1

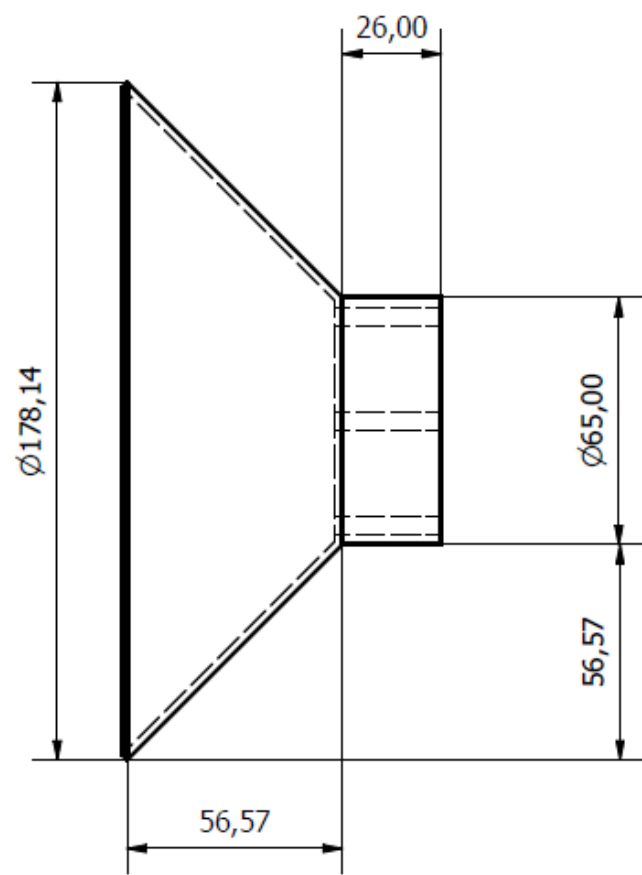
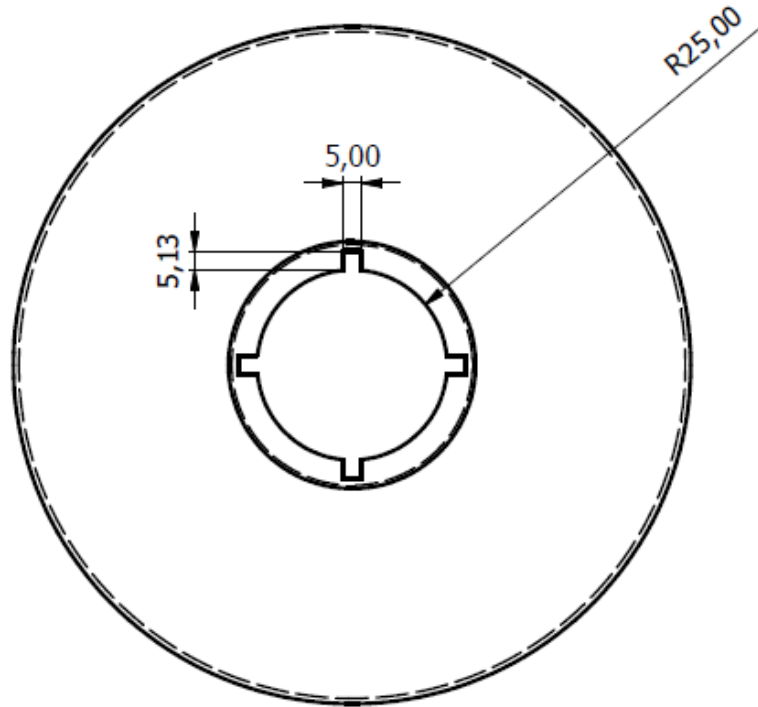


Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib. 24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Tazón inferior	1 : 4
Rev. 18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob. 19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
espól		Número del plano:	12/21
		Diseño de máquina centrifugadora	

D
C
B
A

D
C
B
A

6 5 4 3 2 1



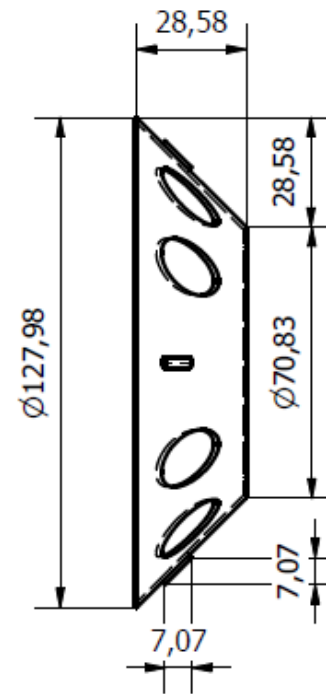
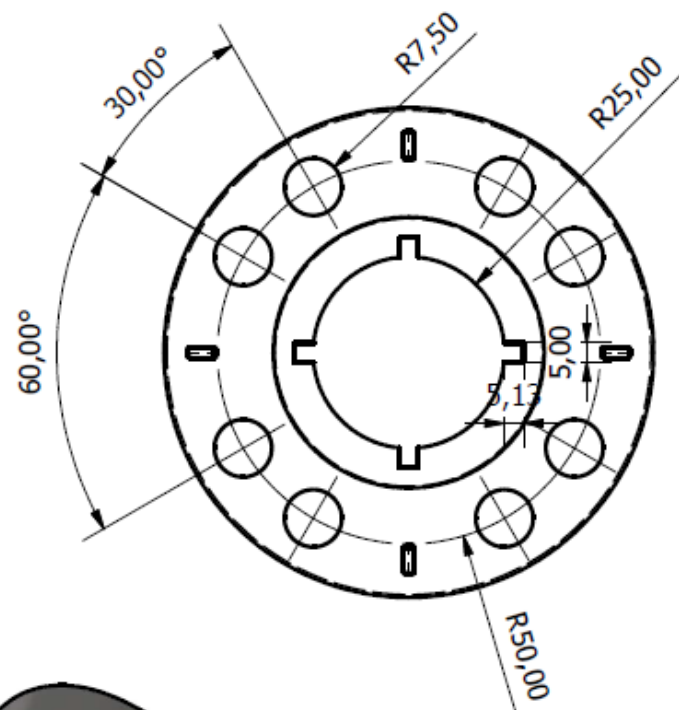
Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib. 24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Disco superior	1 : 2
Rev. 18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob. 19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
		Número del plano:	
		13/21	
		Diseño de máquina centrifugadora	


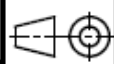
D
C
B
A

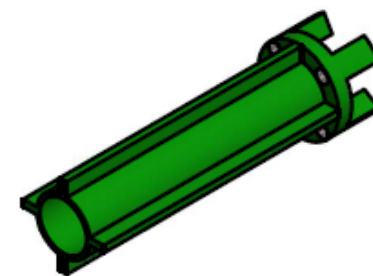
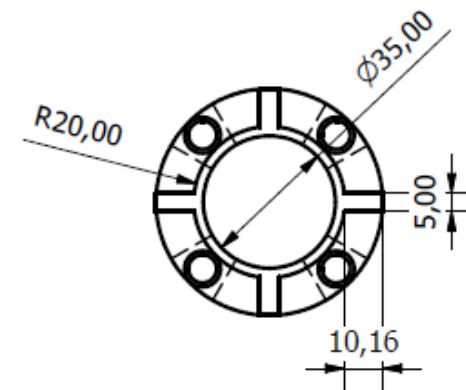
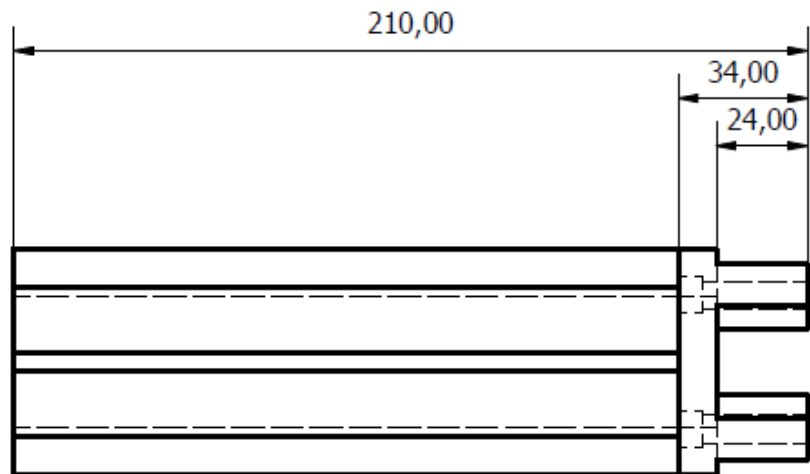
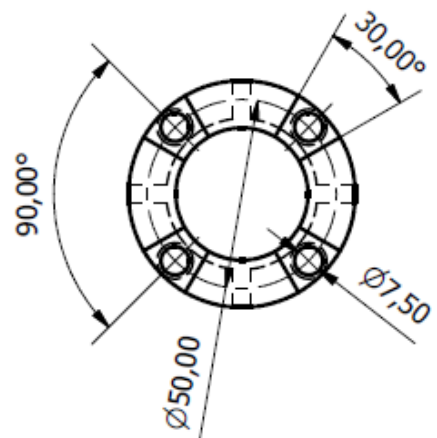
D
C
B
A

6 5 4 3 2 1





Fecha	Nombre	Denominación:	Escalas:
Dib. 24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Disco	1 : 2
Rev. 18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob. 19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
		Número del plano:	
		14/21	
		Diseño de máquina centrifugadora	



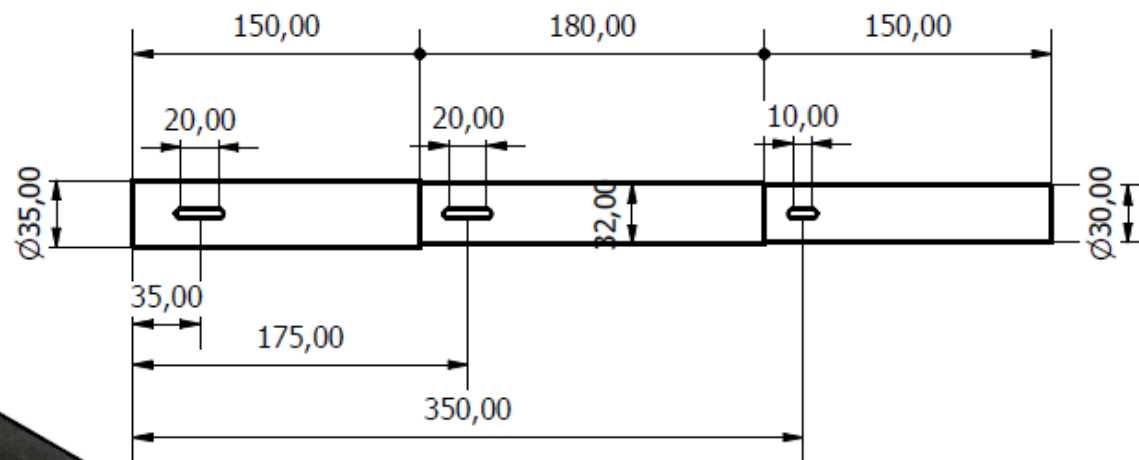
	Fecha	Nombre	Denominación:	Escalas:
Dib.	24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Distribuidor	1 : 2
Rev.	18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob.	19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
espol			Número del plano:	
			15/21	
Diseño de máquina centrifugadora				

D
C
B
A

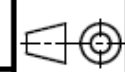
D
C
B
A

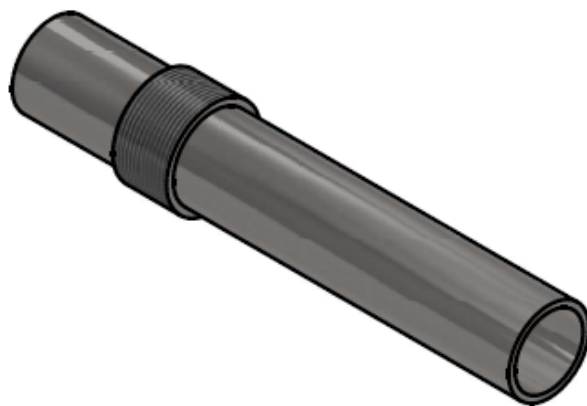
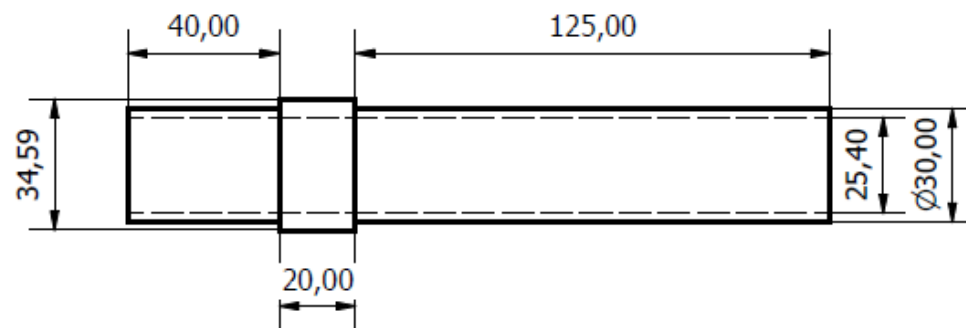
6 5 4 3 2 1





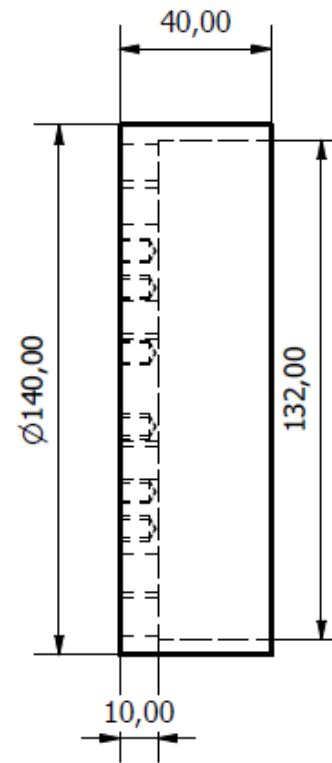
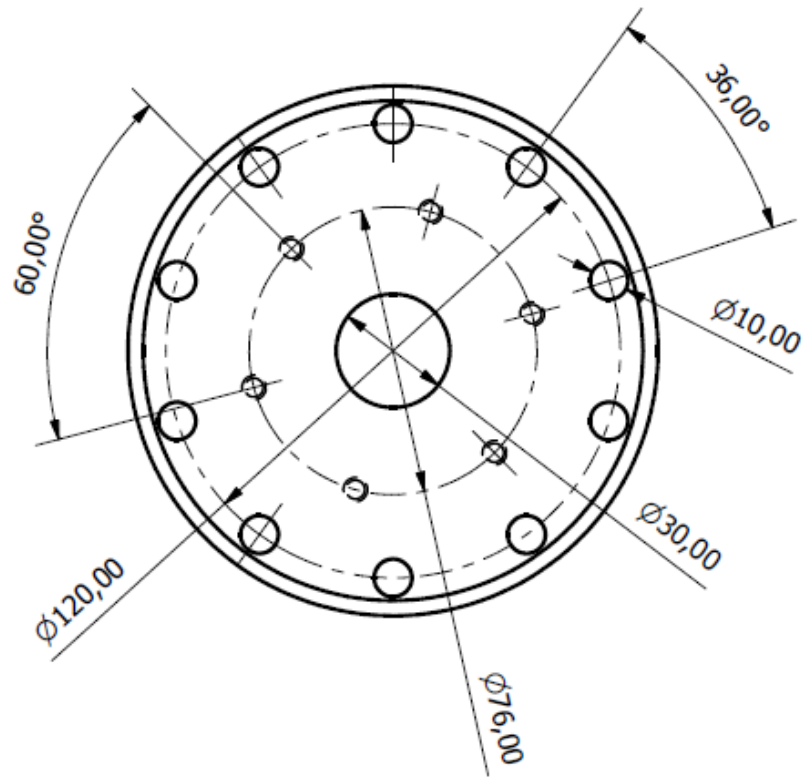


	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib.	24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Eje de transmisión	1 : 4
Rev.	18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob.	19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
			Número del plano:	16/21
			Diseño de máquina centrifugadora	





	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib.	24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Tubería de alimentación	1 : 2
Rev.	18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob.	19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
			Número del plano:	
			17/21	
			Diseño de máquina centrifugadora	



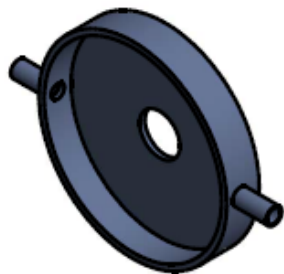
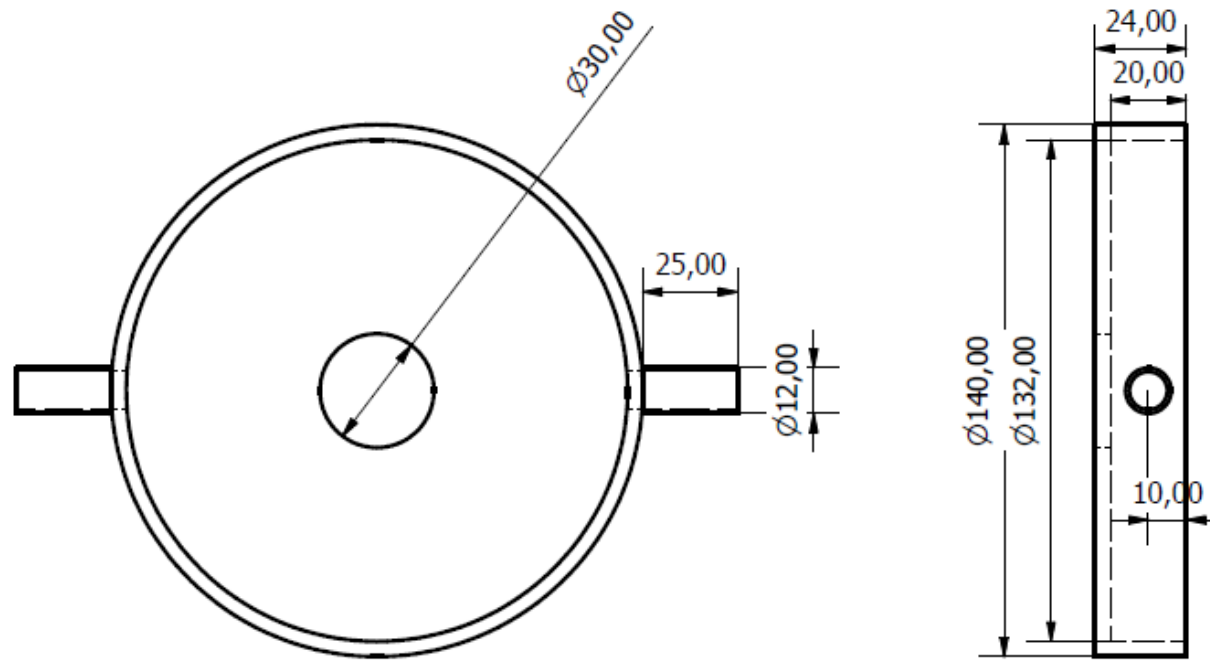
Fecha	Nombre	Denominación:	Escalas:
Dib. 24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Water disc superior	1 : 2
Rev. 18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob. 19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
		Número del plano:	
		18/21	
Diseño de máquina centrifugadora			


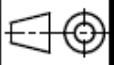
D
C
B
A

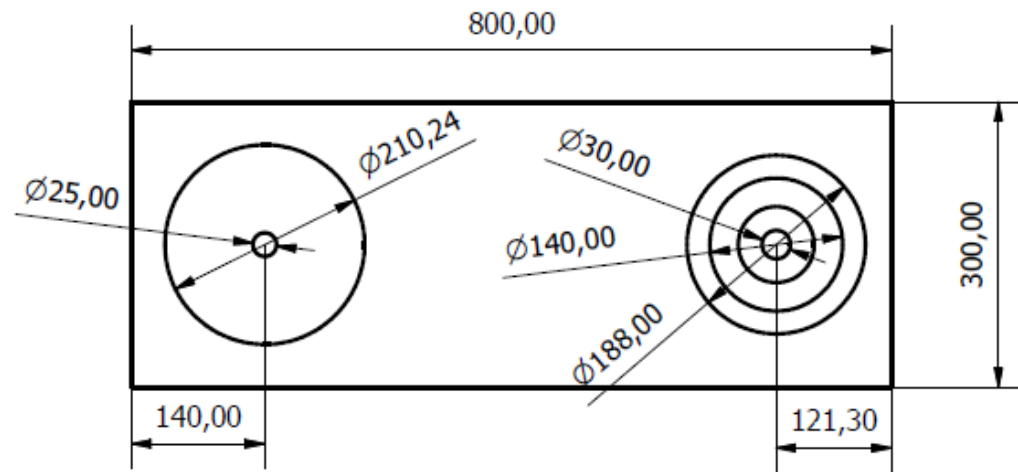
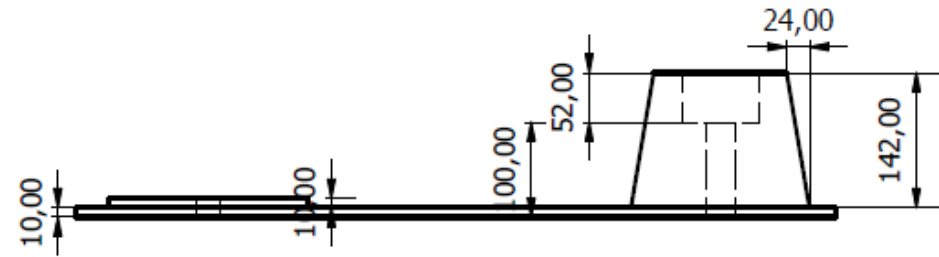
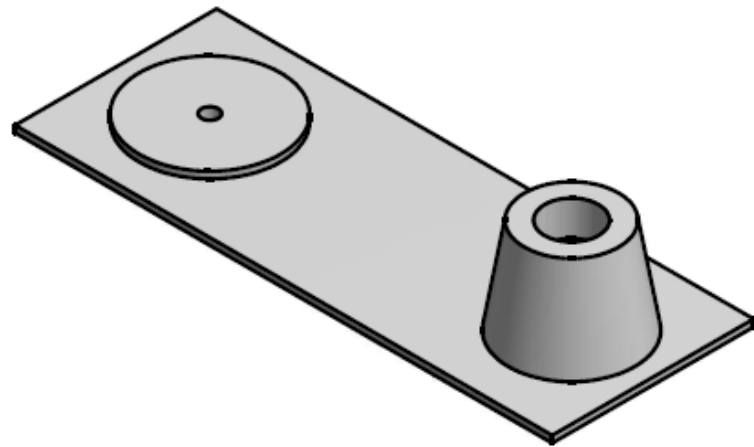
D
C
B
A

6 5 4 3 2 1





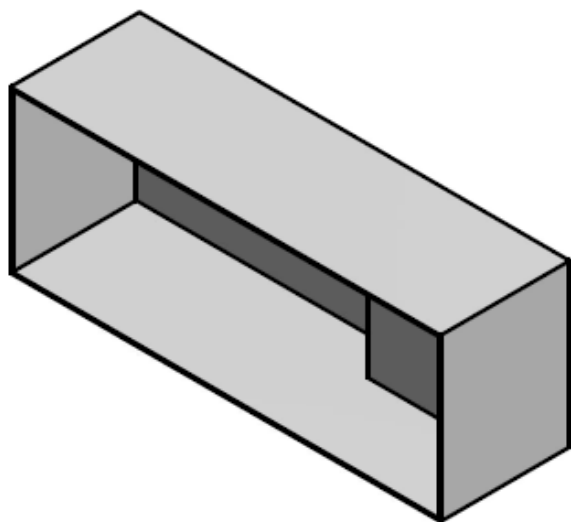
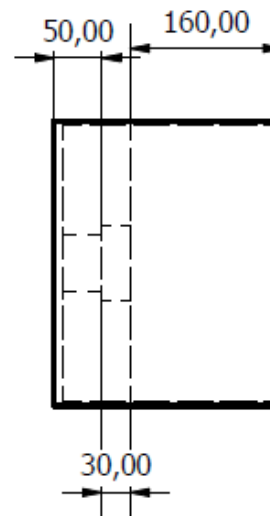
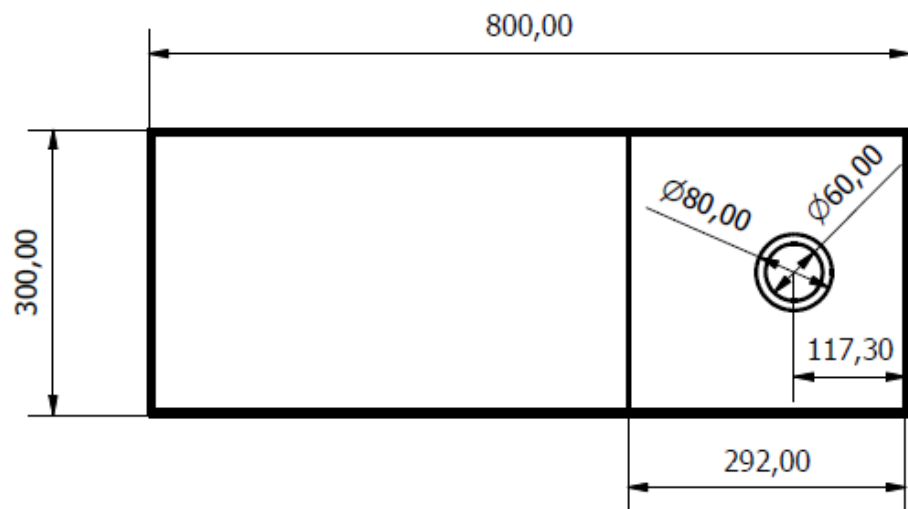
	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib.	24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Water disc inferior	1 : 2
Rev.	18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob.	19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
			Número del plano: 19/21	
			Diseño de máquina centrifugadora	



Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib. 24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Base superior	1 : 8
Rev. 18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob. 19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
espol		Número del plano:	
		20/21	
Diseño de máquina centrifugadora			

6 5 4 3 2 1





	Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
Dib.	24/11/2021	E. Ribadeneira, P. Tseng	Base inferior	1 : 8
Rev.	18/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
Aprob.	19/01/2022	F. Jervis, Ph.D.		
			Número del plano:	
			21/21	
			Diseño de máquina centrifugadora	

