

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

**“DISEÑO DE UN EQUIPO PARA LA MEDICIÓN DE LA
BIODEGRADABILIDAD EN PELÍCULAS POLIMÉRICAS Y NO
POLIMÉRICAS”**

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Jefferson Bryan Toala Anzules

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

El tiempo y esfuerzo utilizado en este proyecto está dedicado a mis padres y a toda mi familia, por nunca haber dejado de apoyarme.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios, luego a mi familia, siendo ellos la base y las ganas de seguir adelante. No existe manera de expresarles mi eterno agradecimiento, por celebrar mis logros y acompañarme en mis reveses.

A mis estimados profesores de toda la carrera, quienes en su momento supieron guiarme y darme la mano conforme lo necesitara.

Por ultimo y no menos importante un agradecimiento especial al Ph.D Clotario Tapia y a la Ph.D Sandra Acosta, quienes confiaron en que el proyecto se podría llevar a cabo.

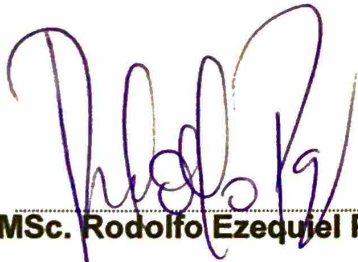
DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Jefferson Bryan Toala Anzules* y doy mi 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"

_____

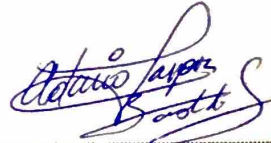
Autor

EVALUADORES



MSc. Rodolfo Ezequiel Paz Mora

PROFESOR DE LA MATERIA



Ph.D Clotario Vladimir Tapia Bastidas

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Recientemente se estableció una normativa municipal para regularizar la producción de productos plásticos. Se conoce que actualmente en nuestro país no existe ninguna organización que se dedique plenamente al desarrollo de reactores para el área de investigación y normalización. La Facultad de Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de ESPOL ha propuesto el desarrollo de un prototipo completamente automatizado, capaz de medir la biodegradabilidad de películas poliméricas y no poliméricas siguiendo la normativa ASTM 5511-02.

En el presente documento se detalla el diseño Mecánico de un equipo destinado a definir cuantitativamente la biodegradación de diversos polímeros utilizados hoy en día en la industria. Para la reducción se utilizan agentes químicos o biológicos, con esta premisa, se hace necesario establecer condiciones ambientales específicas. El equipo está provisto de un baño tipo María, capaz de controlar la temperatura con un sensor dentro de los reactores, regulando la potencia de calor suministrado al sistema por una resistencia eléctrica de 6 kW

El equipo también consta de un sistema de medición de pequeños volúmenes para cada reactor, teniendo una resolución en la medición de 0.1 mililitros. Para este sistema se utilizó un sensor ultrasónico y una bomba de vacío. Se registra el desplazamiento de del agua producto de la generación de gases y luego con la ayuda de la bomba se almacena para un posterior análisis cualitativo.

Palabras Clave: reactor, bacterias anaerobias, inóculo, vacío.

ABSTRACT

Recently a municipal regulation was recognized to need the production of plastic products. It is known that currently in our country there is no organization that is fully dedicate to the development of reactors for the area of research and standardization. School of Mechanical Engineering and Production Sciences (FIMCP) of ESPOL has proposed the development of a fully automated prototype, capable of measuring the biodegradability of polymeric and non-polymeric films according to ASTM 5511-02.

This document details the mechanical design of a device designed to quantitatively define the biodegradation of various polymers used today in the industry. For the reduction process chemical or biological agents are used, with this premise, it is necessary to establish specific environmental conditions. The equipment is provided with a water bath, capable of controlling the temperature with a sensor inside the reactors, regulating the heat power supplied to the system by an electrical resistance of 6 kW

The equipment also consists of a small volume measurement system for each reactor, having a resolution in the measurement of 0.1 ml. For this system an ultrasonic sensor and a vacuum pump were used. The displacement of the water product of the gas generation is recorded and then with the help of the pump it is stored for a subsequent qualitative analysis.

Keywords: Reactor, anaerobic bacteria, inoculum, vacuum.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Definición del Problema.....	2
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Biodegradabilidad	3
1.4.2 Principios de la descomposición	4
1.4.3 Empaques alimenticios	4
1.4.4 Necesidades del proceso.....	5
1.4.5 Importancia de los sistemas del equipo.....	5
CAPÍTULO 2.....	8
2. Metodología	8

2.1	Metodología para el diseño	8
2.2	Diseño conceptual	9
2.2.1	Árbol de objetivos	9
2.2.2	Requerimientos del cliente	9
2.2.3	Variables del sistema	10
2.2.4	Árbol de funciones y medios	11
2.2.5	Planteamiento de alternativas	12
2.2.6	Selección de alternativas	14
2.2.7	Propuesta de Solución	18
2.2.8	Diseño de forma	19
2.3	Diseño detallado	19
2.3.1	Reactor	19
2.3.2	Diseño del sistema de agitación	22
2.3.3	Potencia del agitador	23
2.3.4	Engranajes para agitación	26
2.3.5	Determinación del diámetro de eje de agitación	31
2.3.6	Cálculos térmicos del baño María	33
2.3.7	Sistema de control de temperatura	36
2.3.8	Sistema de medición de volumen	37
CAPÍTULO 3.....		39
3.	Resultados y Análisis.....	39
3.1	Volumen del reactor	39
3.2	Esfuerzos en el envase	39
3.3	Medidas del sistema de agitación.....	39
3.3.1	Diámetro del impulsor	39
3.3.2	Altura de paletas	39

3.3.3	Altura optima de la muestra	39
3.4	Cálculo de potencia consumida.....	40
3.5	Tasa de recirculación en el baño María.....	40
3.6	Relación de transmisión del sistema de agitación	41
3.6.1	Agitador del inóculo	41
3.6.2	Agitador de la incubadora	41
3.7	Esfuerzos en engranes.....	41
3.8	Cargas térmicas en baño María	42
3.8.1	Masa de agua a calentar.....	42
3.8.2	Calor entregado	42
3.9	Pérdida de calor en paredes.....	42
3.10	Simulaciones en ANSYS	42
3.10.1	Simulación de esfuerzo y deformación de la caja	42
3.10.2	Simulación térmica.....	44
3.11	Viabilidad económica.....	47
CAPÍTULO 4.....		49
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	49
4.1	Conclusiones	49
4.2	Recomendaciones.....	50
BIBLIOGRAFÍA.....		51
APÉNDICES		53
APÉNDICE A - SIMULACIONES.....		54
APÉNDICE B - CÁLCULOS REPRESENTATIVOS		55
Volumen del reactor		55
Esfuerzos en el envase		55

Potencia de agitadores.....	55
Tasa de recirculación en el baño María	56
Esfuerzo en engranes	57
Cálculo de potencia térmica	58
Configuración del engrane – piñón cónico	61
APÉNDICE C - TABLAS DE PROPIEDADES Y DIMENSIONES.....	63
APÉNDICE D - PLANOS ESQUEMÁTICOS	68

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
ASTM	American Society for Testing and Materials
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ASME	American Society of Mechanical Engineer
AGMA	American Gear Manufacturers Association

SIMBOLOGÍA

CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
cm	Centímetros
mol	Cantidad de sustancia
C	Carbono
O	Oxígeno
H	Hidrógeno
pH	Potencial de hidrógeno
e ⁻	Electrón
H ₂ O	Agua
OH	Radical hidroxilo
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrógeno
O ₂ ⁻	Radical superóxido
mmHg	Milímetros de Mercurio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema de mezclado	6
Figura 2.1. Esquema de la metodología a seguir en el proceso de diseño.	8
Figura 2.2. Árbol de objetivos.	9
Figura 2.3. Diagrama de variables del equipo.	11
Figura 2.4. Árbol de funciones y medios.....	12
Figura 2.5. Primer diseño del reactor.....	19
Figura 2.6. Dimensiones del reductor tipo CLAMP.....	20
Figura 2.7. Tapa tipo CLAMP de 4".	20
Figura 2.8. Tapa tipo CLAMP de 2".	21
Figura 2.9. Número de potencia según el número de Reynolds.....	25
Figura 2.10. Configuración de los engranes para agitación.....	27
Figura 2.11. Factor dinámico de engranes.	28
Figura 2.12. Diagrama de control de temperatura.	37
Figura 2.13. Diagrama de medición de volumen.	38
Figura 3.1. Deformación estática de la caja para baño María.	43
Figura 3.2. Esfuerzos máximos (Von Mises) en la caja.....	44
Figura 3.3. Simulación térmica del calentamiento de agua por medio de la resistencia.	45
Figura 3.4. Solución matemática de las ecuaciones de balance de energía, (sin controlador)	46
Figura 3.5. Función de transferencia del sistema de calentamiento.....	46
Figura A.1. Deformaciones en la base.....	54
Figura A.2. Esfuerzos de la base.....	54
Figura B.1. Circuito de resistencia térmica de la caja.....	58
Figura B.2. Configuración del engrane-piñón cónico.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Sub-Objetivos	10
Tabla 2.2. Tabla morfológica.	13
Tabla 2.3. Ponderación de los criterios para el Sistema de agitación	14
Tabla 2.4. selección del agitador	15
Tabla 2.5. Ponderación de los criterios para el Sistema de incubación.....	15
Tabla 2.6. selección de la incubadora	16
Tabla 2.7. Ponderación de los criterios para el sistema de manejo de gases.	16
Tabla 2.8. Selección de accesorios para distribución de gases.	17
Tabla 2.9. Ponderación de los criterios para el sistema de medición de gases.....	17
Tabla 2.10. Selección del sistema de medición de gases.	18
Tabla 2.11. Rangos óptimos de viscosidad para impeler.	22
Tabla 2.12. Constantes para estimar la potencia.	24
Tabla 2.13. Número de bombeo para diferentes tipos de agitadores	26
Tabla 2.14. Factor geométrico J para la flexión, para 20° con carga distribuida	29
Tabla 2.15. Factor de distribución de carga.....	29
Tabla 2.16. Ka por el tipo movimiento	30
Tabla 2.17. Coeficientes del factor de superficie.	32
Tabla 2.18. Factores de confiabilidad.....	33
Tabla 3.1. Costos del desarrollo del prototipo	47
Tabla C.1. Dimensiones de ángulos NOVACERO.	63
Tabla C.2. Resistencia de aceros inoxidables	64
Tabla C.3. Propiedades del aire a presión atmosférica	65
Tabla C.4. Propiedades termofísicas del agua saturada	66
Tabla C.5. Propiedades termofísicas de materiales sólidos.	67

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Vista general explosionada
PLANO 2	Vista general explosionada (continuación)
PLANO 3	Vista general de la base
PLANO 4	Dimensiones de la base
PLANO 5	Vista general de la caja para baño María
PLANO 6	Acotaciones para caja de baño María
PLANO 7	Eje de engranes
PLANO 8	Agitadores para baño María
PLANO 9	Agitadores para reactores
PLANO 10	Reservorio de agua para la medición de volumen
PLANO 11	Engrane RECTO de 60 dientes
PLANO 12	Piñón CÓNICO de 16 dientes
PLANO 13	Piñón RECTO de 16 dientes
PLANO 14	Engrane Cónico con piñón recto (64 y 16 dientes)

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Se tiene un registro de que cada año se produce una acumulación en el medio el medio ambiente de unos 25 millones de toneladas de plástico. El problema principal de estos desperdicios es la contaminación que producen los depósitos de basura. Con el aumento de la población, también se ha aumentado la cantidad de desperdicios, por lo cual se han implementado vertederos o rellenos sanitarios. Colocarlos en un solo sitio no es ninguna solución al problema, el uso de estos vertederos comenzó una competencia para buscar alternativas y devolver estos materiales a la naturaleza. De forma implícita se buscó la manera de valorar factores importantes en el proceso de degradación como el tiempo, la tasa de producción de biogases, pérdida de masa porcentual, etc. (Orhan & Büyükgüngör, 2000)

Actualmente en nuestra sociedad existe una necesidad latente de buscar nuevas rutas para el manejo de los desechos sólidos considerados como no degradables, de tal forma que se ha mejorado enormemente el tratamiento de algunos polímeros. Grandes industrias han comenzado a integrar métodos que reducen en gran medida la contaminación por residuos sólidos. Utilizar bacterias para la degradación proporciona una ventaja significativa frente a otros métodos de descomposición. (Tejerina et al., 2004)

Existen varios métodos para descomponer los diferentes tipos de polímeros (elastómeros y plásticos) como la degradación térmica, por radiación de alta energía, por fricción mecánica, biodegradación, descomposición química y otras más. Estos materiales están compuestos por unidades repetitivas de estructuras de menor tamaño conocidas como meros o monómeros, de allí su nombre de polímeros. Su estructura molecular dependerá de su origen, orgánico o artificial, y nos permitirá cuantificar si los métodos de degradación son más o menos eficientes.

La biodegradación es un tipo de reducción en la cual microorganismos como bacterias, hongos y otros intervienen directamente en la degradación del material orgánico. Por otra parte, muchos de los polímeros sintéticos tienen poca o nula

sensibilidad a reaccionar cuando están frente a compuestos producidos por estos seres vivos.

Con la introducción del concepto de biodegradación, fue imperativo comenzar a utilizar plásticos que tuvieran ventajas frente a otros materiales en cuestiones ambientales, por ejemplo, en la agricultura era preciso utilizar fundas que contengan la tierra de sembrado junto con la semilla, al trasplantarlos, la bolsa debía degradarse rápidamente y liberar el contenido en su interior, este mismo principio se utiliza en la medicina, cuando se colocan implantes quirúrgicos que suministran medicamentos de una manera controlada. (Schnabel, 1981)

1.1 Definición del Problema

El plástico es uno de los materiales que más tarda en descomponerse y solo se recicla alrededor del 3% en el mundo. En el 2020 se estima que la cifra de producción de plástico superaría los 500 millones de toneladas, teniendo así un aproximado de 9 billones de toneladas de plástico desde que se comenzó a producirse. La idea de programar la obsolescencia y luego reintegrar ese producto al ciclo natural es bastante costosa y relativamente complicada, pero es necesaria para dejar de destruir los ecosistemas. Por lo que es necesario un equipo con el cual realizar múltiples ensayos, comparando la vida de distintos tipos de compuestos destinados al mercado y poder mejorarlos.

El equipo debe ser capaz de simular las condiciones establecidas en la norma ASTM 5511-02. El procedimiento establecido en dicha norma permite estimar la degradación, midiendo de manera manual el volumen de la mezcla (metano y dióxido de carbono) producida; por ello se propone elaborar un sistema automatizado, con el cual se mida continuamente el flujo de gases, producto de las reacciones químicas entre el inóculo y el sustrato. Con la medición del volumen y el tiempo que se demoró en producir tal cantidad, se puede parametrizar la biodegradabilidad en función de ambas variables.

1.2 Justificación del problema

La producción y uso de plástico es uno de los grandes problemas a nivel mundial, una vez acabada la vida útil de estos, muchos no tienen un ciclo de retorno natural,

es decir que su degradación tomaría varias décadas e incluso varios siglos. Para regularizar el uso del plástico, se estipuló la ORDENANZA AG-2018-24410, con lo cual la industria del plástico se ve en la necesidad de adquirir un equipo con el cual medir el cumplimiento de la normativa, en consecuencia, es imprescindible que dicho equipo asemeje condiciones termófilas¹ o mesófilas² y lleve un control de las emisiones generadas por la descomposición de las muestras de interés.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un prototipo aplicando la normativa modificada ASTM 5511-02 para su uso en ensayos de biodegradación de polímeros que se aplican en el envasado de alimentos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Implementar un sistema de calentamiento que mantenga a todas las probetas con una temperatura constante, utilizando el principio de convección y una resistencia eléctrica como fuente de energía.
- Diseñar el sistema de manejo y dirección para los gases generados en cada uno de los componentes del equipo.
- Integrar un sistema de mezclado que mantenga un movimiento constante y similar dentro de los contenedores.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Biodegradabilidad

Según la norma ASTM D-5488-944(ASTM, 2013) la biodegradabilidad es definida como la propiedad de ciertos materiales para transformarse en biogás (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O), y el restante del inóculo³, en biomasa. El proceso es llevado a cabo por la acción de microorganismos que se encuentran

¹ Termófilas: Condiciones relativamente altas temperatura, por encima de los 45°C.

² Mesófilas: condiciones de temperatura entre 30 y 40°C.

³ Inóculo metalogénico: es definido por la norma INEN 2636 como residuos de origen orgánico que han sido digeridos anaeróbicamente y poseen una gran cantidad de organismos productores de metano

en el inóculo, mediante enzimas logran descomponer bajo condiciones específicas el material base. (Meneses et al., 2007)

1.4.2 Principios de la descomposición

En todos los confines de nuestro planeta existe la presencia bacterias que interactúan con el medio. Estos microorganismos tienen una acción muy importante en el ciclo natural, debido a que son la base de la pirámide trófica. Hay dos tipos de bacterias, las anaeróbicas que son aquellas que se desarrollan en ambientes libres de oxígeno y su contraparte, las aeróbicas. Para propósito del proyecto se utilizarán bacterias anaeróbicas.

La gran parte de la población bacteriana se encuentra en los primeros 30 cm de profundidad del horizonte del suelo. Cuando se realizan excavaciones para realizar los conocidos rellenos sanitarios, el suelo es mezclado y muchas de las bacterias quedan en la parte inferior, produciendo que las bacterias anaeróbicas que antes estaban inactivas en la parte superior del suelo comiencen a activarse por encontrarse en un nuevo entorno, libre de oxígeno e ideal para su crecimiento. Esta es la razón por lo tanto el equipo debe simular condiciones anaeróbicas como las que se encuentran en los rellenos sanitarios.

Una vez que las bacterias entren en proceso de activación, estas comenzarán a crear enzimas que reaccionarán con el carbono contenido en el plástico, con lo cual se puede estimar la producción teórica de los gases, en donde cada masa milimolar de carbono representara un mili-mol de biogás o de dióxido de carbono gaseoso, representado en las siguientes ecuaciones químicas. (Muñoz & Concha, 2014)



1.4.3 Empaques alimenticios

Una gran parte de la producción anual de plástico está destinada al envasado de productos alimenticios. Los envases que están en contacto con los alimentos

deben ser inspeccionados bajo una estricta gestión, centrada en la duración y efectos sobre los víveres.

Se han implementado nuevos aditivos a la fase de elaboración de los envases poliméricos, dando resultados favorables en la resistencia, acabado, durabilidad, etc. Pero debido a la reciente ola de cambios ecológicos, es fundamental que estos envases sean regulados mediante un estándar internacional bajo condiciones específicas.

1.4.4 Necesidades del proceso

El proceso necesita la interacción de cuatro etapas. Primeramente, un sistema de ambientación térmica permite mantener condiciones específicas de trabajo durante el desarrollo del ensayo. Adicionalmente, se debe mezclar el inóculo herméticamente durante todo el proceso (cabe recalcar que esta necesidad no se encuentra establecida en la norma). Un sistema de bombeo de gases, que utiliza una bomba de vacío capaz de absorber el gas que se encuentra en los reactores y servir de actuador en el sistema de medición de gases. Por último, se requieren un sistema de medición de los gases generados por la reacción química.

1.4.5 Importancia de los sistemas del equipo.

1.4.5.1 Mezclado

A principios del siglo XX en varios países como Estados Unidos, India y Alemania, se comenzaron a implementar sistemas conocidos como tanques sépticos, en donde se aplicaba el principio de descomposición anaeróbica, pero se obtuvieron eficiencias relativamente bajas (30-50%), dejando de ser sistemas competitivos frente a la alta eficiencia de los sistemas aerobios (90-95%). Algún tiempo después se pudo reconocer que su baja eficiencia se debía al poco contacto que existía entre el sustrato y la masa bacteriana, por esta razón es necesario un mezclado continuo. (Haandel & Lettinga, 1994)

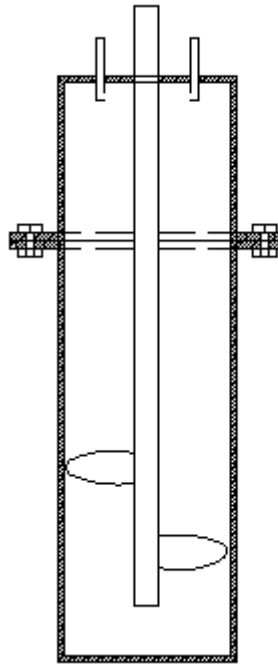


Figura 1.1. Esquema de mezclado

Fuente: [Elaboración propia].

1.4.5.2 Incubadora

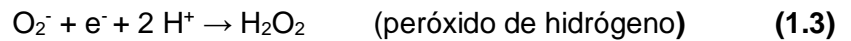
La temperatura es uno de los parámetros más importantes cuando se habla del crecimiento bacteriano. Un exceso de calor también es perjudicial, debido a que estos organismos pierden su capacidad para reproducirse y comienzan a morir en un tiempo determinado.

El aumento de la temperatura también presenta ventaja con respecto a la solubilidad en gases como el CO_2 y otros como el NH_3 , el cual permite aumentos en el pH y evita inhibiciones en el proceso de degradación anaeróbica. (Matute & Eduardo, 2017)

1.4.5.3 Sistema de vacío

El sistema de vacío es de suma importancia en este proceso de reducción anaeróbica. Los organismos anaerobios por lo general no son muy tolerantes a la presencia de oxígeno, es más, varios de ellos son extremadamente intolerantes (aerointolerantes). La mala relación con el oxígeno puede deberse a que este es un poderoso captador de electrones, lo que inhibe la cadena de transportación de electrones hacia las moléculas orgánicas, haciendo incompatible su relación. El oxígeno también podría reducir de manera directa

algunas enzimas importantes que permiten la alimentación de las bacterias. Por último, se cree que la razón más importante para evitar que las bacterias se relacionen con el O₂, es porque este puede reaccionar con algunos elementos y dar productos extremadamente tóxicos para su desarrollo. (C. Rivas, s. f.)



1.4.5.4 Sistema de conexiones y medición.

Los gases generados deben almacenarse para su posterior análisis, de modo que deben ser conducidos desde el envase de reacción, hasta donde serán acumulados y medidos. También se debe conectar la bomba para gases con los envases que contienen la muestra, para poder eliminar parte del aire interno.

El sistema de medición de gas es la parte más importante en el diseño, sin éste, no se podría cuantificar las reacciones, que es el propósito del proyecto. Existen equipos en el mercado que utilizan diferentes métodos para medir volúmenes; por lo general se utilizan flujos volumétricos, presión, desplazamiento volumétrico, volúmenes calibrados, etc.

Debido a los pequeños volúmenes generados, el sistema se torna más complejo y costoso.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Metodología para el diseño

El siguiente diagrama muestra la metodología aplicada en el desarrollo de este proyecto.

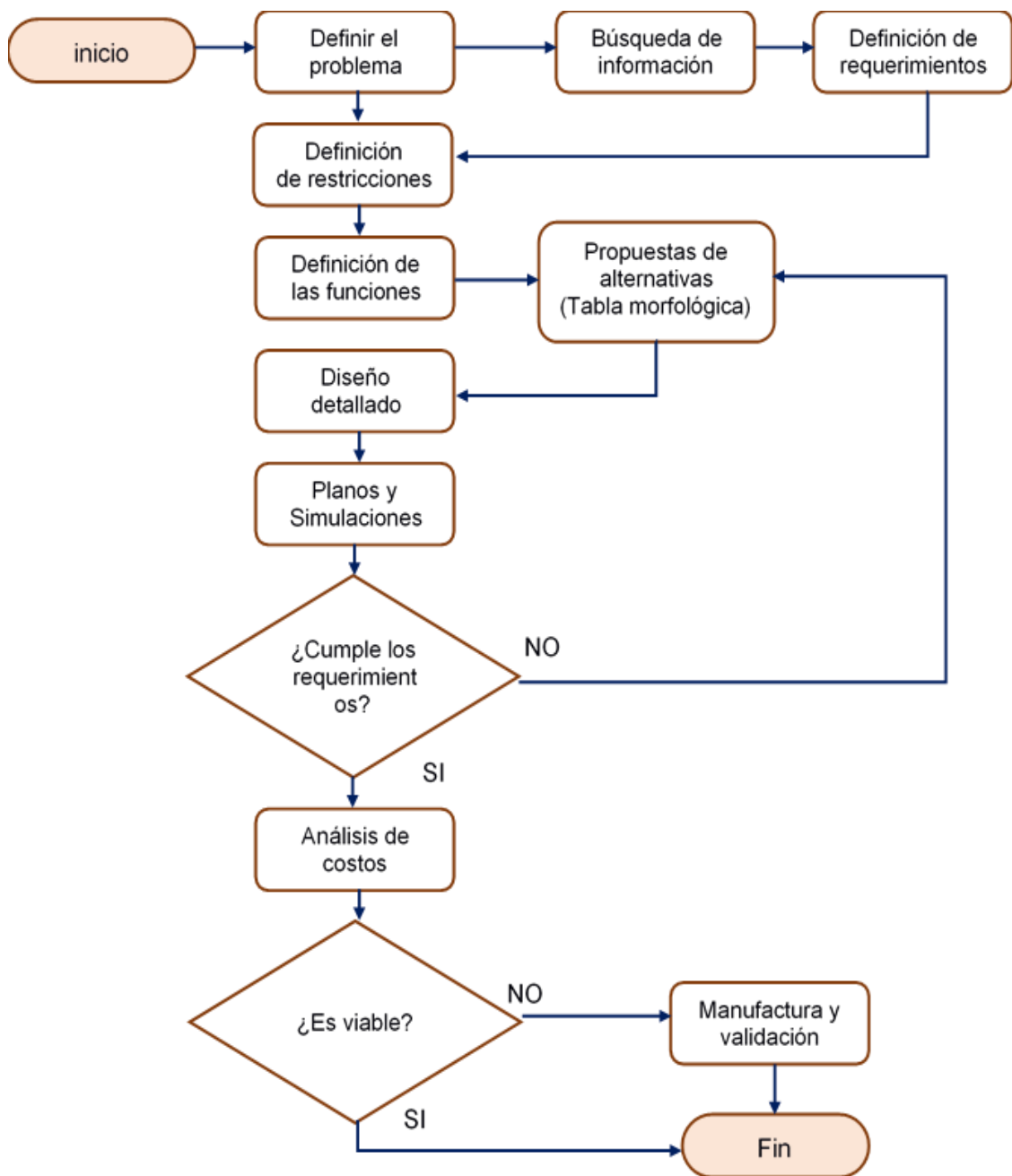


Figura 2.1. Esquema de la metodología a seguir en el proceso de diseño.

Fuente: [Elaboración propia].

2.2 Diseño conceptual

2.2.1 Árbol de objetivos

El primer paso que se realizó para seguir con las normas del proceso de diseño fue elaborar un árbol de objetivos, el cual muestra los requerimientos intrínsecos del cliente. Cumplir con estos objetivos nos ayudara a conseguir la meta deseada. El árbol de objetivos también nos muestra las submetas agrupadas con diferentes niveles de importancia.

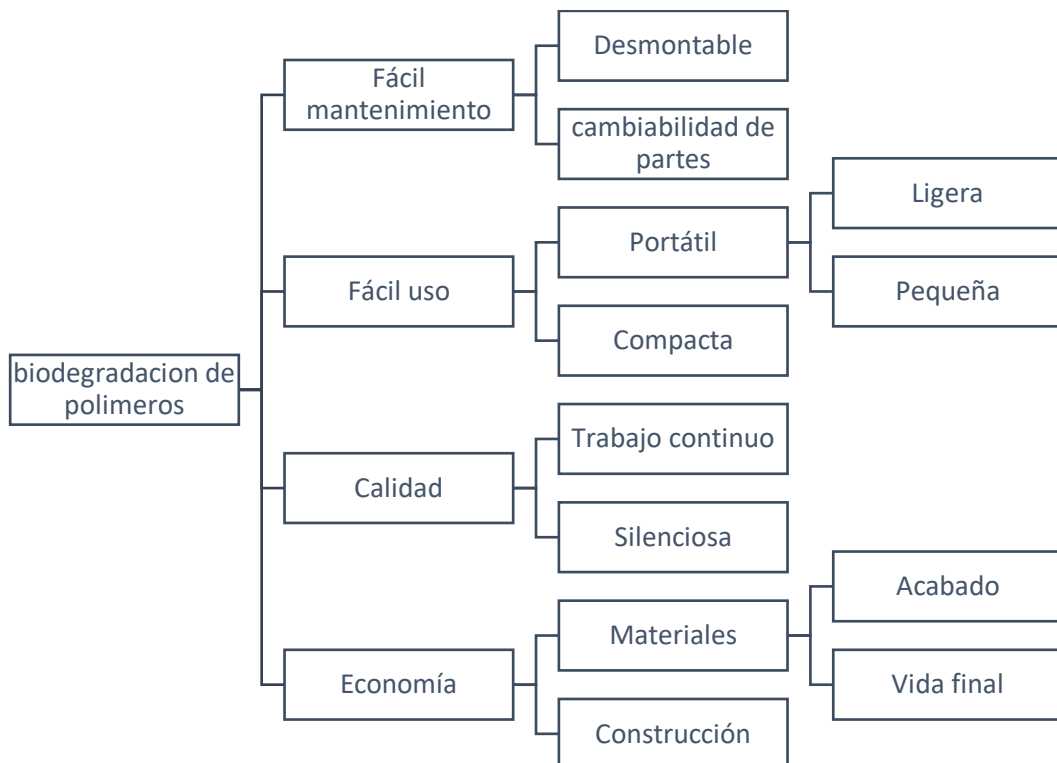


Figura 2.2. Árbol de objetivos.

Fuente: [Elaboración propia].

2.2.2 Requerimientos del cliente

Como siguiente paso se extrajo los requerimientos que se debieron cumplir para la selección de los componentes. Estos objetivos se tomarán en cuenta más adelante dependiendo del accesorio del que se trate.

Tabla 2.1. Sub-Objetivos

Sub-Objetivos
Confiable
Estética
Vida útil
Económico
Compacto
Operable
Fácil adquisición
Mantenibilidad
Estable

Fuente: [Elaboración propia].

Confiable: El dispositivo nos permite cierta certeza de funcionamiento o de precisión.

Estética: Se refiere a la forma del producto final y sus acabados.

Vida Útil: Tiempo en que los accesorios deben ser sustituidos.

Económico: El equipo debe tener una buena relación costo – beneficio.

Compacto: Deben tomarse en cuenta el tamaño de la unidad. Debe reducirse el peso sin afectar la resistencia ni cualquiera de los otros subobjetivos.

Operable: La puesta en marcha, la toma de datos y el manejo en general deben ser relativamente sencillas.

Fácil adquisición: El equipo debe utilizar accesorios que se encuentren disponibles en el mercado.

Mantenibilidad: Los componentes deben ser ensamblables y fácilmente reemplazables.

Estable: El sistema debe ser capaz de mantener la estabilidad frente a estímulos externos cuando llegue a su punto de operación.

2.2.3 Variables del sistema

Para el desarrollo de las propuestas de la solución, se necesitaron definir las variables del sistema, la cual nos ayudó a tener en claro las características dinámicas del estado de entrada y el estado de salida.

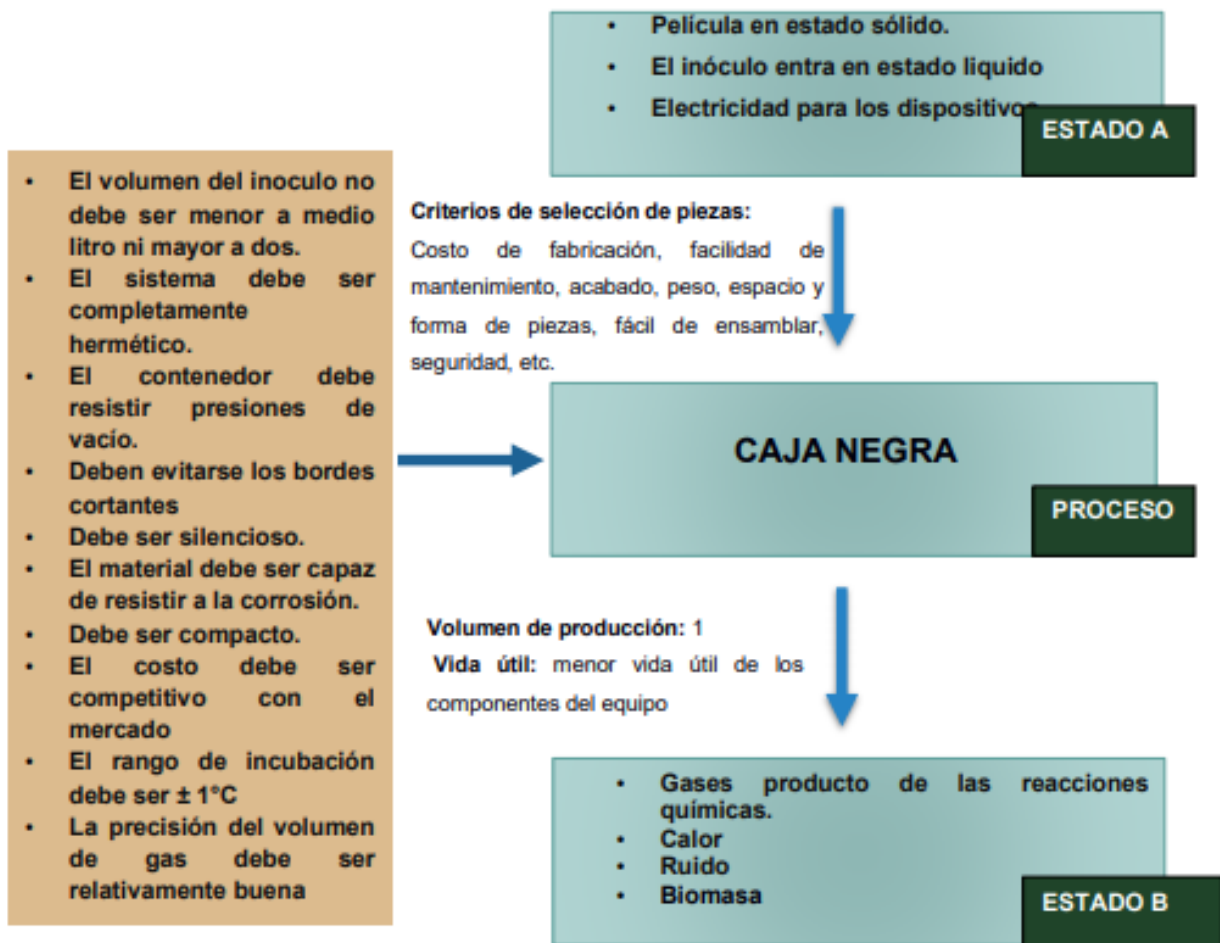


Figura 2.3. Diagrama de variables del equipo.

Fuente: [Elaboración propia].

2.2.4 Árbol de funciones y medios

Este diagrama estuvo enfocado en representar gráficamente las funciones principales, relacionarlas de manera jerárquica con las funciones secundarias. En el nivel superior del árbol se colocó la función que el equipo debe realizar, y subsecuentemente los niveles inferiores muestran los medios para realizar dicha acción. Las funciones son denotadas por los rectángulos y los medios para cumplir dicho objetivo esta denotado por los trapecios.

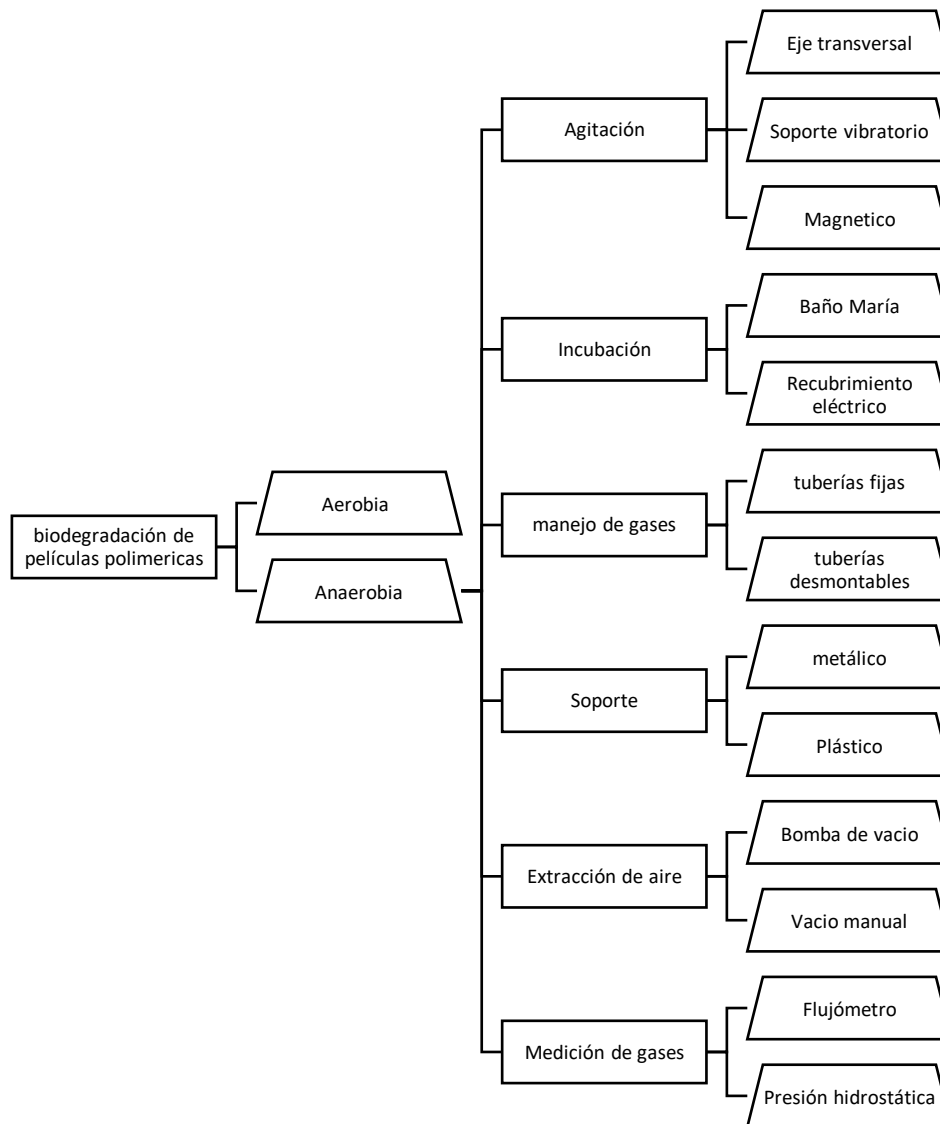


Figura 2.4. Árbol de funciones y medios.

Fuente: [Elaboración propia].

2.2.5 Planteamiento de alternativas

Para el planteamiento de las alternativas, se hizo uso de la tabla morfológica.

2.2.5.1 Tabla morfológica

La tabla morfológica es una herramienta que se utilizó para visualizar los elementos fundamentales del equipo y las posibles combinaciones que se obtuvieron para el ensamblado del mismo.

Primero se realizó una lista de las características que se desea en el diseño.

- Material de la estructura A
- Forma base de la estructura B
- Material de los envases C
- Sistema de agitación D
- Sistema de incubación E
- Forma de hacer turbulencia (Baño María) F
- Espesor de placas para tina (Baño María) G
- Sistema de control H
- Manejo de gases I
- Conexiones de tubos J
- Sistema de medición de gases K

Tabla 2.2. Tabla morfológica.

características		Medios	
A	Metal	Plástico	
B	Ángulos y platinas	Tubo cuadrado	Ensamblado
C	Acero inoxidable	Envases plásticos	
D	Vibración	Engranés	Inducción magnética
E	Recubrimiento eléctrico	Baño maría	
F (Baño María)	Agitador	Bomba recirculante	
G (Baño María)	Fino con soporte	grueso	
H	Electrónico	Neumático	
I	Tuberías metálicas	Tuberías plásticas	
J	Conexiones rápidas (racores)	Roscado	
K	medir desplazamiento volumétrico	Medir caudal de gas	Medir presión y temperatura y utilizar correlación de gases ideales

Fuente: [Elaboración propia].

Una vez realizada la tabla morfológica se procedió comparar individualmente todas las alternativas de los diferentes sistemas del equipo. En el equipo existen

cuatro sistemas independientes, incubación, manejo de gases, agitación y medición de gases. En la selección del material para la estructura, no se tomó en cuenta la propuesta de solución 2 (plástico), debido que existen esfuerzos significativos en la base. Cabe recalcar que dicha solución tiene mucho potencial y se reduciría enormemente el costo de producción en masa, serian de menor peso y una elaboración más rápida.

2.2.6 Selección de alternativas

A continuación, se seleccionarán las alternativas para los tres sistemas principales, el sistema de agitación, el sistema de incubación, y el de distribución de gases.

2.2.6.1 Sistema de agitación

Para la selección de la mejor alternativa, se utilizó el método de comparación por pares, en donde se identifica el valor de los criterios de selección previamente definidos y se los pondera según su importancia con relación a los otros.

Tabla 2.3. Ponderación de los criterios para el Sistema de agitación

Criterios	Fácil adquisición	Mantenibilidad	Económico	Confiable	Compacto	Total
Fácil adquisición	***	0	1	0	1	2
Mantenibilidad	1	***	0	0	0	1
Económico	0	1	***	0	1	2
Confiable	1	1	1	***	1	4
Compacto	0	1	0	0	***	1

Fuente: [Elaboración propia].

Con la ponderación respectiva se procede a calificar los medios para cumplir con el objetivo. Para calificar los criterios de selección, se utilizó valores del 1 al 5, donde:

5: Excelente 4: Muy buena 3: Buena 2: Regular 1: Insuficiente

Tabla 2.4. selección del agitador

Criterio	Fácil adquisición		Mantenibilidad		Económico		Confiable		Compacto		Total
	Peso ponderado										
Peso ponderado	2		1		2		4		1		
Alternativa de solución	Calf.	Peso	Calf.	Peso	Calf.	Peso	Calf.	Peso	Calf.	Peso	
Vibración	2	4	2	2	2	4	2	8	3	3	21
Engranés	5	10	4	4	5	10	5	4	3	3	31
Inducción magnética	1	2	4	4	2	4	3	12	5	5	27

Fuente: [Elaboración propia].

2.2.6.2 Ambientación térmica

Tabla 2.5. Ponderación de los criterios para el Sistema de incubación.

Criterios	Fácil adquisición	Económico	Operable	Confiable	Estable	Total
Fácil adquisición	***	1	0	0	0	1
Económico	0	***	1	0	0	1
Operable	1	0	***	0	0	1
Confiable	1	1	1	***	0	3
Estable	1	1	1	1	***	4

Fuente: [Elaboración propia].

Tabla 2.6. selección de la incubadora

Criterio	Fácil adquisición		Económico		Operable		Confiable		Estable		Total
Peso ponderado	1		1		1		3		4		
Alternativa de solución	Calf.	Peso	Calf.	Peso	Calf.	Peso	Calf.	Peso	Calf.	Peso	
Manta eléctrica	1	1	1	1	5	5	4	12	3	12	31
Baño maría	5	5	4	4	5	5	4	12	4	16	42

Fuente: [Elaboración propia].

El baño María tiene la ventaja de distribuir el calor de manera uniforme cuando se coloca un agitador dentro. La temperatura dentro de los recipientes de incubación estará muy próxima a la de baño, lo cual nos permite un control más estable rápido cumpliendo con nuestros requerimientos iniciales del rango de temperatura propuestos en la sección 2.2.3

2.2.6.3 Manejo de gases

Tabla 2.7. Ponderación de los criterios para el sistema de manejo de gases.

Criterios	Fácil adquisición	Económico	Operable	Confiable	Vida útil	Total
Fácil adquisición	***	0	0	0	1	1
Económico	1	***	0	0	0	1
Operable	1	1	***	0	0	2
Confiable	1	1	1	***	1	4
Vida útil	0	1	1	0	***	2

Fuente: [Elaboración propia].

Tabla 2.8. Selección de accesorios para distribución de gases.

Criterio	Fácil adquisición		Económico		Operable		Confiable		Vida útil		Total
	1	1	2	4	2	4	2	2			
Peso ponderado	1	1	2	4	2	4	2	2			
Alternativa de solución	Calf.	Peso	Calf.	Peso	Calf.	Peso	Calf.	Peso	Calf.	Peso	
<i>Tuberías metálicas con conexiones rascadas</i>	5	5	4	4	2	4	5	20	2	4	37
<i>Tuberías plásticas con conexiones rápidas (Racores)</i>	3	3	2	2	5	10	4	16	4	6	39

Fuente: [Elaboración propia].

2.2.6.4 Medición de volumen

Tabla 2.9. Ponderación de los criterios para el sistema de medición de gases.

Criterios	Confiable	Mantenibilidad	Compacto	Vida útil	Estable	Total
Confiable	***	1	1	1	1	4
Mantenibilidad	0	***	1	0	0	1
Compacto	0	0	***	1	0	1
Vida útil	0	1	0	***	0	1
Estable	0	1	1	1	***	3

Fuente: [Elaboración propia].

Tabla 2.10. Selección del sistema de medición de gases.

Criterio	Confiable		Mantenibilidad		Compacto		Vida útil		Estable		Total
	Calf.	Peso	Calf.	Peso	Calf.	Peso	Calf.	Peso	Calf.	Peso	
Peso ponderado	4		1		1		1		3		
Alternativa de solución											
Medir desplazamiento volumétrico	5	20	4	4	5	5	4	4	4	12	45
Medir caudal de gas	4	16	4	4	5	5	4	4	3	9	38
Medir presión y temperatura y utilizar correlación de gases ideales	1	4	3	3	4	4	3	3	1	3	17

Fuente: [Elaboración propia].

2.2.7 Propuesta de Solución

- *Material de la estructura* Metal negro estructural
- *Forma base de la estructura* Tubos metálicos
- *Material de los envases* Acero inoxidable
- *Accionador de los agitadores* Inducción magnética
- *Transferencia de calor de la incubadora* Baño maría
- *Forma de hacer turbulencia (Baño María)* Bomba recirculante
- *Espesor de placas para tina (Baño María)* Fino
- *Sistema de control* Electrónico
- *Manejo de gases* Tuberías plásticas
- *Conexiones de tubos* Conexiones rápidas (racoeres)
- *Medición de volumen* Sensor ultrasónico de altura

2.2.8 Diseño de forma

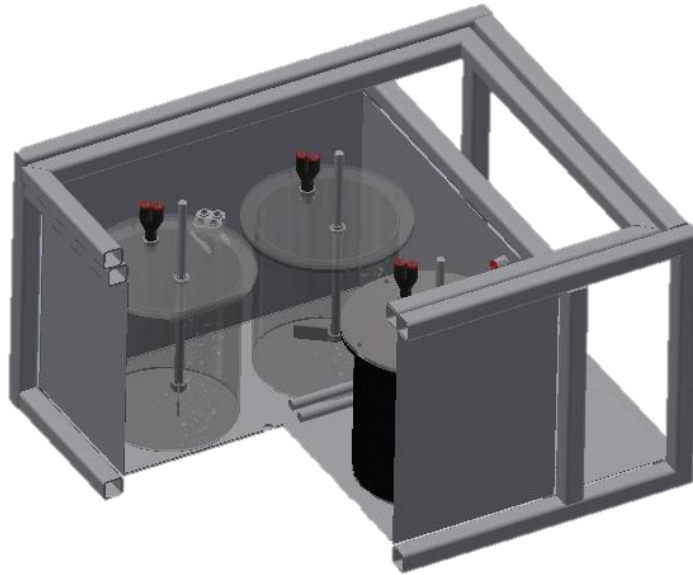


Figura 2.5. Primer diseño del reactor.

Fuente: [Elaboración propia].

2.3 Diseño detallado

Para el diseño del prototipo se realizaron varias consideraciones, tanto en la selección de los equipos u accesorios y en el material.

2.3.1 Reactor

Este envase está en contacto directo con el inóculo que contiene bacterias reductoras, por lo que debe ser resistente a la biodegradación.

Para el diseño del reactor se buscaron alternativas en el mercado que permitieran una fácil adquisición. Se encontró un reductor de sección de 4" a 2", de acero inoxidable 304. El reductor tipo clamp viene con sus respectivos tapones y o-rings para lograr un cierre hermético.

El volumen del recipiente se calculó teniendo las medidas del reductor.

$$V_c = \frac{\pi}{8} (D_s^2 + D_i^2) * L_c \quad (2.1)$$

Donde:

V_c = volumen del cilindro (mayor a 0.5 litros)

L_c = Longitud del cono

D_s = Diámetro superior

D_i = Diámetro inferior

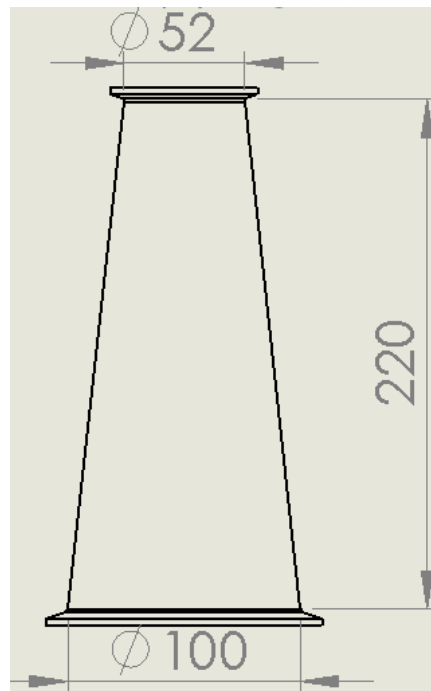


Figura 2.6. Dimensiones del reductor tipo CLAMP.

Fuente: [Elaboración propia].

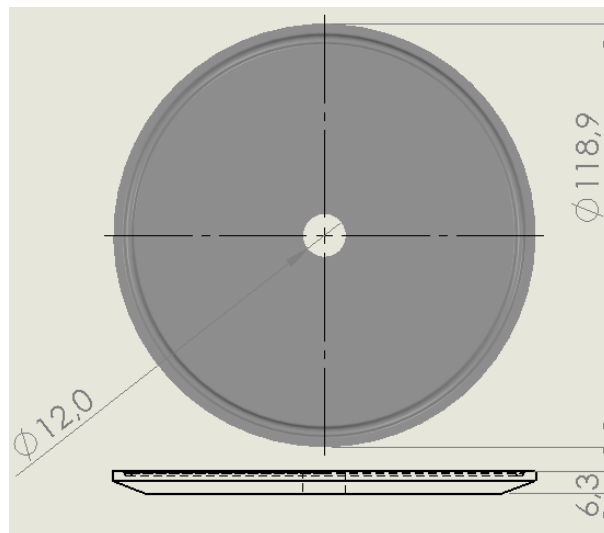


Figura 2.7. Tapa tipo CLAMP de 4".

Fuente: [Elaboración propia].

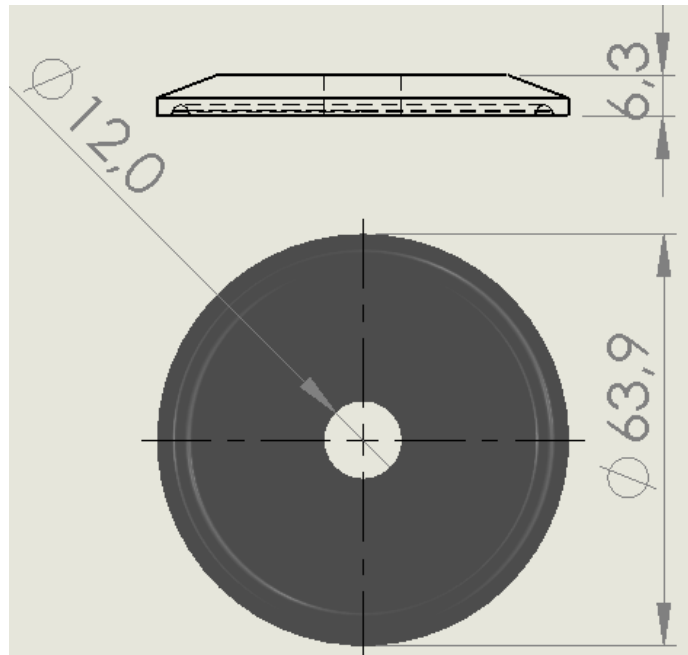


Figura 2.8. Tapa tipo CLAMP de 2”.

Fuente: [Elaboración propia].

2.3.1.1 Esfuerzos en el envase

Una vez seleccionado el envase se procede a calcular si el recipiente será capaz de resistir la presión interna de vacío. Se utilizó la norma ASME VIII. (*Diseño y análisis estructural de recipientes a presión, s. f.*)

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot r}{2 e \cos \alpha} \quad (2.2)$$

$$\sigma_2 = \frac{P \cdot r}{e \cdot \cos \alpha} \quad (2.3)$$

Donde:

σ_1 = Esfuerzo producto de la tensión longitudinal

σ_2 = Esfuerzo producto de la tensión radial

r = Radio mayor

e = Espesor de pared

α = Es el semiángulo medido desde el vértice del cono

P = La presión máxima.

2.3.1.2 Esfuerzo de Von Mises

Este criterio nos sirve para aproximar la resistencia estática aplicado a materiales dúctiles, también es conocido como criterio de la máxima energía de la distorsión, dada por la siguiente ecuación.

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2}{2}} \quad (2.4)$$

$$n = \frac{S_y}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2}{2}}} \quad (2.5)$$

Donde:

n = factor de seguridad

S_y = esfuerzo de fluencia del acero inoxidable

2.3.2 Diseño del sistema de agitación

2.3.2.1 Selección del tipo de agitador

Para seleccionar el agitador se definió el volumen y la viscosidad del contenido. Se espera que el recipiente pueda almacenar unos 700 ml de inóculo. Con un análisis bibliográfico se estableció una viscosidad máxima de 15000 cps (15 kg/ms) y una densidad media de 1700 kg/m³.

Para seleccionar la forma del agitador, se propone la Tabla 2.11, la cual proporciona el rango óptimo de trabajo de los diferentes tipos de turbinas.

El agitador podría tener cuatro formas distintas, pero se seleccionó la más fácil de realizar, flat Blade turbine o turbina de pala plana.

Tabla 2.11. Rangos óptimos de viscosidad para impeler.

Type of impeller	Range of liquid, cP	Viscosity, kg/m - sec
Anchor	10 ² - 2 × 10 ³	10 ⁻¹ - 2
Propeller	10 ⁰ - 10 ⁴	10 ⁻³ - 10 ¹
Flat-blade turbine	10 ⁰ - 3 × 10 ⁴	10 ⁻³ - 3 × 10 ¹
Paddle	10 ² - 3 × 10 ¹	10 ⁻¹ - 3 × 10 ¹
Gate	10 ³ - 10 ⁵	10 ⁰ - 10 ²
Helical screw	3 × 10 ³ - 3 × 10 ⁵	3 - 3 × 10 ²
Helical ribbon	10 ⁴ - 2 × 10 ⁶	10 ¹ - 2 × 10 ³
Extruders	>10 ⁶	>10 ³

Fuente: Holland, F. A., and Chapman, F. S. Liquid Mixing and Processing in Stirred Tanks, Reinhold, New York, 1966.

2.3.2.2 Configuración del sistema de agitación

Una vez obtenida la forma del agitador, procederemos a establecer las semejanzas geométricas que se recomienda para que funcionen las correlaciones empíricas de agitación.

$$\frac{D_a}{D_t} = 0.33 \quad (2.6)$$

$$\frac{C}{D_a} = 1 \quad (2.7)$$

$$\frac{H}{D_t} = 1 \quad (2.8)$$

Donde:

D_a : Diámetro del agitador

D_t : Diámetro del envase

C : Distancia del agitador desde el piso.

H : Altura del fluido a agitar

2.3.3 Potencia del agitador

El objetivo del proceso de agitación es mejorar la transferencia de calor y su vez aumentar el contacto con el material a degradarse, evitando que los sólidos suspendidos se precipiten al piso del envase. Se puede valorar la potencia consumida por el proceso de agitación utilizando números adimensionales como el de Reynolds y el número de potencia.

2.3.3.1 Número Reynolds (Re)

Este número en particular es muy utilizado cuando hablamos transporte y movimiento de fluidos, siendo la relación entre las fuerzas inerciales del fluido y las fuerzas viscosas del mismo. Los flujos se pueden clasificar en tres, laminar, transición y turbulenta, en donde la corriente tendrá una forma ordenada cuando el número de Reynolds sea menor.

Régimen laminar	$Re < 10$
Régimen transitorio	$300 < Re < 10000$
Régimen turbulento	$Re > 10000$

$$Re = \frac{N D_a^2 \rho}{\mu} \quad (2.9)$$

Donde:

N : velocidad de rotación [rad/s]

D_a : Diámetro del agitador [m]

ρ : Diámetro de la mezcla [kg/m³]

μ : viscosidad [Pa·s]

2.3.3.2 Régimen laminar con o sin placas deflectoras

Cuando el régimen es laminar, el flujo tiene un comportamiento similar cuando el envase tiene y no tiene placa deflectoras. Otro fenómeno que ocurre es que la densidad deja de ser un factor importante en el cálculo de potencia y comienza a predominar la viscosidad de la mezcla.

$$P = K_L * N^2 * D_a^3 * \mu \quad (2.10)$$

Donde:

K_L : constante empírica

Tabla 2.12. Constantes para estimar la potencia.

	Tipo de agitador	K_L	K_T
Impulsor	Hélice tres palas paso 1.0 ⁴³	41	0.32
	Hélice tres palas paso 1.5 ³⁷	48	0.87
	HE-3	43	0.28
	De disco seis palas	65	5.75
Turbina	Seis palas inclinadas a 45°	-	1.63
	Cuatro palas inclinadas a 45°	44.5	1.27
Paleta	Plana, dos palas	36.5	1.7
Ancla		300	0.35

Fuente: (McCabe et al., 2007)

2.3.3.3 Número de potencia (N_p)

Este número se utiliza cuando el flujo se encuentra en la fase de transición laminar a turbulento.

Para aproximar la potencia necesaria del motor girando a revoluciones específicas, es imperativo utilizar correlaciones prácticas que utilicen variables medibles dentro del sistema. Este número adimensional es utilizado comúnmente para asociar la resistencia del flujo utilizando las fuerzas inerciales del mismo.

Para la demostración de este número se utilizó análisis dimensional y experimentación para poder aproximar valores de manera empírica.

$$P = N_p * N^3 * D_a^5 * \rho \quad (2.11)$$

Donde:

P: Potencia de agitación del impulsor (watts)

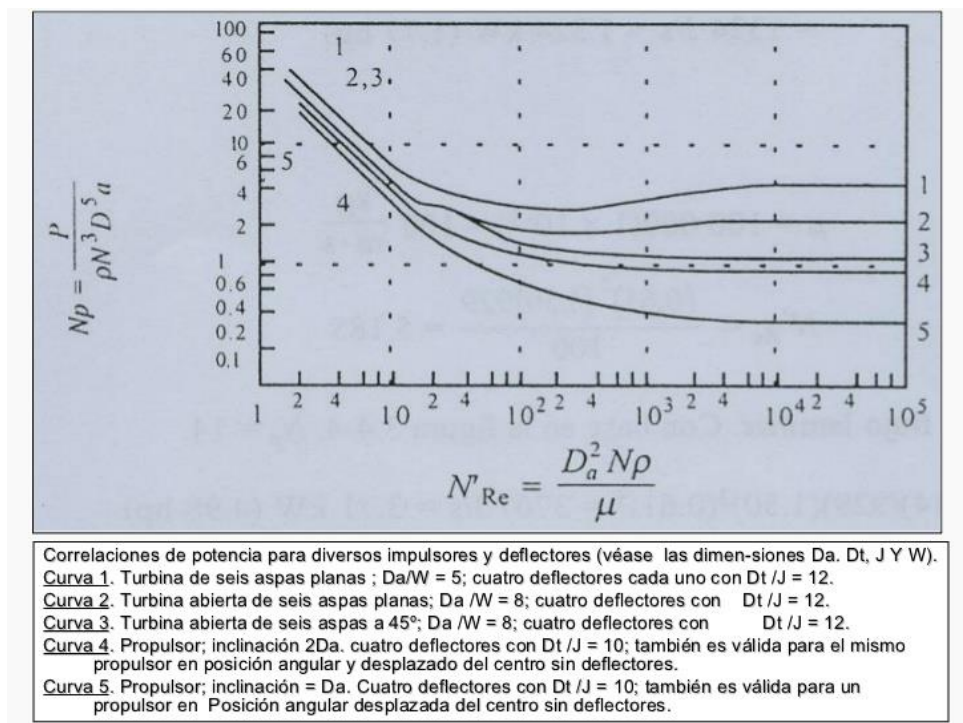


Figura 2.9. Número de potencia según el número de Reynolds.

Fuente:(Geankoplis, 2003)

2.3.3.4 Régimen turbulento con placas deflectoras

Cuando se tiene Reynolds por encima de 10,000 se debe utilizar placas deflectoras para que no se creen vórtices en los fluidos con poca viscosidad, a medida que el vórtice aumenta. También aumenta la profundidad hasta alcanzar

el agitador, disminuyendo la eficiencia del mezclado. La potencia en este tipo de agitadores puede calcularse de la siguiente manera:

$$P = K_T * N^3 * D_a^5 * \rho \quad (2.12)$$

K_T : Constante empírica ver Tabla 2.12

N : Velocidad en rev/s

2.3.3.5 *Número de flujo*

Similar al número de potencia, el número de flujo se utiliza para conocer la capacidad de distribución o de bombeo (caudal) del impulsor o turbina, para ello se relaciona el caudal con la velocidad y el diámetro del impulsor. Con la Tabla 2.13 se puede obtener el número de bombeo según el tipo de agitador.

$$N_Q = \frac{Q}{N * D^3} \quad (2.13)$$

Tabla 2.13. Número de bombeo para diferentes tipos de agitadores

Tipo de impulsor	Numero de bombeo N_Q
Propela marina	0.4-0.6
Turbina de Paletas inclinadas	0.79
Impulsor tipo Hydrofoil	0.55-0.73
Impulsor de hojas curvas	0.3
Turbinas de Paletas planas	0.7
Turbina de disco y hojas planas	0.72
Turbina de hojas cóncavas	0.76

Fuente: (Ramírez et al., 2012)

2.3.3.6 *Velocidad del flujo en la caja de baño María*

Se aproximará la velocidad del fluido de la incubadora utilizando el caudal del fluido en movimiento. La velocidad determinará si la transferencia de calor se puede aproximar como convección libre o convección forzada.

$$V = \frac{2Q}{A_B} \quad (2.14)$$

2.3.4 Engranajes para agitación

El sistema de agitación está diseñado para trabajar a la misma velocidad en todos los reactores. Se utilizó una transmisión por engranes, dispuesta por cuatro

engranes principales, uno para cada agitador dentro de los reactores y dos engranes que estarán dirigidos a mejorar la transferencia de calor en el baño María. Para el acople con el motor se utilizó un engrane – piñón de forma cónica, debido a que el motor estará empotrado a la pared y este tipo engranes nos permite cambiar la dirección de movimiento.

Todos los engranes del sistema son de modulo 2 mm, 10 mm de espesor y número de dientes mostrado a continuación.

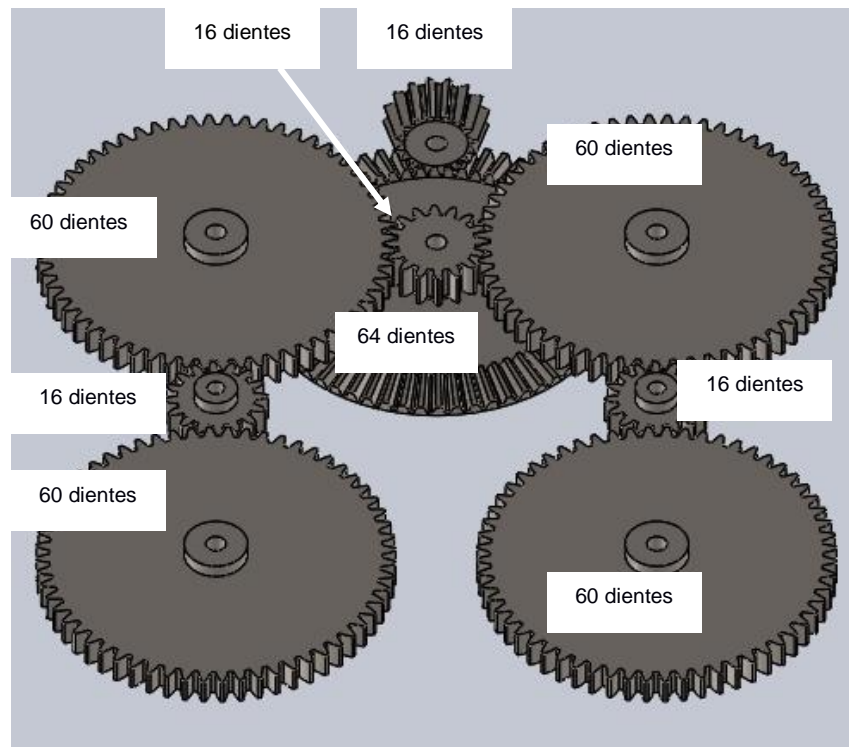


Figura 2.10. Configuración de los engranes para agitación.

Fuente: [Elaboración propia].

2.3.4.1 Relación de transmisión

Se calculó la relación de transmisión y para máxima velocidad se toma en cuenta la velocidad nominal del motor.

$$m_t = \frac{w_{sal}}{w_{ent}} = \frac{n_{conductores}}{n_{conducidos}} \quad (2.15)$$

2.3.4.2 Cálculo de esfuerzo de flexión en dientes

Para realizar el cálculo de flexión se escoge el engrane que esté sometido a mayor carga, en este caso serán los engranes de diámetro menor que están sometidos a esfuerzos fluctuantes completamente invertido.

AGMA propone una metodología tomando en cuenta las ecuaciones fundamentales del esfuerzo y proponiendo factores de seguridad que dependen de aspectos muy específicos de su aplicación. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$\sigma = K_a K_s K_I K_B K_m \frac{W^t}{K_v F m J} \quad (2.16)$$

Donde:

W^t : Carga tangencial (N)

K_a : Factor del tipo de motor

K_s : Factor de tamaño

K_v : Factor dinámico

K_B : Factor de espesor de aro

K_I : Factor por engrane loco (esfuerzo completamente reversible)

K_m : Factor de distribución de carga

F: Ancho de cara (m)

m: Modulo métrico (m)

J: Factor geométrico de forma

Factor dinámico K_v

Este factor trata de tomar en cuenta las vibraciones producto de los impactos, debido a los defectos de la manufactura del engrane.

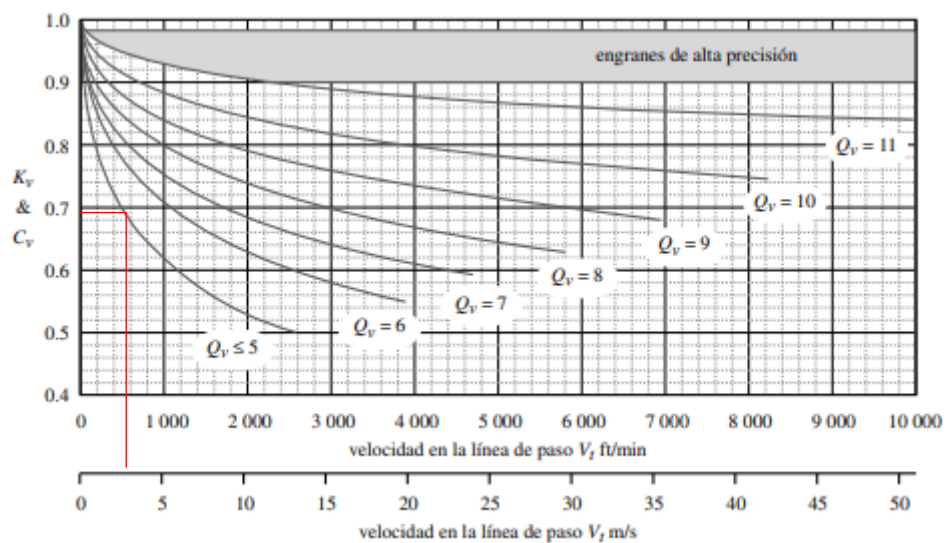


Figura 2.11. Factor dinámico de engranes.

Fuente: (Norton, 1999)

A continuación, se entra a la siguiente tabla con el número de dientes del piñón y engrane.

Tabla 2.14. Factor geométrico J para la flexión, para 20° con carga distribuida

Dientes en el engrane	Dientes en el piñón																
	12		14		17		21		26		35		55		135		
	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	
12	U	U															
14	U	U	U	U													
17	U	U	U	U	0.36	0.24											
21	U	U	U	U	0.37	0.26	0.39	0.27									
26	U	U	U	U	0.37	0.29	0.39	0.29	0.41	0.30							
35	U	U	U	U	0.37	0.32	0.40	0.32	0.41	0.33	0.43	0.34					
55	U	U	U	U	0.38	0.35	0.40	0.36	0.42	0.36	0.44	0.37	0.47	0.39			
135	U	U	U	U	0.39	0.39	0.41	0.40	0.43	0.41	0.45	0.42	0.48	0.44	0.51	0.46	

Fuente: (Norton, 1999)

En caso de desalineación, la carga tangencial que soporta el engrane se verá afectada en su distribución, de modo que se toma en cuenta en el factor de distribución de carga K_m , y se recomienda que el ancho de cara sea igual a:

$$F = \frac{12}{P_d} = \frac{12}{m \cdot n} \quad (2.17)$$

Donde:

F : Ancho de cara [in]

P_d : Paso diametral [in]

m : Módulo [mm]

n : Número de dientes del engrane

Tabla 2.15. Factor de distribución de carga

Ancho de cara		K_m
in	(mm)	
<2	(50)	1.6
6	(150)	1.7
9	(250)	1.8
≥20	(500)	2.0

Fuente:(Norton, 1999)

Una vez obtenido el factor de distribución de cara, se selecciona el factor de aplicación K_a de la siguiente tabla.

Tabla 2.16. Ka por el tipo movimiento

Máquina impulsora	Máquina impulsada		
	Uniforme	Impacto moderado	Impacto fuerte
Uniforme (motor eléctrico, turbina)	1.00	1.25	1.75 o mayor
Impacto suave (motor de varios cilindros)	1.25	1.50	2.00 o mayor
Impacto medio (motor de un solo cilindro)	1.50	1.75	2.25 o mayor

Fuente: (Norton, 1999)

La carga tangencial W_T es producto del torque del motor, por lo tanto, será calculada de la siguiente manera.

$$W_T = \frac{P}{r_P} \quad (2.18)$$

Donde:

P: Potencia del motor [W]

w: Velocidad nominal del motor [rad/s]

r_P : Radio nominal del piñón [m]

2.3.4.3 Resistencia del abs

Propiedades mecánicas (*)	Moldeo por inyección		Impresión 3D	
	Valor típico	Método de ensayo	Valor típico	Método de ensayo
Módulo de elasticidad a la tracción	2030 MPa	ISO 527 (1 mm/min)	1681,5 MPa	ISO 527 (1 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la deformación	43,6 MPa	ISO 527 (50 mm/min)	39,0 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la rotura	-	-	33,9 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la deformación	4,8 %	ISO 527 (50 mm/min)	3,5 %	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la rotura	34 %	ISO 527 (50 mm/min)	4,8 %	ISO 527 (50 mm/min)
Resistencia a la flexión	-	-	70,5 MPa	ISO 178
Módulo de flexión	-	-	2070,0 MPa	ISO 178
Resistencia a la prueba de impacto Izod, con mella (a 23 °C)	-	-	10,5 kJ/m ²	ISO 180
Resistencia a la prueba de impacto Charpy (a 23 °C)	58 kJ/m ²	ISO 179	-	-
Dureza	-	-	76 (Shore D)	Durómetro

Figura 2.12. Datos técnicos del plástico Abs.

Fuente: (Ficha de datos técnicos ABS.pdf, s. f.)

2.3.4.4 Factor de seguridad de engranes

$$n = \frac{s_y}{\sigma} \quad (2.19)$$

Donde:

s_y : Esfuerzo de fluencia

σ : Esfuerzo resultante

2.3.5 Determinación del diámetro de eje de agitación

El diámetro del eje para los agitadores será determinado por la ecuación propuesta por ASME para la transmisión de potencia. (Norton, 1999)

$$D_e = \left[\frac{32N_f}{\pi} \sqrt{\left(\frac{k_f M_a}{S_e}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T_m}{S_y}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2.20)$$

Donde:

N_f : factor de seguridad del diseño

k_f : factor del concentrador de esfuerzo por flexión alternante

M_a : momento alternante

T_m : torque medio

S_e : límite de resistencia a la fatiga

S_{ut} : resistencia ultima a la tracción

La resistencia a la fatiga se la estima utilizando múltiples factores de corrección y la primera corrección se la realiza con la resistencia ultima a la tracción.

$$S'_e = 0.5 * S_{ut} \quad (2.21)$$

$$S_e = C_{carga} * C_{Temperatura} * C_{Superficie} * C_{Tamaño} * C_{Confiabilidad} * S'_e \quad (2.22)$$

- **Factor de corrección por el tipo de carga**

Carga axial $C_{carga} = 0.7$

Flexión pura $C_{carga} = 1$ (2.23)

Torsión $C_{carga} = 1$

En caso de que existan esfuerzos combinados se utiliza un factor de carga

$C_{carga} = 1$

- **Factor de corrección por la temperatura**

Existen varias propuestas para aproximar la disminución del límite de la resistencia a la fatiga cuando se tiene temperaturas relativamente altas, Budynas & Nisbett, 2012 recomiendan utilizar las siguientes correlaciones.

$$\begin{aligned}
 \text{Para } T \leq 450^{\circ}\text{C} \ (840^{\circ}\text{F}) \quad C_{\text{Temperatura}} &= 1 \\
 450^{\circ}\text{C} \leq T \leq 550^{\circ}\text{C} \quad C_{\text{Temperatura}} &= 1 - 0.0058(T - 450) \\
 840^{\circ}\text{F} \leq T \leq 1020^{\circ}\text{F} \quad C_{\text{Temperatura}} &= 1 - 0.0032(T - 840)
 \end{aligned} \tag{2.14}$$

- **Factor de corrección por el acabado superficial**

El tipo de maquinado define el acabado superficial, donde Budynas & Nisbett sugieren la siguiente ecuación para el factor de corrección según el tipo de maquinado.

$$C_{\text{Superficie}} = A(S_{ut})^b \tag{2.25}$$

Donde "A" y "b" vienen dados en la siguiente tabla.

Tabla 2.17. Coeficientes del factor de superficie.

Acabado superficial	Para S_{ut} en MPa		Para S_{ut} en Kpsi	
	A	b	A	b
Esmerilado	1.58	-0.085	1.34	-0.085
Maquinado o rolado en frio	4.51	-0.265	2.7	-0.265
Rolado en caliente	57.7	-0.718	14.4	-0.718
Forjado	272	-0.995	39.9	-0.995

Fuente: (Norton, 1999)

- **Factor de corrección por tamaño**

Cuando se realizan las pruebas se utilizan probetas pequeñas menores a 0.3 in de diámetro, siendo preciso colocar un factor que corrija la escala del nuevo eje, debido a que las piezas con mayores diámetros suelen fallar con esfuerzos menores al de diseño, por el hecho de que existe una mayor probabilidad de defectos de vacancia.

$$\begin{aligned}
\text{Para: } & d \leq 0.3 \text{ in } (8 \text{ mm}) & C_{\text{Tamaño}} &= 1 \\
& 0.3 \text{ in} \leq d \leq 10 \text{ in} & C_{\text{Tamaño}} &= 0.869d^{-0.097} \\
& 8 \text{ mm} \leq d \leq 250 \text{ mm} & C_{\text{Tamaño}} &= 0.869d^{-0.097}
\end{aligned}
\tag{2.26}$$

- **Factor de corrección por confiabilidad**

La resistencia de los materiales es medida en base a rigurosas pruebas, pero bajo mismas pruebas y similares condiciones dichos materiales siguen presentando un comportamiento un tanto diferente, por lo cual se muestran siempre valores medios de la resistencia, por este motivo es imperativo un factor que tome en cuenta la desviación estándar de las diferentes pruebas.

Tabla 2.18. Factores de confiabilidad

% de Confiabilidad	$C_{\text{confiabilidad}}$
50	1
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620

Fuente: (Norton, 1999)

2.3.6 Cálculos térmicos del baño María

2.3.6.1 Energía para baño María

Para realizar el baño María, es inevitable el cálculo de la cantidad de energía necesaria para poder llevar el agua de su temperatura inicial (20°C) a una temperatura de trabajo de 55°C. Se utilizará la ecuación de calor sensible del agua y así cuantificar la potencia necesaria de la resistencia eléctrica, para ello primero necesitamos saber la masa de agua que queremos calentar

$$Q = m_w * c_{p_w} * \Delta T \tag{2.27}$$

$$m_w = \rho * v \tag{2.28}$$

Donde:

m_w : Masa de agua

cp_w : Calor específico del agua (4186 J/kg°K)

ρ : Densidad de agua ($\approx 1000 \text{ kg/m}^3$)

v : Volumen de agua ($\approx 24 \text{ m}^3$)

2.3.6.2 Pérdida de calor por las paredes

Para aproximar las pérdidas de calor por las paredes, se calcularon los coeficientes de transferencia de calor por convección, para luego hacer un circuito de resistencias térmicas y obtener el coeficiente global de transferencia de calor (Sección de Apéndices).

2.3.6.2.1 Coeficiente global de transferencia de calor por cara vertical

Para el coeficiente de calor global de las caras verticales, se realiza un circuito donde la resistencia de convección externa a la caja, la resistencia térmica de la caja y la resistencia de convección interna de la caja están en serie, de tal forma que se deben sumarse el inverso de sus valores.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{R_c} + \frac{1}{h_2} \quad (2.29)$$

Donde:

U_1 : Coeficiente global de transferencia de calor

h_1 : Coeficiente de convección externa

R_c : Resistencia térmica del acero 304

h_2 : Coeficiente de convección interna

Para el coeficiente de convección exterior de las paredes se calcula el número de Rayleigh,

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)}{\alpha v} \quad (2-30)$$

Donde:

g : Gravedad [m/s²]

β : Coeficiente de expansión volumétrica térmica [1/°K]

T_s : Temperatura superficial de pared [°C]

T_{∞} : Temperatura del fluido [°C]

α : Difusividad térmica [m²/s]

ν : viscosidad dinámica [m²/s]

Luego de calcular el Raleigh podremos calcular el número de Nusselt y luego el coeficiente de convección libre de acuerdo a Incropera & DeWitt, 1999.

$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.67Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \quad Ra_L \leq 10^9 \quad (2.31)$$

$$h_1 = \frac{\overline{Nu}_L * k}{L} \quad (2.32)$$

Donde:

\overline{Nu}_L : Número de Nusselt promedio

Ra_L : Número de Rayleigh

Pr : Número Prandtl

k : Resistencia térmica del aire

L : Altura de cara lateral

2.3.6.2.2 Coeficiente global de transferencia de calor por cara horizontal

Para la cara inferior se utiliza otra correlación para el número Nusselt, la transferencia de calor será diferente cuando la placa este horizontal, también se sustituye el diámetro por el diámetro hidráulico de la base.

$$\overline{Nu}_L^* = 0.52 Ra_L^{\frac{1}{5}} \quad (2.33)$$

$$h_1^* = \frac{\overline{Nu}_L^* k}{D_H} = \frac{\overline{Nu}_L^* k}{\frac{4A_B}{Pe}} \quad (2.34)$$

Donde:

D_H : Diámetro hidráulico

A_B : Área de base

Pe : Perímetro de base

2.3.6.3 Balance de energía en el sistema

Para el balance de energía se toma en cuenta la potencia de la resistencia eléctrica, la pérdida de calor hacia los alrededores por medio de las paredes, y la potencia de agitación.

$$w_{res} + w_{ag} - (A_1 U_1)(T_w - T_{amb}) = m_w c p_w \dot{T}_w \quad (2.35)$$

$$w_{ag1} + A_2 U_2 (T_w - T_{inoc}) = m_{inoc} c p_{inoc} \dot{T}_{inoc} \quad (2.36)$$

$$T_w(0) = T_{amb}$$
$$T_{inoc}(0) = T_{amb}$$

$$T_w = T_{amb} + \frac{w_{ag} + w_{res} - e^{-\frac{A_1 U_1 t}{m_w c p_w}} (w_{res} + w_{ag})}{A_1 U_1} \quad (2.37)$$

$$T_{inoc} = T_w + \frac{w_{ag1} - e^{-\frac{A_2 U_2 t}{m_{inoc} c p_{inoc}}} (w_{ag1} + A_2 U_2 T_w - A_2 U_2 T_{amb})}{A_2 U_2} \quad (2.38)$$

Donde:

w_{res} : Potencia de resistencia eléctrica [6000W]

w_{ag} : Potencia de agitación interno [11W]

A_1 : Área de la caja [0.59m²]

U_1 : Coeficiente global de transferencia de calor (vertical y horizontal) [40w/m²°K]

T_w : Temperatura del agua [°C]

T_{amb} : Temperatura ambiental [22°C]

w_{ag1} : Potencia de agitación externo [0.4W]

A_2 : área externa de envases [0.06M²]

U_2 : coeficiente global de transferencia de calor (inóculo-envase-agua) [100w/m²°K]

T_{inoc} : temperatura de inóculo [°C]

m_{inoc} : masa de inóculo [1.2kg]

$c p_{inoc}$: calor específico del inóculo [2300 J/kg°K]

2.3.7 Sistema de control de temperatura

Se detalla el circuito de funcionamiento del baño María, el cual funciona con una resistencia tubular. El agua es calentada y su vez el material dentro de los envases. Cuando la temperatura dentro de los envases llegue a la temperatura de

asentamiento, se reducirá la potencia de calentamiento, permitiendo una estabilización térmica.

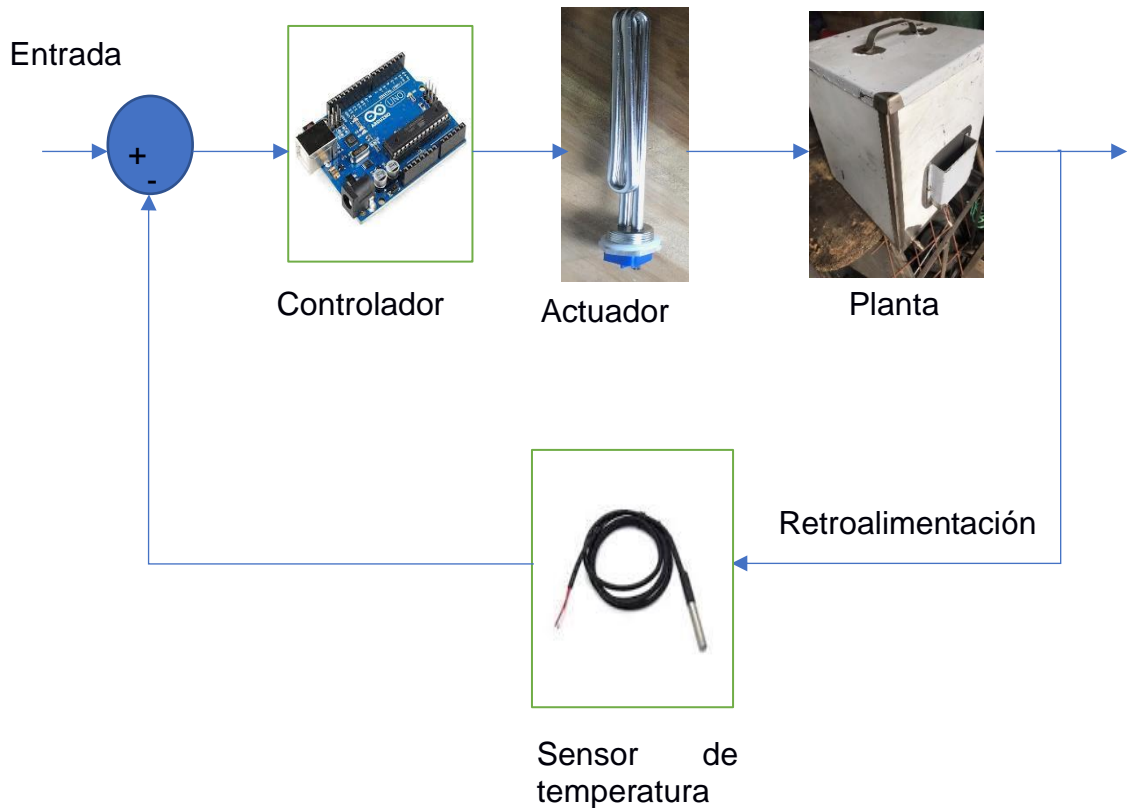


Figura 2.12. Diagrama de control de temperatura.

Fuente: [Elaboración propia].

2.3.8 Sistema de medición de volumen

A continuación, se muestra el circuito de funcionamiento del sistema de medición, el cual funciona basado en el principio de desplazamiento volumétrico. Al generarse los gases, desplazará el agua que se encuentra en unos tubos, midiendo ese desplazamiento se calculará el volumen de gases. Una vez medida la emisión, se procederá a encender la bomba de vacío, desplazando los gases hacia unas fundas de recolección de muestras.

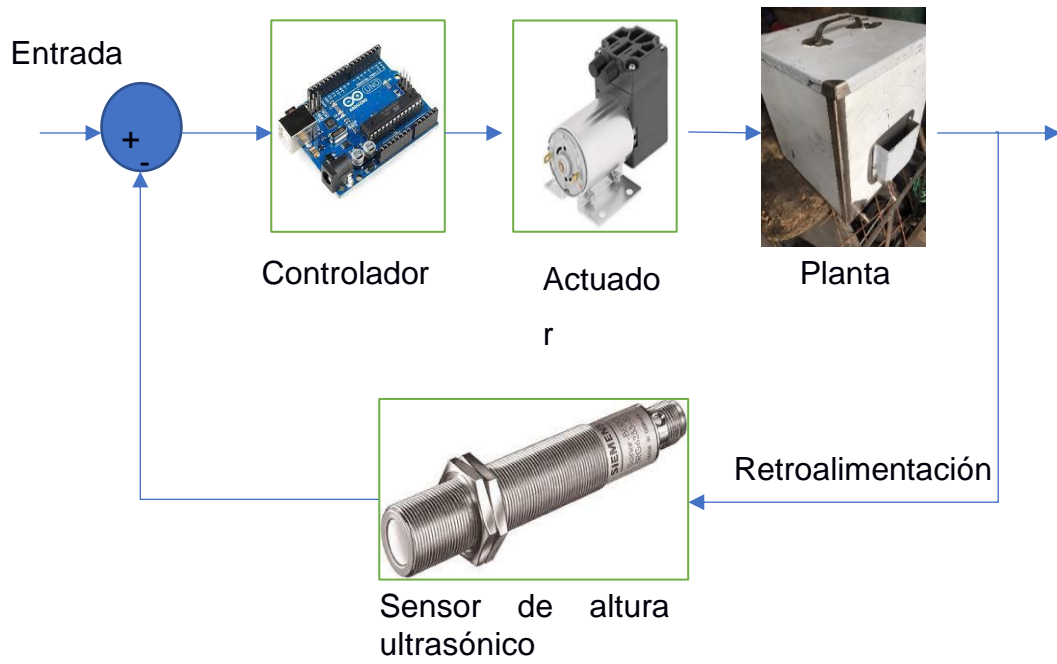


Figura 2.13. Diagrama de medición de volumen.

Fuente: [Elaboración propia].

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Volumen del reactor

El reductor tiene una altura útil de 220 mm, con un diámetro mayor de 100 mm y un diámetro menor de 52 mm. Utilizando la ecuación (2.1) el envase tendría un volumen total de aproximadamente 1.1 litros. Los cálculos serán adjuntos en la sección de Apéndices.

3.2 Esfuerzos en el envase

Se utilizó la ecuación 2.2 y 2.3, donde la presión máxima de vacío es de 420 mm Hg (32 KPa), el espesor de pared es de 1.5 mm, se utilizó un software CAD para modelar los envases y medir el ángulo entre la pared y la vertical, dando como resultado un 6.2°. Con estos datos se lograron esfuerzos radiales y axiales de 0.98 MPa y 0.49 MPa respectivamente. Los cuales son esfuerzos excesivamente bajos, mucho menor a los esfuerzos de diseño de los envases, por lo que se obtuvieron factores de seguridad de más de 280. Se seleccionó estos envases por la versatilidad de manejo y la fácil adquisición del producto, mas no por la resistencia mecánica de los mismos en condiciones de presiones negativas.

3.3 Medidas del sistema de agitación

3.3.1 Diámetro del impulsor

Utilizando la ecuación (2.6).

$$D_t = 100 \text{ mm}$$

$$D_a = 33 \text{ mm}$$

3.3.2 Altura de paletas

Utilizando la ecuación (2.7).

$$C = 33 \text{ mm}$$

3.3.3 Altura óptima de la muestra

Utilizando la ecuación (2.8).

$$H = 100 \text{ mm}$$

Para utilizar las correlaciones de potencia se hicieron ciertas asunciones, una de ellas es la altura que debe tener la muestra dentro del envase a agitar, los 100 mm de altura nos llevan a un volumen de 700 ml de inóculo, lo cual está dentro de las restricciones que se hicieron al inicio del diseño en la Figura 2.3.

3.4 Cálculo de potencia consumida

Se recurrió a la ecuación (2-9) para calcular el número de Reynolds, se escogió un motor DC del mercado con una velocidad máxima de 3400 rpm o 56.67 rps. El sistema de agitación consta con un reductor de velocidad de 15:1 que se muestra en la Figura 2.10, por lo que el agitador de los reactores tendrá a una velocidad de 3.77 rps.

Transformando las revoluciones por segundo a radianes por segundo nos da una velocidad angular de 23.7 rad/s y un Reynolds de alrededor de 2.9, entrando en la fase de régimen laminar, por consiguiente, se optó por la ecuación (2.10) para estimar la potencia. el sistema requirió una potencia de más de 11.1 W por agitador, es decir una potencia de unos 50 W por los cuatro agitadores para mantener en movimiento el inóculo dentro de los reactores. Se realizó el mismo procedimiento para calcular la potencia necesaria para crear movimiento en el agua que servirá como baño María. Estos agitadores giraran a mayor velocidad, cerca de 14.17 rps (≈ 89 rad/s) debido a que la relación de engranes es de 4:1.

El número de Reynolds para mover el agua está en la zona de turbulencia como se esperaba por la velocidad de rotación, por el cual se utilizó la ecuación (2.12), obteniendo una potencia de menos de 1 W para ambas turbinas exteriores, la potencia es relativamente baja por el pequeño diámetro de las aspas.

3.5 Tasa de recirculación en el baño María

Utilizando la Ec. (2.13) se predice el caudal del baño María y por ende la velocidad de movimiento del fluido. El número de bombeo utilizando paletas planas es de 0.7 según la Tabla 2.13, lo que nos da un caudal de movimiento de $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que equivaldría una velocidad de 13.3 milímetros por segundos tomando en cuenta el

área de circulación igual al área de la base de la caja. Con esta baja velocidad se puede asumir una convección libre.

3.6 Relación de transmisión del sistema de agitación

3.6.1 Agitador del inóculo

Para relaciona el número de dientes con la velocidad de entrada y así obtener la velocidad de cada agitador.

$$m_{t1} = \frac{16 * 16}{60 * 64} = \frac{1}{15}$$

$$w_{sal1} = \frac{3400 \text{ rpm}}{15} = 226.67 \text{ rpm} = 23.73 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

3.6.2 Agitador de la incubadora

$$m_{t2} = \frac{16 * 16 * 60}{60 * 64 * 16} = \frac{1}{4}$$

$$w_{sal1} = \frac{3400 \text{ rpm}}{4} = 850 \text{ rpm} = 89.01 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

El equipo permite ajustar la velocidad con un controlador, hasta una velocidad mínima de 50 rpm en los envases que contengan el inóculo, se eligió dicha velocidad revisando las especificaciones técnicas de equipos similares en el mercado. Para dicha velocidad se debe ajustar el controlador hasta una velocidad de:

$$w_{ent} = 50 \text{ rpm} * \frac{1}{m_{t1}} = 750 \text{ rpm}$$

3.7 Esfuerzos en engranes

Se calculó las constantes que toman en cuenta diversos factores en el cálculo de esfuerzos de flexión en engranes. Con una potencia nominal del motor obtuvo la carga radial del engrane, la cual es de aproximadamente 44 N. Se obtuvo el factor de seguridad utilizando la Ec. (2.19).

$$n \approx 2$$

Como se obtuvo un factor de seguridad superior a la unidad se puede operar el equipo a máxima velocidad sin que el piñón principal sufra daño alguno.

3.8 Cargas térmicas en baño María

3.8.1 Masa de agua a calentar

Se procedió a calcular el volumen estimado de agua en base a una altura de 300 mm desde el piso de la caja. Por lo tanto, la masa de agua a calentar es de 24 kg

3.8.2 Calor entregado

$$Q = 24kg * 4186 \frac{J}{kg \text{ } ^\circ K} * (55 - 20)^\circ K$$

$$Q = 3516.2 \text{ kJ}$$

Se estableció una primera aproximación del calibre de la resistencia utilizando la carga térmica de la masa de agua. Si no se toma en cuenta las pérdidas en las paredes, tomaría menos de 10 min calentar el agua a su temperatura de operación con una potencia de calentamiento de 6000W.

3.9 Pérdida de calor en paredes

Una vez calculados los coeficientes de convección libre externos (placa - aire), se procede a cuantificar el coeficiente de convección interno; el cual puede estimarse como convección libre en placas verticales y horizontales respectivamente. Se puede realizar esta aproximación debido a la baja velocidad del fluido y asumiendo que los agitadores son solo para homogeneizar la temperatura.

Para ello se usó la Ec. (2.31) con las propiedades del fluido interno (agua) para estimar el número de Rayleigh. Posteriormente se utiliza la Ec. (2.32) para calcular el número Nusselt y culminando con la Ec. (2.33) para estimar el coeficiente de convección interno. Obteniendo un coeficiente global de transferencia de calor para las paredes verticales y horizontales de 3.9 y 26 W/m²°K, respectivamente.

3.10 Simulaciones en ANSYS

3.10.1 Simulación de esfuerzo y deformación de la caja

Para la respectiva simulación de esfuerzos por carga estática, se utilizó el peso de los componentes internos. En este caso los envases llenos de inóculos llegaban a pesar cerca de 3.7 kg, teniendo un total de aproximadamente 15 kg que estarían apoyados en la base de la caja metálica, a más del peso de los

envases, se tomó en cuenta la presión hidrostática del agua a una temperatura de 55 °C.

Al final se obtuvieron deformaciones de alrededor de 0.22 mm y esfuerzos máximos de alrededor de 175 MPa, con los datos de la Tabla C.2 en la sección de apéndices, tenemos un factor de seguridad de aproximadamente 1.4, la cual nos dice que el calibre de la plancha utilizada es la correcta.

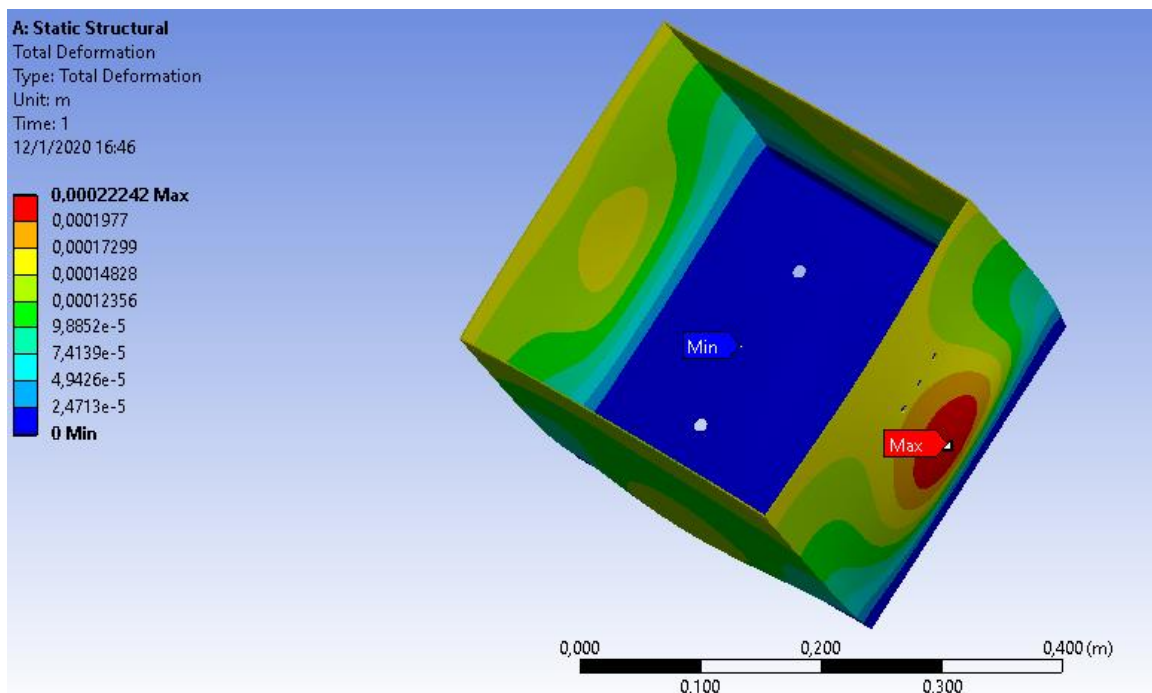


Figura 3.1. Deformación estática de la caja para baño María.

Fuente: [Elaboración propia].
Simulación realizada en ANSYS

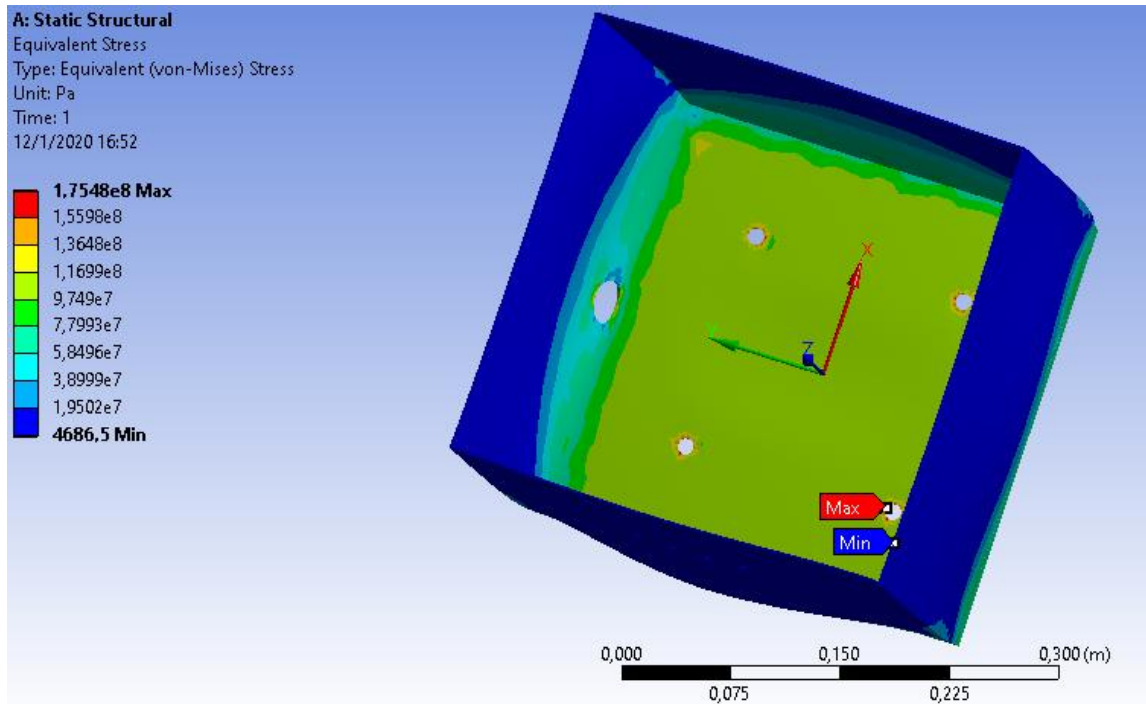


Figura 3.2. Esfuerzos máximos (Von Mises) en la caja.

Fuente: [Elaboración propia].
 Simulación realizada en ANSYS

3.10.2 Simulación térmica

En la simulación realizada en el software de elementos finitos Fluent (ANSYS), se visualizó el contorno de transición de la temperatura dentro de la caja que contiene el fluido. Se le colocaron las condiciones de frontera de la pared de caja, teniendo una pérdida por calor de 56.3 W en las caras verticales y 81.9 W de pérdida de calor por la cara superior e inferior. Otra condición que se colocó fue el ingreso de la energía (6000 W), esta condición se colocó en la cara que está en contacto con el agua. Como se puede observar en la Figura 3.3, el calentamiento del agua se mantiene en las cercanías de la fuente de calor, por el cual se requiere agitar el baño María.

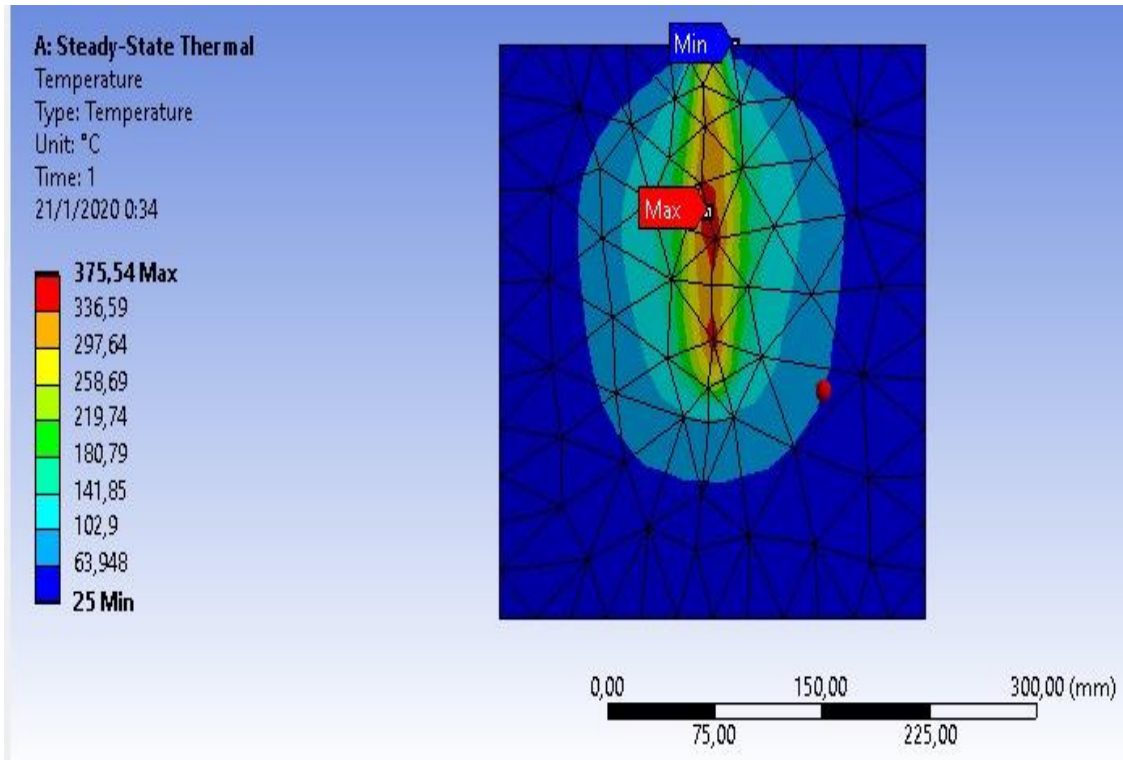


Figura 3.3. Simulación térmica del calentamiento de agua por medio de la resistencia.

Fuente: [Elaboración propia].
 Simulación realizada en ANSYS

Utilizando la función “Dsolve” de Matlab se encontró una solución a las ecuaciones (2.35) y (2.36), y se graficó la variación de la temperatura con respecto al tiempo. En la gráfica se aprecia que la temperatura del inóculo tardaría unos 17 min en llegar a su punto de operación (55°C). Este puede variar según el número de polos y ceros que tenga el controlador.

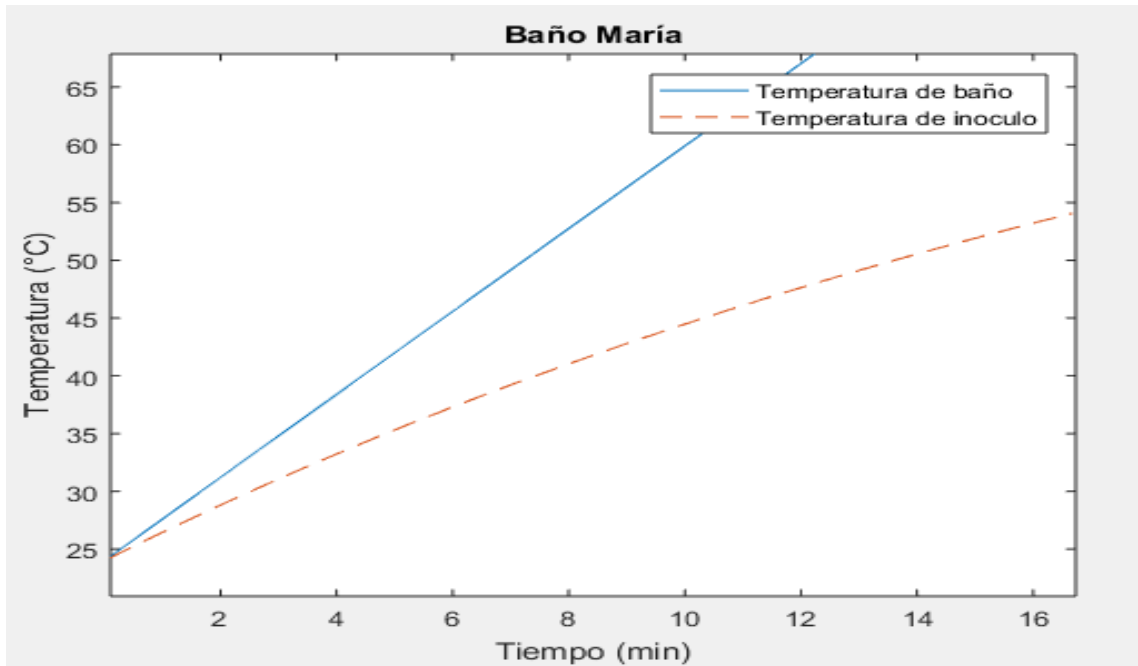


Figura 3.4. Solución matemática de las ecuaciones de balance de energía, (sin controlador)

Fuente: [Elaboración propia].
 Simulación realizada en ANSYS

Una vez obtenido los datos del cambio de temperatura dentro de los envases conforme a la máxima potencia entregada por la resistencia (6000 W), se procedió a obtener la función de transferencia con el comando “Ident” en Matlab para poder realizar el respectivo sistema de control de temperatura.

$$\frac{-0.0001496 s^2 + 5.73e-07 s + 3.158e-10}{s^3 + 0.03788 s^2 + 0.000167 s + 2.264e-08}$$

Figura 3.5. Función de transferencia del sistema de calentamiento.

Fuente: [Elaboración propia].
 Solución encontrada con MATLAB

3.11 Viabilidad económica

Tabla 3.1. Costos del desarrollo del prototipo

Artículo	Descripción	Subtot	Iva 12%	Total, por ítem
Bomba de Vacío	Automatización del manejo de gases Bomba de vacío de diafragma libre de aceites para laboratorio (1L/min), 4 unidades	263.96	31.68	295.64
Motor	DC 250W 12V O 24V Sistema de agitación, engranes de modulo 2	134.67	16.16	150.83
Sistema de Engranajes	1 engrane cónico, 1 piñón cónico, 4 engranes rectos de 60 dientes, 2 engranes rectos de 16 dientes	145.00	17.40	162.40
Caja metálica	Acero inoxidable 304 con espesor de 1,5mm	140.00	16.80	156.80
rodamientos	12 unidades para ejes de agitadores	46.53	5.58	52.11
Resistencia eléctrica	Tubular 6 KW, acero inoxidable 304	45.00	5.40	50.40
Recipientes	Acero inoxidable 304, 4 unidades	254.75	30.57	285.32
Retenedores	10 unidades, 6x16x7	20.00	2.40	22.40
Tubo y eje	Eje de 6 mm para agitación, y tubo medir gases. Acero inoxidable	60.00	7.20	67.20
Tubing	Tubing de 1/4" para la recolección de muestras del reactor	32.00	3.84	35.84
Soldadura	Soldeo de tapa para tubos de gases (TIG)	15.00	1.80	16.80
Base metálica	Soporte del baño María y de los demás componentes, ángulos de 30x30x3	120.00	14.40	134.40
Acople de mordaza	Unión de ejes de agitación para montaje y desmontaje de los envases, 4 unidades	90.00	10.80	100.80
Racor hembra	Para manguera flexible de 4 mm	25.15	3.02	28.17
Neplo	Para tubería racores	16.67	2.00	18.67
Tubería	Flexible de poliuretano de 4 mm, 8 metros	8.72	1.05	9.77
Sensores ultrasónicos	sumergible, resolución 0.4 mm, 4 unidades	1000.0	120.0	1120.00
Sistema de automatización	Control de todos los accesorios	350.00	42.00	392.00
			Total	3099.55

Fuente: [Elaboración propia].

Para el desarrollo del equipo se estableció un estimado inicial del costo de \$ 2610 en la compra de los diferentes componentes. Posterior a la proforma inicial, se establecieron nuevos requerimientos como la implementación de un recolector de muestras; por lo que, se rediseño nuevamente el equipo para poder cumplir con la nueva necesidad, aumentando el costo inicial.

Se cotizó equipos similares, debido a que en el mercado Ecuador no existen dispositivos que realicen dicho trabajo, se procedió a revisar equipos extranjeros, llegando a costar más de diez mil dólares americanos la importación del mismo. También se pensó en adquirir un baño María de 10L con una potencia de calentamiento de 1000 W, el cual tenía un costo cercano a los \$750, pero el quipo no cumplía con las dimensiones necesarias para la colocación de los demás componentes. Por lo que se optó por la construcción del baño María, llegando a costar menos de \$400, obteniendo una potencia por unidad de volumen 2.5 veces mayor.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Actualmente en el país no se elaboran equipos especializados para la evaluación de la biodegradabilidad de películas poliméricas. Cuando se requieren estos equipos específicos, se deben importar, aumentando significativamente los gastos. El costo de estos equipos varía según la precisión que ofrece, llegando a costar más de 10 mil dólares americanos un equipo medidor de pequeños volúmenes para reactores químicos importado desde México.

4.1 Conclusiones

- El tiempo estimado de calentamiento en el análisis térmico transiente realizado en el software de elementos finitos, tiene gran similitud con el tiempo estimado de calentamiento del baño María por medio del balance térmico.
- La distribución uniforme de la temperatura se debe en gran parte a los agitadores dentro del baño María.
- El calor perdido en las paredes es menor al 5% del calor suministrado por la resistencia.
- El sistema centralizado de agitación permite mantener la misma velocidad en todos los envases.
- La manufactura utilizada para los engranes permitió un ahorro de más del 80%, comparada con la manufactura convencional.
- El sistema de engranes tiene una reducción de 1:15; por lo que se pudo seleccionar un motor eléctrico con mayor velocidad nominal y reducir significativamente su costo.
- El sistema de manejo de gases permitió llenar automáticamente las fundas recolectoras de muestras, evitando así la necesidad de un operador.

- Utilizando un sistema on/off de las bombas de vacío, se logró reducir el costo final de construcción del equipo en un 75%.
- El sistema de medición de volumen tiene una precisión de 0.1 mililitro, aumentando 10 veces la resolución de una toma de muestra artesanal.
- La construcción del equipo tiene ventaja competitiva con los equipos importados debido a su menor costo de producción y gran versatilidad de uso. Además, puede servir para fermentación y recolección de muestras dentro del proceso.
- El diseño del equipo permite una esterilización rápida al acabar el proceso de degradación.

4.2 Recomendaciones

- Para mejorar el equipo se recomienda colocar una conexión directa con el cromatógrafo, permitiendo medir la proporción de cada compuesto que se produce en el reactor.
- También es recomendable adaptar un sistema que permita el funcionamiento adecuado del equipo, en caso de una interrupción de la energía eléctrica.
- Si se adaptan más dispositivos al equipo, será necesario que se instale un ventilador para disipar el calor de los accesorios instalados.

BIBLIOGRAFÍA

- ASTM. (2013). *International standards Germany: GmbH & Co.* American Society for Testing and Materials. <https://www.standardsandmore.com/wp-content/uploads/ASTM-Flyer-Web.pdf>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Vol. 6). McGraw-Hill Interamericana.
- C. Rivas, M. M. (s. f.). *Bacterias Anaerobias*. Recuperado 16 de noviembre de 2019, de <http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/BacteriasAnaerobias.pdf>
- Diseño y análisis estructural de recipientes a presión.* (s. f.). Recuperado 15 de diciembre de 2019, de <http://files.pfernandezdiez.es/CentralesTermicas/PDFs/08CT.pdf>
- Ficha de datos técnicos ABS.pdf.* (s. f.). Recuperado 31 de diciembre de 2019, de <https://ultimaker.com/download/67619/TDS%20ABS%20v3.011-spa-ES.pdf>
- Geankoplis, C. J. (2003). *Transport processes and separation process principles:(includes unit operations)*. Prentice Hall Professional Technical Reference.
- Haandel, A. C., & Lettinga, G. F. (1994). Tratamiento anaeróbico de esgotos: Um manual para regiões de clima quente. En *Tratamento anaeróbico de esgotos: Um manual para regioes de clima quente*. Epgraf.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. Pearson Educación.
- Matute, Y., & Eduardo, L. (2017). *Evaluación del incremento de la temperatura en la digestión anaeróbica de King Grass y gallinaza para la producción de metano*. 36.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriot, P. (2007). *OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA* (Séptima Edición). McGraw-Hill.

- Meneses, J., Corrales, C. M., & Valencia, M. (2007). SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA. *Revista EIA*, 8, 57-67.
- Mott, R. L., & Tang, J. (1999). *Machine elements in mechanical design* (Vol. 4). Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
- Muñoz, R. C., & Concha, J. L. H. (2014). Biodegradación anaerobia de un material biodegradable bajo digestión anaerobia termófila. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 12(2), 20–29.
- Norton, R. L. (1999). *Diseño de máquinas*. Pearson Educación.
- Ramírez, A. R. U., Aguilera, R. R., Alvarado, A. F. A. A. A., & Luna, E. M. (2012). AGITACION Y MEZCLADO STIRRING AND MIXING. *Naturaleza y Tecnología*, 4(1).
- Schnabel, W. (1981). *Polymer degradation: Principles and practical applications*. Carl Hanser; Distributed in the United States of America by Macmillan.
- Tejerina, W. A., Carmona, C., Laschi, M. J., Seghezzi, L., & Cuevas, C. M. (2004). Biodegradabilidad anaeróbica de efluentes cerveceros. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 8. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/81764>
- Transmisiones Zaragoza. (s. f.). *Catálogo General Traza* [Catálogo de engranes cónicos]. <https://www.slideshare.net/prieto333/catalogo-engranajes>

APÉNDICES

APÉNDICE A - SIMULACIONES

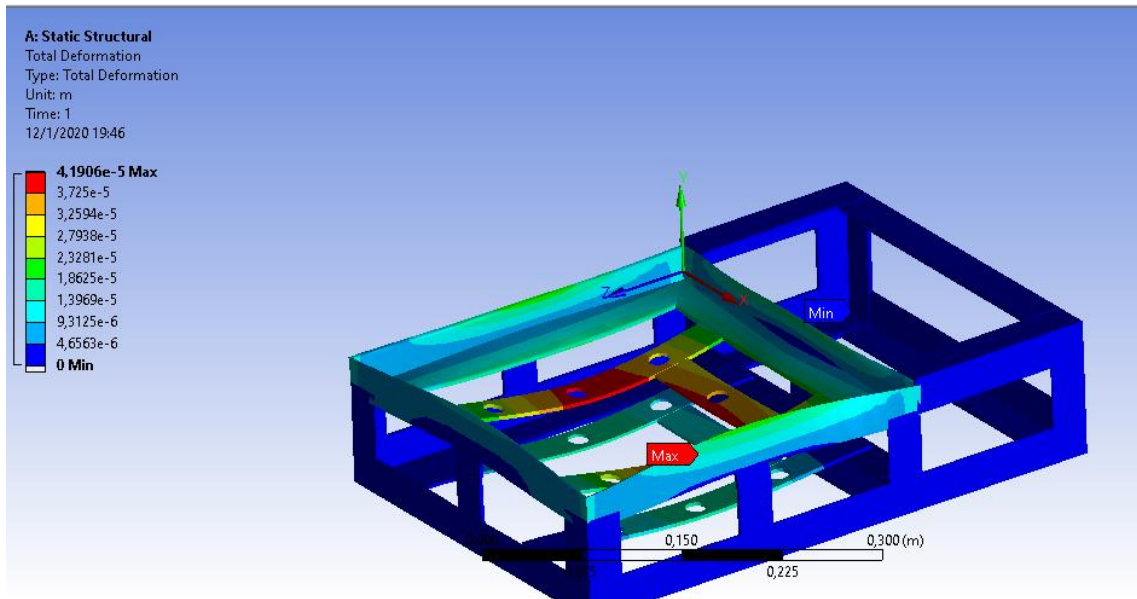


Figura A.1. Deformaciones en la base.

Fuente: [Elaboración propia].
Simulación realizada en ANSYS

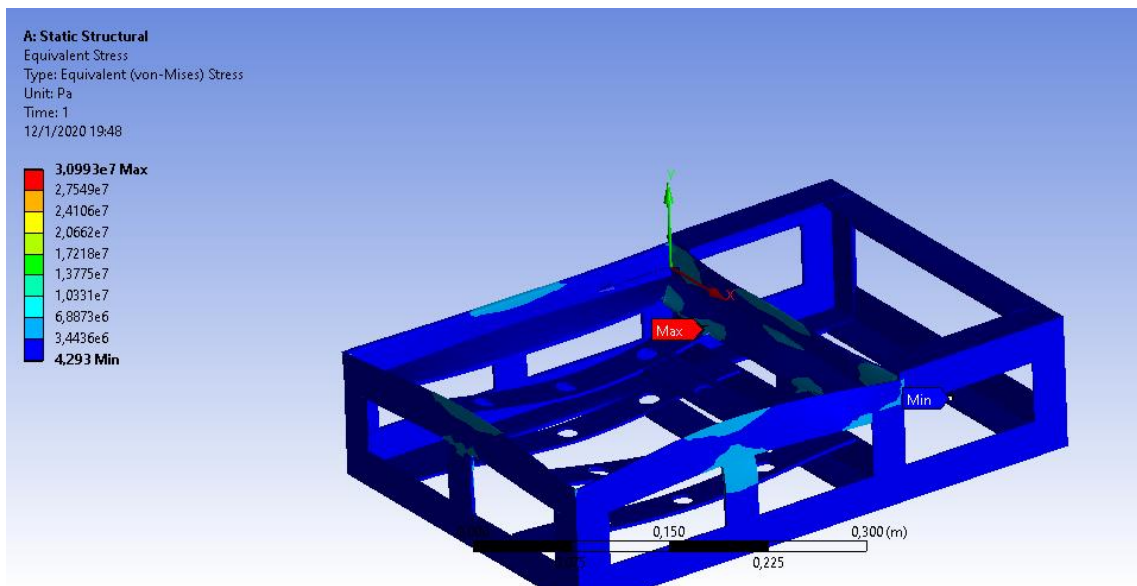


Figura A.2. Esfuerzos de la base.

Fuente: [Elaboración propia].
Simulación realizada en ANSYS

APÉNDICE B - CÁLCULOS REPRESENTATIVOS

Volumen del reactor

Utilizando la Ec. (2.1)

$$V_c = \frac{\pi}{8} (100^2 + 52^2) * 220$$
$$V_c = 1.097 \times 10^6 \text{ mm}^3 = 1.1 \text{ litros}$$

Esfuerzos en el envase

Se utilizó la Ec. (2.2) y (2.3)

Presión máxima de vacío es de 420mm Hg (32KPa)

- Espesor de pared es de 1.5 mm
- Angulo desde la vertical es de 6.2°.

$$\sigma_1 = \frac{32kPa * 50E - 3}{2 * 1.65E - 3 * \cos 6.2^\circ}$$

$$\sigma_1 = 487 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{32kPa * 50E - 3}{1.65E - 3 * \cos 6.2^\circ}$$

$$\sigma_2 = 975 \text{ kPa}$$

Esfuerzo de fluencia del acero inoxidable 304 es de 241 MPa.

$$n = \frac{241}{\sqrt{\frac{0.49^2 + 0.98^2 + (0.98 - 0.49)^2}{2}}}$$
$$n \approx 284$$

Potencia de agitadores

Potencia agitadores internos

Velocidad= 3.77 rps = 23.7 rad/s

De la Ec. (2.19)

$$Re = \frac{\frac{23.7 \text{ rad}}{s} * (33E - 3 \text{ m})^2 * 1700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{15 \text{ Pa} \cdot s}$$

$$Re = 2.92$$

De la Ec. (2.10) para estimar la potencia.

$$P = 36.5 * \left(23.7 \frac{rad}{s}\right)^2 * (33E - 3 m)^3 * 15 Pa \cdot s$$

$$P = 11.1 W$$

Calculada la potencia individual se procede a multiplicarla por los 4 agitadores de los reactores.

$$P_R = 44.4 W$$

Potencia agitadores externos

Velocidad = 14.17 rps ($\approx 89 \text{ rad/s}$)

$$Re = \frac{14.17 rev}{s} * (33E - 3 m)^2 * 1000 \frac{kg}{m^3}}{0.001 Pa \cdot s}$$

$$Re \approx 15431$$

régimen turbulento

De la Ec. (2.12)

$$P = 1.7 * \left(14.17 \frac{rev}{s}\right)^3 * (33E - 3 m)^5 * 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$P = 0.19 W$$

Se multiplicó por el número de agitadores, en este caso dos.

$$P_a = 0.38 W$$

La potencia total para agitación

$$P_T = P_a + P_r$$

$$P_T = 0.38 W + 44.4 W$$

$$P_T \approx 45 W$$

Tasa de recirculación en el baño María

El número de bombeo = 0.7

Tabla 2.13

De la Ec. (2.13)

$$Q = N_Q * N * D_a^3$$

$$Q = 0.7 * 23.73 \frac{rad}{s} * (33E - 3 m)^3$$

$$Q \approx 0.6 E^{-3} \frac{m^3}{s}$$

Velocidad

Para calcular la velocidad se duplicó el caudal porque existen dos agitadores en la incubadora. De la Ec. (2.14)

$$V = \frac{1.2E^{-3}}{0.3 * 0.3}$$
$$V = 13.3 \frac{mm}{s}$$

Esfuerzo en engranes

Se asume un índice de calidad Q_v sea de 5 y una velocidad angular igual a 89 rad/s calculada previamente.

Diámetro del engrane 32 mm, es calculado como el producto de su modulo (2mm) y número de dientes (16 dientes). La velocidad tangencial aproximada sería de 2.85 m/s. véase Figura 2.11.

$$K_v = 0.69$$

Se procede a estimar el factor geométrico, en este caso se tiene 60 y 16 dientes respectivamente para engrane y piñón loco, como no hay datos tabulados para este número de dientes, se escoge los datos interpolados. Véase la Tabla 2.14.

$$J = 0.38$$

El ancho de diente define el factor de distribución de carga Según la Ec. (2.17) y la Tabla 2.15

$$F = \frac{12}{2 * 16} = 0.375" = 9.52mm \approx 10 mm$$

$$K_m = 1.6$$

El factor de tipo de impulsor se valoró con la Tabla 2.16.

$$K_a = 1$$

Como siguiente paso fue necesario calcular el espesor de aro, como los engranes son sólidos, el K_B será igual a 1. El factor de tamaño K_S , se emplea para tomar en cuenta concentradores de esfuerzo, en este caso será la unidad debido a que no hay ningún concentrador.

Por último, como el engrane está sometido a un esfuerzo alternante completamente reversible, se considera un piñón loco, siendo así el factor K_I igual a 1.42

$$W_T = \frac{250 [W]}{3400 * \frac{2\pi [rad]}{60 [s]}} \cdot \frac{1}{16E - 3 [m]}$$

$$W_T = 43.9 N$$

De la ecuación Ec. (2.16)

$$\sigma = 1 * 1 * 1.42 * 1 * 1.6 \frac{43.9}{0.69 * 10E - 3 * 2E - 3 * 0.38}$$

$$\sigma \approx 19 MPa$$

Cálculo de potencia térmica

$$v = 0.3m * 0.3 * 0.3m$$

$$v = 0.027 m^3$$

$$m_a = 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.027 m^3$$

$$m_a = 27 kg$$

Resistencias térmicas

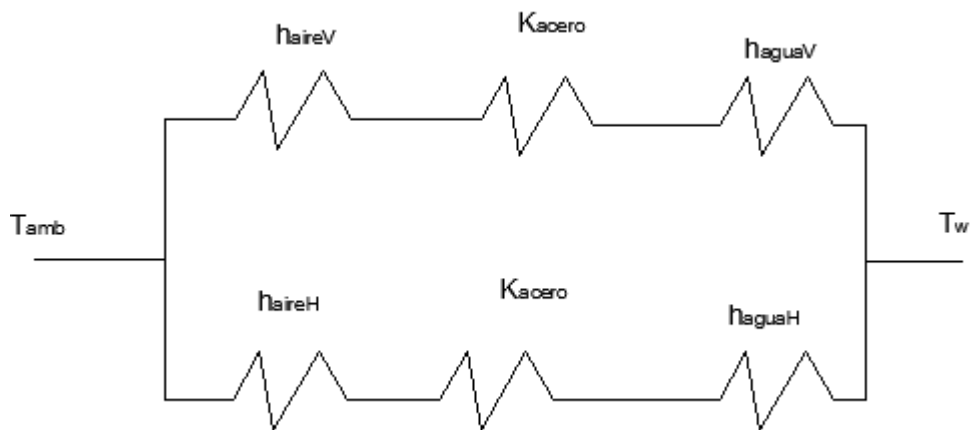


Figura B.1. Circuito de resistencia térmica de la caja.

Fuente: [Elaboración propia].

Coefficiente de convección externo caras verticales

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha v}$$

$$Ra_{L_aireV} = \frac{9.8 * \frac{1}{293} * (45 - 20)(0.34)^3}{22E^{-6} * 15E^{-6}}$$

$$Ra_l = 99.6E^6$$

$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.67(99.6E^6)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.708}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$h_1 = \frac{\overline{Nu}_L * k}{L}$$

$$\overline{Nu}_L = 52.0$$

$$h_{aireV} = \frac{52.0 * 26.9E^{-3}}{0.34}$$

$$h_{aireV} = 4.11 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Coeficiente de convección interno caras verticales

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\frac{\mu}{\rho} \alpha}$$

$$Ra_{L_aguaH} = \frac{9.8 * 504E^{-6} * (55 - 45)(0.34)^3}{\frac{489E^{-6}}{984.2} * 66.6E^{-6}}$$

$$Ra_{L_aguaH} = 58.7E^6$$

$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.67(58.7E^6)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{3.15}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}}$$

$$\overline{Nu}_L = 51.98$$

$$h_{aguaV} = \frac{\overline{Nu}_L * k}{L}$$

$$h_{aguaV} = \frac{51.98 * 650E^{-3}}{0.34}$$

$$h_{aguaV} = 99.4 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Coefficiente de convección externo caras horizontales

$$L_H = \frac{2 * 0.3 * 0.3}{4 * 0.3}$$

$$L_H = 0.15$$

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_S - T_\infty)L_H^3}{\alpha \nu}$$

$$Ra_{L_aireH} = \frac{9.8 * \frac{1}{293} * (45 - 20)(0.15)^3}{22E^{-6} * 15E^{-6}}$$

$$Ra_{L_aireH} = 8.55E^6$$

$$\overline{Nu}_L^* = 0.52 Ra_L^{\frac{1}{5}}$$

$$\overline{Nu}_L^* = 12.7$$

$$h_{aireH} = \frac{\overline{Nu}_L^* * k}{L_H}$$

$$h_{aireH} = \frac{12.7 * 650E^{-3}}{0.15}$$

$$h_{aireH} = 55 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

Coefficiente de convección interno caras horizontales

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_S - T_\infty)L_H^3}{\nu \alpha}$$

$$Ra_{L_aguaH} = \frac{9.8 * 504E^{-6} * (55 - 45)(0.15)^3}{\frac{489E^{-6}}{984.2} * 66.6E^{-6}}$$

$$Ra_{L_aguaH} = 5.04E^6$$

$$\overline{Nu}_L^* = 0.52 Ra_L^{\frac{1}{5}}$$

$$\overline{Nu}_L^* = 11.4$$

$$h_{aguaH} = \frac{\overline{Nu}_L^* * k}{L_H}$$

$$h_{aguaH} = \frac{11.4 * 650E^{-3}}{0.15}$$

$$h_{aguaH} = 49.4 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

Coeficiente global de transferencia de calor

$$U_v = \left[\frac{1}{h_{aireV}} + \frac{e}{k_{304}} + \frac{1}{h_{aguaV}} \right]^{-1}$$

$$U_v = \left[\frac{1}{4.11} + \frac{0.0015}{14.9} + \frac{1}{99.4} \right]^{-1}$$

$$U_v = 3.9 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$U_H = \left[\frac{1}{h_{aireH}} + \frac{e}{k_{304}} + \frac{1}{h_{aguaH}} \right]^{-1}$$

$$U_H = \left[\frac{1}{55} + \frac{0.0015}{14.9} + \frac{1}{49.4} \right]^{-1}$$

$$U_H = 26 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Pérdidas por paredes en estado estable

$$Q_{Pa_vertical} = UA(T_{externo} - T_{interno})$$

$$Q_{Pa_vertical} = 3.94(4 * 0.3 * 0.34)(55 - 20)$$

$$Q_{Pa_vertical} = 56.26 W$$

$$Q_{Pa_horizontal} = 26(0.3 * 0.3)(55 - 20)$$

$$Q_{Pa_horizontal} = 81.9 W$$

$$Q_{total} = 56.3 W + 81.9 W$$

$$Q_{total} = 138.2 W$$

Configuración del engrane – piñón cónico

Para poder empotrar el motor a la parte lateral de la base, se utilizó medidas propuestas en un catálogo de transmisiones cónicas, donde se tiene una relación de transmisión de 4:1 con el número de dientes propuestos previamente en la sección 2.3.4.

Grupos cónicos Angulo de presión 20° Relación 1 : 4		tipo A		M	Z	D_e	D_p	A	F	D_n	D₁	d_m	L	L_m
1,5	16	26,9	24	25	12	18	10	61,1	24	12,2				
	64	96,7	96	25	12	60	15	33	22	13				
2	16	35,9	32	24	15	25	12	73,1	23	8,5				
	64	129,0	128	28	15	70	20	38,9	24	14				
2,5	16	44,9	40	30,5	18	34	15	92,6	29	11,7				
	64	161,2	160	35	18	80	20	48,8	30	16				
3	16	53,8	48	32	20	40	15	108	30	11,1				
	64	193,5	192	42	20	90	20	58,8	36	22				
3,5	16	62,8	56	40	25	45	15	127,1	38	14				
	64	225,7	224	50	25	100	25	69,3	43	22				
4	16	71,7	64	50	30	50	20	148,2	48	18,5				
	64	257,9	256	60	30	110	28	81,8	52	30				
4,5	16	80,7	72	55	32	60	20	167,1	53	21,6				
	64	290,1	288	65	32	120	30	89,8	57	35				

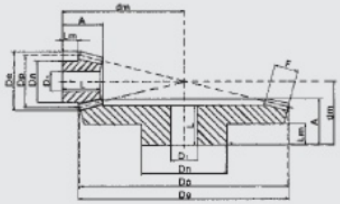


Figura B.2. Configuración del engrane-piñón cónico.

Fuente:(Transmisiones Zaragoza, s. f.)

APÉNDICE C - TABLAS DE PROPIEDADES Y DIMENSIONES

Tabla C.1. Dimensiones de ángulos NOVACERO.

Denominación	Dimensiones		Peso		Área cm ²
	a mm	e mm	kg/m	kg/6m	
AL 20 X 2	20	2	0.60	3,58	0,76
AL 20 X 3	20	3	0.87	5,23	1.11
AL 25 X 2	25	2	0.75	4,52	0.96
AL 25 X 3	25	3	1.11	6,64	1.41
AL 25 X 4	25	4	1.45	8,67	1.84
AL 30 X 3	30	3	1.34	8,05	1.71
AL 30 X 4	30	4	1.76	10,55	2.24
AL 40 X 3	40	3	1.81	10,88	2.31
AL 40 X 4	40	4	2.39	14,32	3.04
AL 40 X 6	40	6	3.49	20,91	4.44
AL 50 X 3	50	3	2.29	13,71	2.91
AL 50 X 4	50	4	3.02	18,09	3.91
AL 50 X 6	50	6	4.43	26,56	5.44
AL 65 X 6	65	6	5.84	35,04	7.44
AL 75 X 6	75	6	6.78	40,69	8.61
AL 75 X 8	75	8	8.92	53,50	11.36
AL 100 X 6	100	6	9.14	54,82	11.64
AL 100 X 8	100	8	12.06	72,34	15.36
AL 100 X 10	100	10	15.04	90,21	19.15
AL 100 X 12	100	12	17.83	107,00	22.56



Ángulos Estructurales

Fuente: Catálogo de productos NOVACERO

Tabla C.2. Resistencia de aceros inoxidables

APPENDIX 6 Properties of Stainless Steels							
Material designation		Condition	Tensile strength		Yield strength		Ductility (percent elongation in 2 in)
SAE number	UNS		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	
Austenitic steels							
201	S20100	Annealed	115	793	55	379	55
		1/4 hard	125	862	75	517	20
		1/2 hard	150	1030	110	758	10
		3/4 hard	175	1210	135	931	5
		Full hard	185	1280	140	966	4
301	S30100	Annealed	110	758	40	276	60
		1/4 hard	125	862	75	517	25
		1/2 hard	150	1030	110	758	15
		3/4 hard	175	1210	135	931	12
		Full hard	185	1280	140	966	8
304	S30400	Annealed	85	586	35	241	60
310	S31000	Annealed	95	655	45	310	45
316	S31600	Annealed	80	552	30	207	60
Ferritic steels							
405	S40500	Annealed	70	483	40	276	30
430	S43000	Annealed	75	517	40	276	30
		Full hard	90	621	80	552	15
446	S44600	Annealed	80	552	50	345	25
Martensitic steels							
410	S41000	Annealed	75	517	40	276	30
416	S41600	Q&T 600	180	1240	140	966	15
		Q&T 1000	145	1000	115	793	20
		Q&T 1400	90	621	60	414	30
431	S43100	Q&T 600	195	1344	150	1034	15
440A	S44002	Q&T 600	280	1930	270	1860	3
501	S50100	Annealed	70	483	30	207	28
		OQT 1000	175	1210	135	931	15

Fuente: (Mott & Tang, 1999)

Tabla C.3. Propiedades del aire a presión atmosférica

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709

Fuente: (Incropera & DeWitt, 1999)

Tabla C.4. Propiedades termofísicas del agua saturada

Temperatura, T (K)	Pressure, p (bars) ^b	Specific Volume (m ³ /kg)		Heat of Vaporization, h_{fg} (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg · K)		Viscosity (N · s/m ²)		Thermal Conductivity (W/m · K)		Prandtl Number		Surface Tension, $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Expansion Coefficient, $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Temperature, T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	664	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380

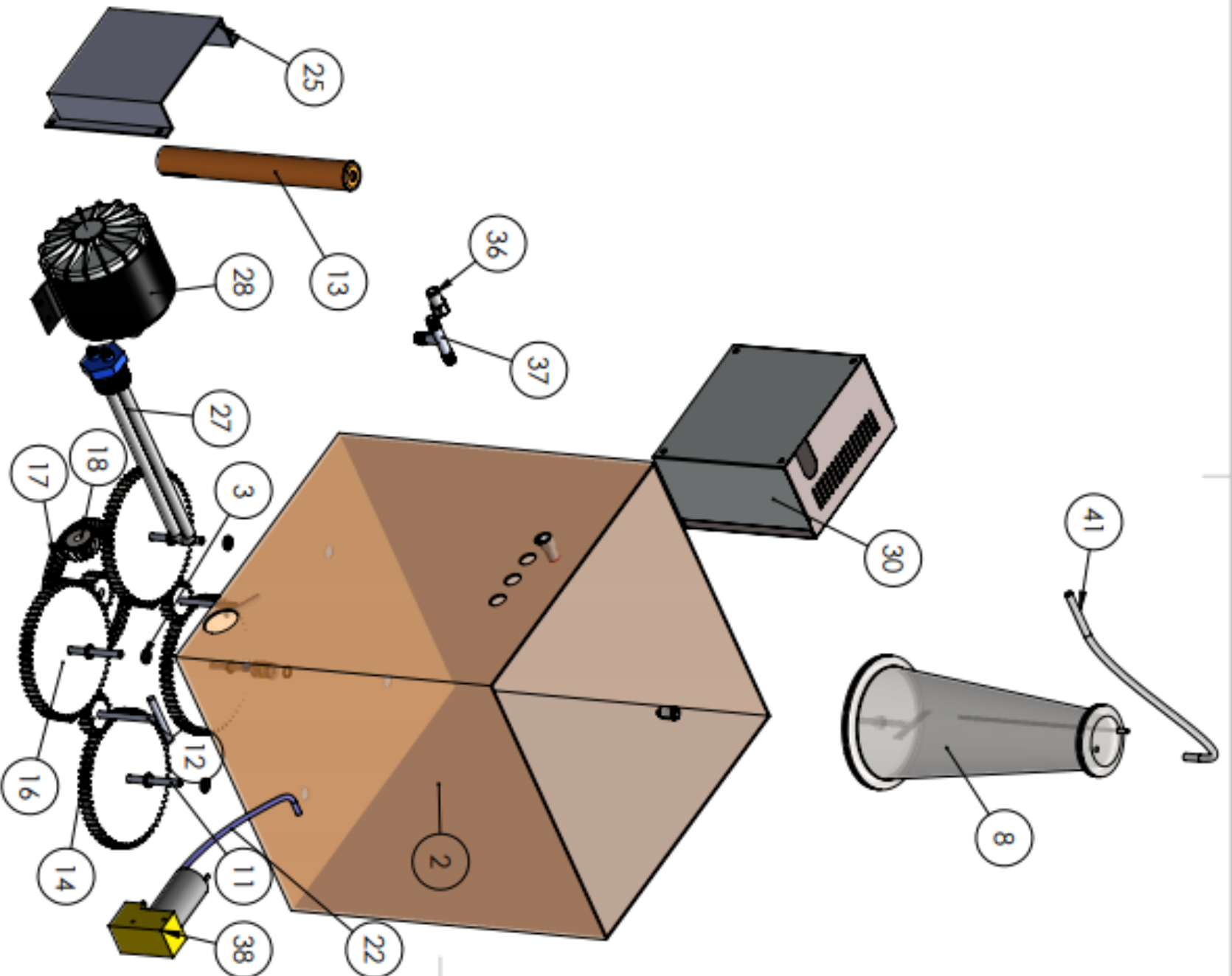
Fuente: (Incropera & DeWitt, 1999)

Tabla C.5. Propiedades termofísicas de materiales sólidos.

Composition	Melting Point (K)	Properties at Various Temperatures (K)													
		Properties at 300 K				k (W/m · K)/ c_p (J/kg · K)									
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Gold	1336	19300	129	317	127	327	323	311	298	284	270	255			
Iridium	2720	22500	130	147	50.3	109	124	131	135	140	145	155			
						172	153	144	138	132	126	120	111		
Iron Pure	1810	7870	447	80.2	23.1	90	122	133	138	144	153	161	172		
						134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8	28.3	32.1		
Armco (99.75% pure)		7870	447	72.7	20.7	216	384	490	574	680	975	609	654		
						95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3	28.7	31.4		
Stainless steels AISI 302		8055	480	15.1	3.91				17.3	20.0	22.8	25.4			
									512	559	585	606			
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2	12.6	16.6	19.8	22.6	25.4	28.0	31.7		
AISI 316		8238	468	13.4	3.48	272	402	515	557	582	611	640	682		
									15.2	18.3	21.3	24.2			
AISI 347		7978	480	14.2	3.71				504	550	576	602			
									15.8	18.9	21.9	24.7			
Lead	601	11340	129	35.3	24.1	513	559	585	606						
						39.7	36.7	34.0	31.4						
Magnesium	923	1740	1024	156	87.6	118	125	132	142						
						169	159	153	149	146					
Molybdenum	2894	10240	251	138	53.7	649	934	1074	1170	1267					
						179	143	134	126	118	112	105	98	90	86
						141	224	261	275	285	295	308	330	380	459

Fuente: (Incropera & DeWitt, 1999)

APÉNDICE D - PLANOS ESQUEMÁTICOS



ACABADO:

REPARAR Y
RECORRER
VIVAS

NO CAMBIAR LA ESCALA

REVISION

NOVIBE FERRA

FECHA

TÍTULO:

Vista general
explosionada

Jefferson Tools

22/01/2020

Nº DE DIBUJO

Orlando Topala

23/01/2020

1

Orlando Topala

20/11/2020

Jefferson Tools

23/01/2020

CAJID

MAESTRAL

ESCALA: 1:10

A4

PELO

HOJA 1 DE 1

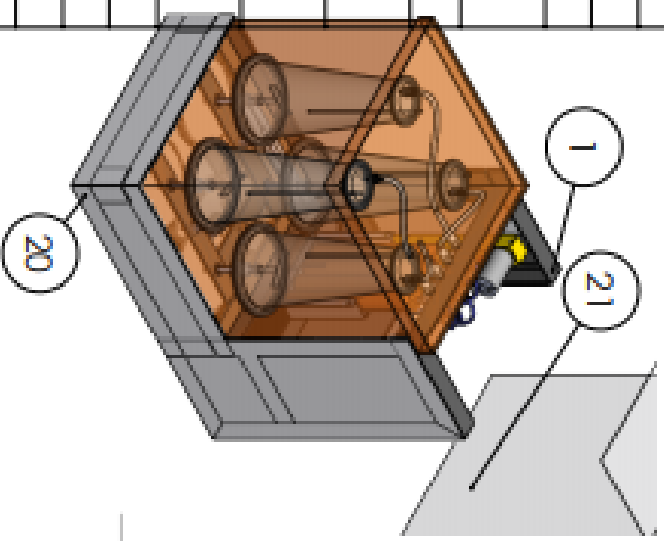
4

3

2

1

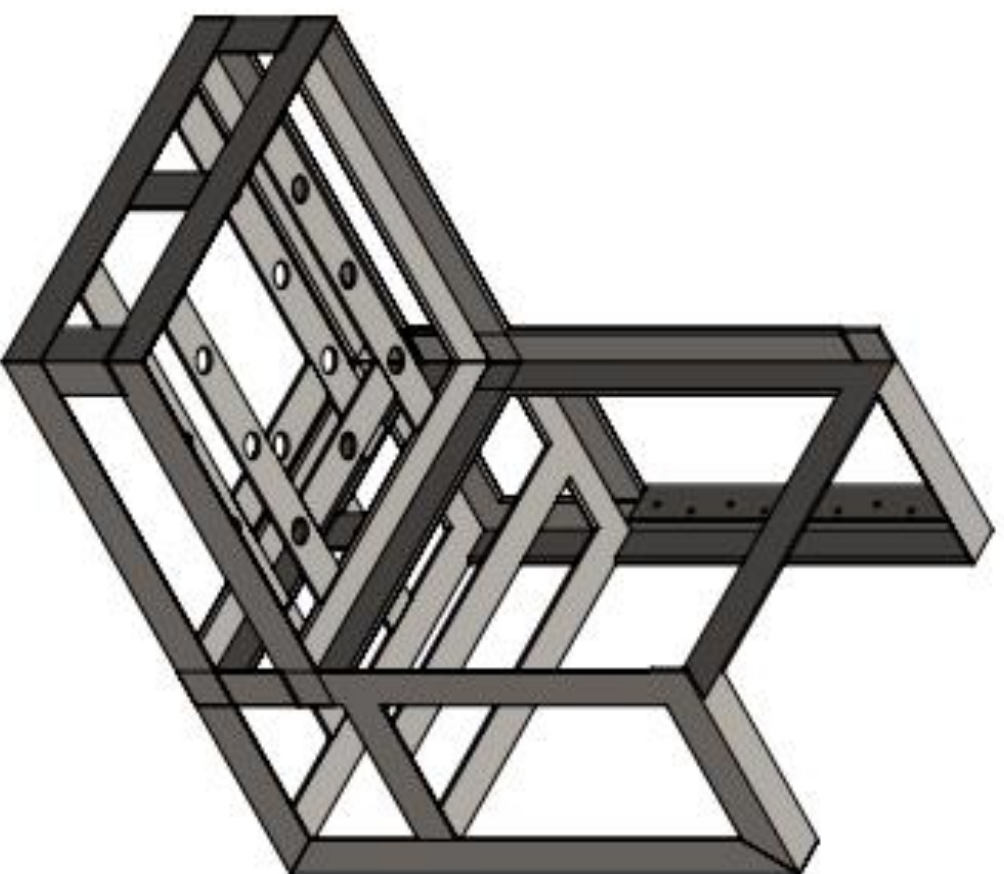
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	base	1
2	coija	1
3	retenedor de 6 x 12 mm.stp	8
4	rodamiento 6x17 mm W 606-2RS1.stp	6
5	reductor 4 x 2 pg con topos	4
6	estrella de acoplamiento.stp	4
7	culo de mordaza.stp	8
8	eje 1	4
9	eje 2	2
10	tubo de gases	4
11	Spur gear 2M 16T 20PA 10FW ----	2
12	Spur gear 2M 16T 20PA	1
13	Spur gear 2M 60T 20PA 10FW	4
14	Straight bevel gear 2M 64GT 1 6PT 20PA 15FW ----	1
15	Straight bevel pinion 2M 1 6PT 64GT 20PA 15FW	1
19	Tubo flexible	6mts
20	topo base 1	1
21	topo base 3	1
22	reservorio de agua	1
23	rocor macho.stp	4
24	Resistencia Eléctrica .stp	1
25	Motor	1
26	Fuente de poder	1
27	rocor rosca hembra 0.25in	8
28	tee 0.25in	4
29	bomba de vacio compacta	4



3 NO SE INDICARÁ CONTADOR LAS COPIAS SE ENTREGAN EN FORMA ACERCAADO SUPERIOR. SOLAMENTE AL: UNIDAD: ANCHURA:		ACERCAADO:	RESERVAAR? RECORRER ARRIBA VTRAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISED:
PROYECTE:	TIPO:	FECHA:		TÍTULO:	

Vista general
explosionada(continuacion)

DISEÑ. Jefferson Toledo VISER. Carlos Tapia AUTOCAL. Carlos Tapia PAUSE. Jefferson Toledo CALCO.	25/01/2020 25/01/2020 25/01/2020 25/01/2020	MATERIAL:	Nº DE DIBUJO:	ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1
4				3	
2				1	
A4					



9 NO SE ENCUENTAN CONSERVADOS
LAS CÓDIGOS SE EXPRESAN EN INMM

ACABADO: laminado en frío

REPARAR Y
RECONSTRUIR
VIRAS

HIGIENIZAR LA ESCALERA

REVISIÓN

BILLO

Base de el equipo

NO. DE DIBUJO	FECHA	PROYECTANTE	REVISOR
01/01	22/01/2020		
02/01	23/01/2020		
03/01	24/01/2020		
04/01	25/01/2020		

NO. DE DIBUJO	FECHA	PROYECTANTE	REVISOR
01/01	22/01/2020		
02/01	23/01/2020		
03/01	24/01/2020		
04/01	25/01/2020		

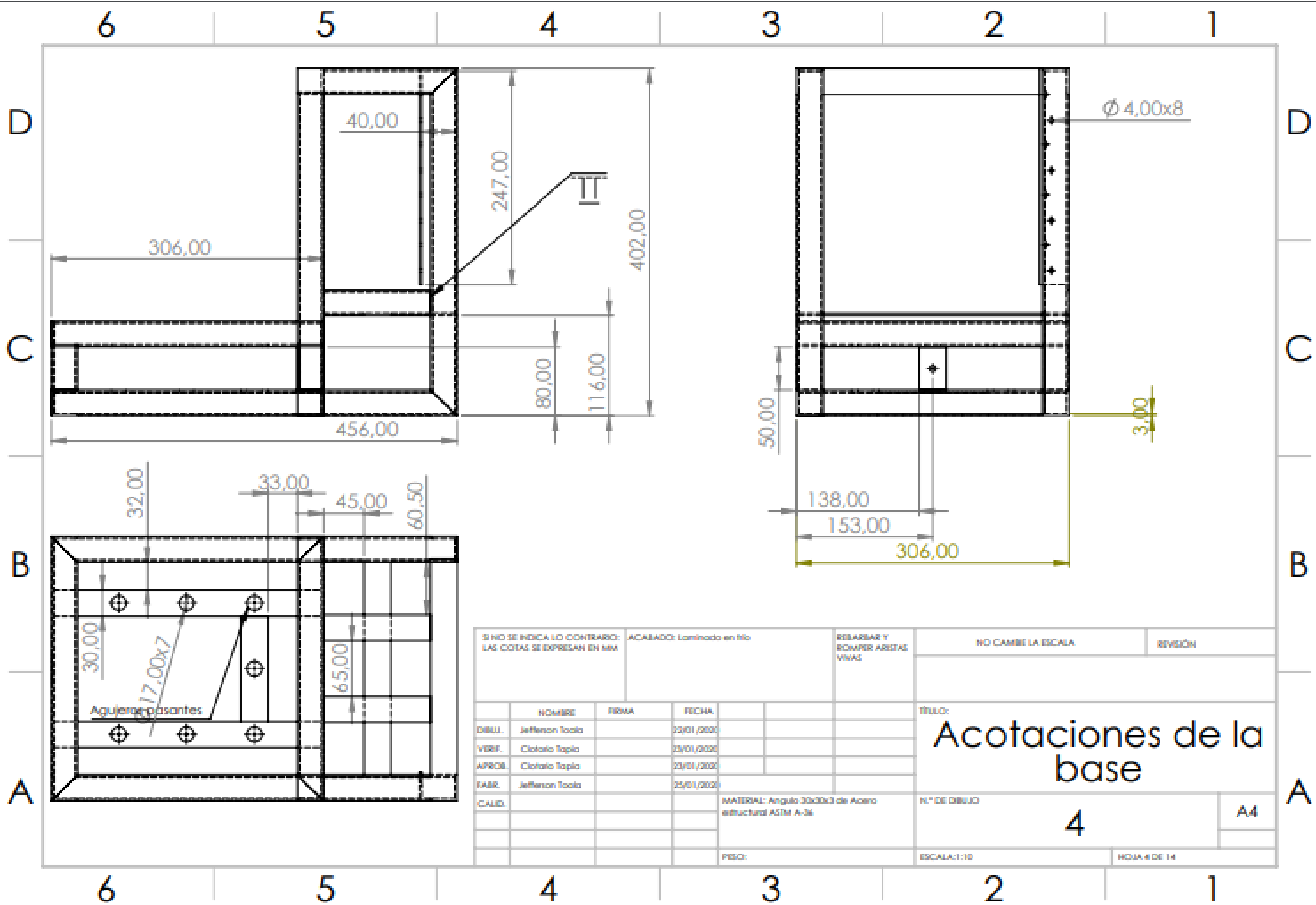
NO. DE DIBUJO	FECHA	PROYECTANTE	REVISOR
01/01	22/01/2020		
02/01	23/01/2020		
03/01	24/01/2020		
04/01	25/01/2020		

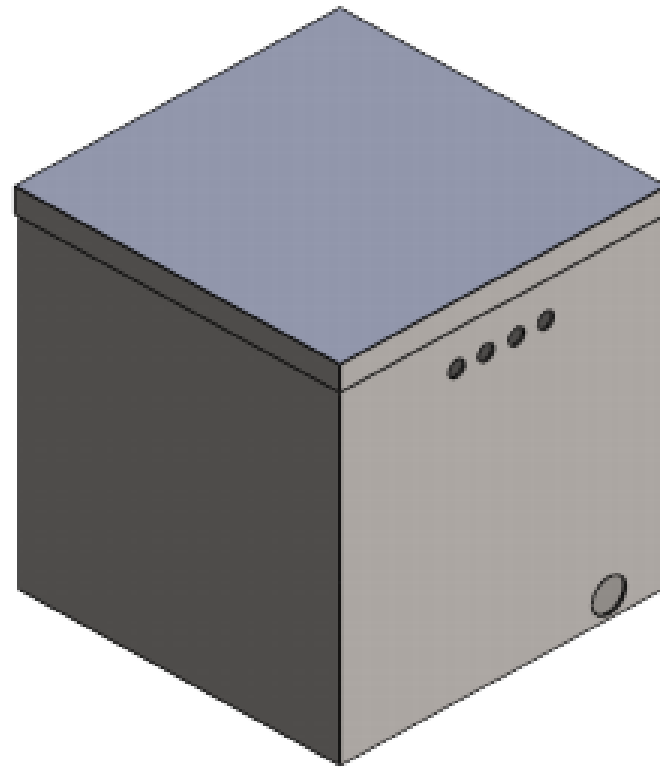
NO. DE DIBUJO	FECHA	PROYECTANTE	REVISOR
01/01	22/01/2020		
02/01	23/01/2020		
03/01	24/01/2020		
04/01	25/01/2020		

NO. DE DIBUJO	FECHA	PROYECTANTE	REVISOR
01/01	22/01/2020		
02/01	23/01/2020		
03/01	24/01/2020		
04/01	25/01/2020		

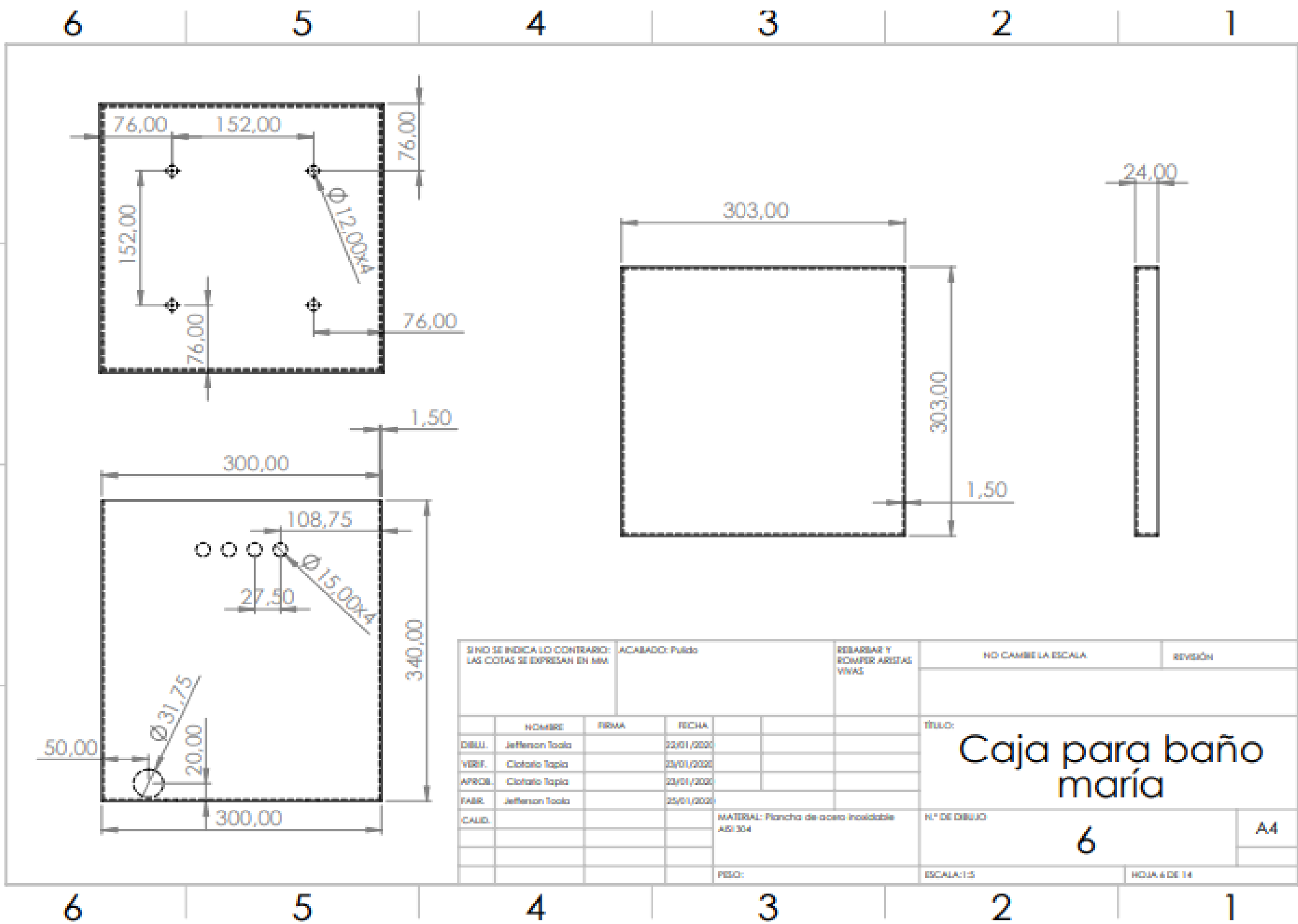
NO. DE DIBUJO	FECHA	PROYECTANTE	REVISOR
01/01	22/01/2020		
02/01	23/01/2020		
03/01	24/01/2020		
04/01	25/01/2020		

A4

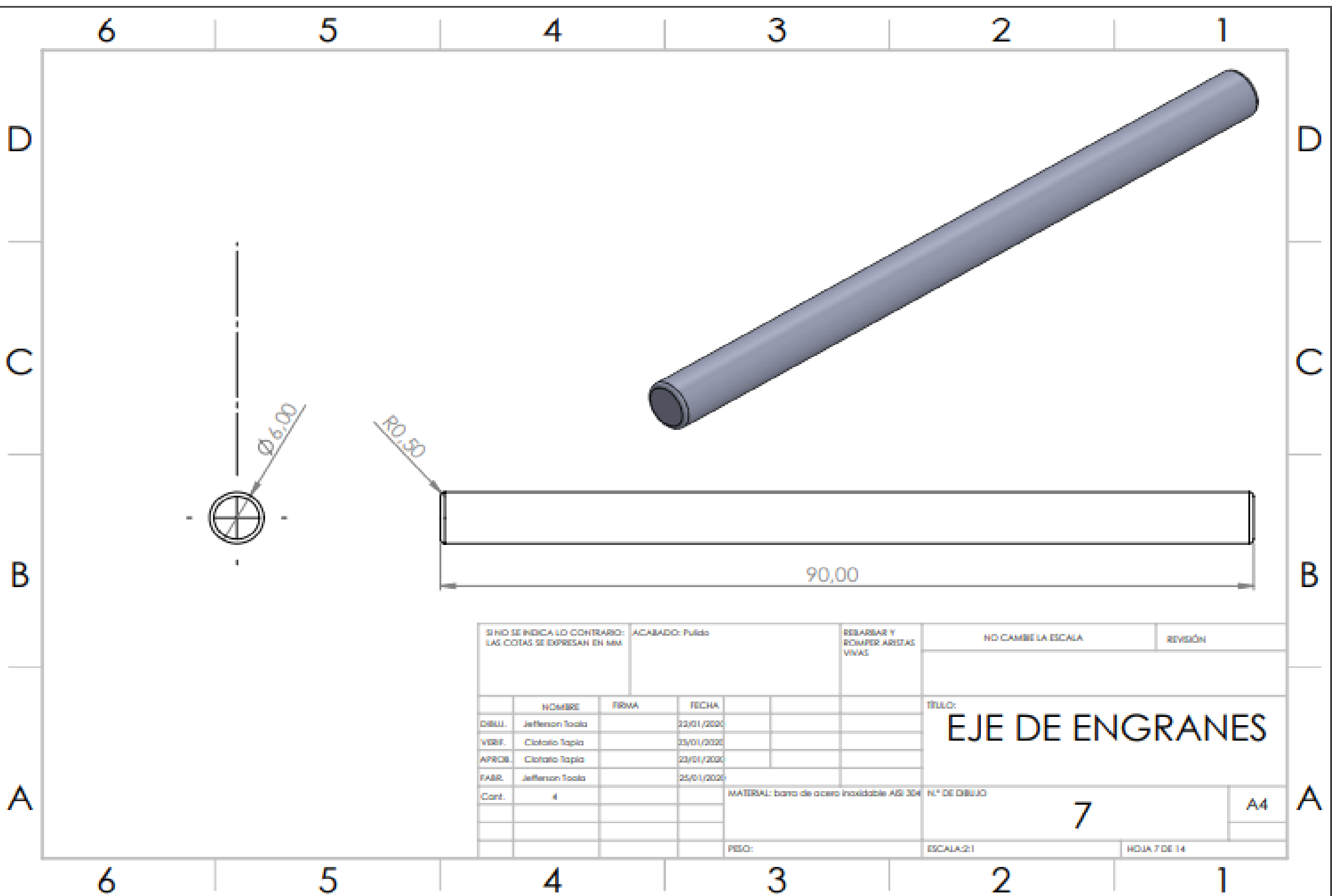




SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: Pulido		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: <h1 style="text-align: center;">Caja para baño maría</h1>			
DIBUJ.	Jefferson Toala		23/01/2020						
VERIF.	Claudio Tapia		23/01/2020						
APROB.	Claudio Tapia		23/01/2020						
FABR.	Jefferson Toala		25/01/2020						
CALID.				MATERIAL: Plancha de acero inoxidable AISI 304		N.º DE DIBUJO		A4	
				PESO:		5		ESCALA: 1:5	
								HOJA 5 DE 14	



SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO: Pulido		RELABRAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
						TÍTULO:			
						Caja para baño maría			
						MATERIAL: Plancha de acero inoxidable AISI 304		N.º DE DIBUJO	
								6	
						ESCALA: 1:5		HOJA 4 DE 14	
NOMBRE		FIRMA		FECHA					
DIBUJ.		Jefferson Toala		23/01/2023					
VERIF.		Clotario Topa		23/01/2023					
APROB.		Clotario Topa		23/01/2023					
FABR.		Jefferson Toala		23/01/2023					
CALID.									
								A4	

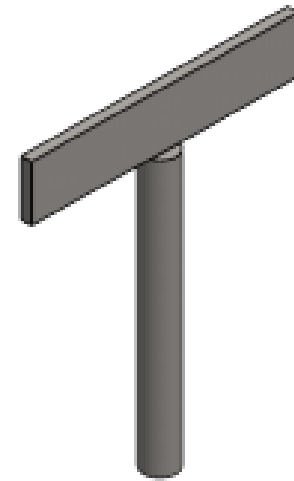
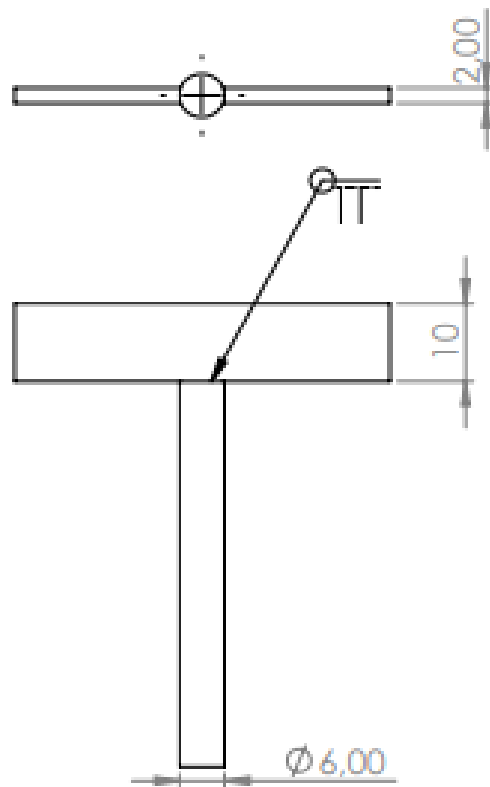


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			ACABADO: Pulido			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	NOBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: EJE DE ENGRANES					
DIBUJ.	Jefferson Toledo		22/01/2020								
VERIF.	Claudio Topala		23/01/2020								
APROB.	Claudio Topala		23/01/2020								
FABR.	Jefferson Toledo		25/01/2020								
Cont.	4					MATERIAL: barra de acero inoxidable AISI 304		N° DE DIBUJO		A4	
								7			
						PESO:		ESCALA: 2:1		HOJA 7 DE 14	

6 5 4 3 2 1

D

D



C

C

B

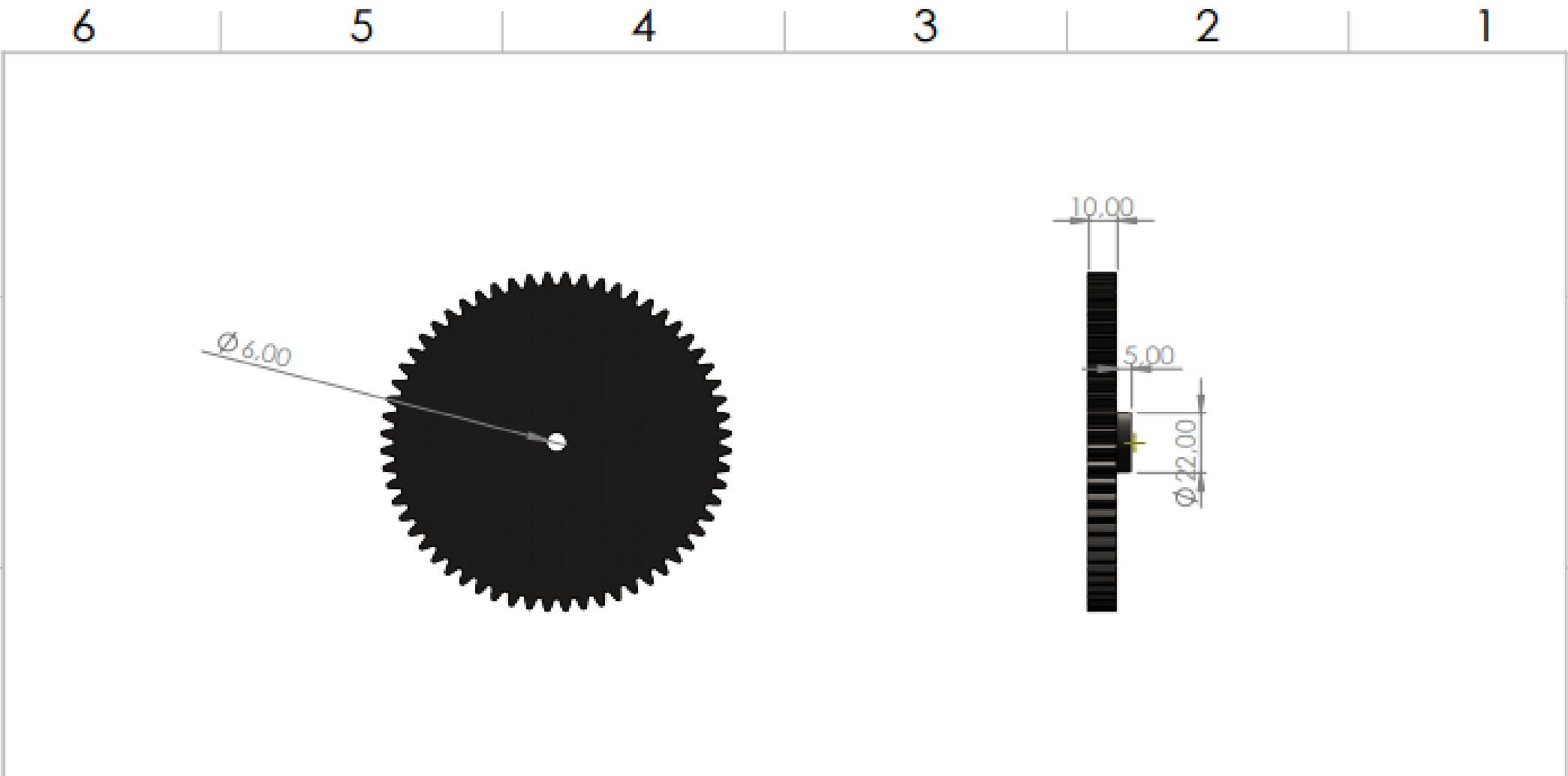
B

A

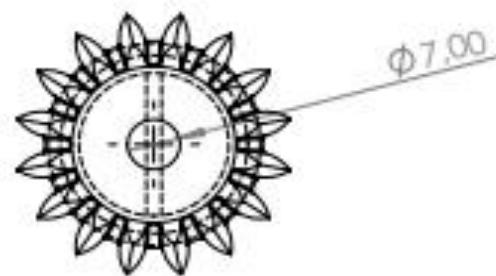
A

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			ACABADO: Pulido		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBE LA ESCALA	REVISIÓN
	NOMBRE	FECHA				TÍTULO:	
DIBUJ.	Jefferson Toala	23/01/2020				Agitadores para los reactores	
VERIF.	Claudio Topio	23/01/2020					
APROB.	Claudio Topio	23/01/2020					
FABR.	Jefferson Toala	25/01/2020					
CANT.	4				MATERIAL: barra de acero inoxidable AISI 304	N° DE DIBUJO	A4
						9	
					PESO:	ESCALA: 1:5	HOJA 9 DE 14

6 5 4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
	HOMBRE	FIRMA	FECHA				TÍTULO:				
DIBUJ.	Jefferson Tocola		22/01/2020				engrane de 60 dientes modulo 2				
VERIF.	Cloroto Topia		23/01/2020								
APROB.	Cloroto Topia		23/01/2020								
FABR.	Jefferson Tocola		25/01/2020								
CANT.	4				MATERIAL: AISI 1008 40S		N° DE DIBUJO		A4		
							11				
					PESO:		ESCALA:1:2		HOJA 11 DE 14		



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:		ESBARBAR Y ROMPER ARISTAS VINAS		NO CAMBE LA ESCALA		REVISIÓN	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:			
DIBUJ.	Jefferson Tools		22/01/2020			piñon conico de 16 dientes modulo 2			
VERIF.	Cirolato Tapia		23/01/2020						
APROB.	Cirolato Tapia		23/01/2020						
FABR.	Jefferson Tools		25/01/2020						
CANT.	1			MATERIAL: AISI 1045		N° DE DIBUJO		A4	
				PESO:		ESCALA: 1:1		HOJA 12 DE 14	

piñon conico de 16 dientes
modulo 2

12

A4

6 5 4 3 2 1

D

D

C

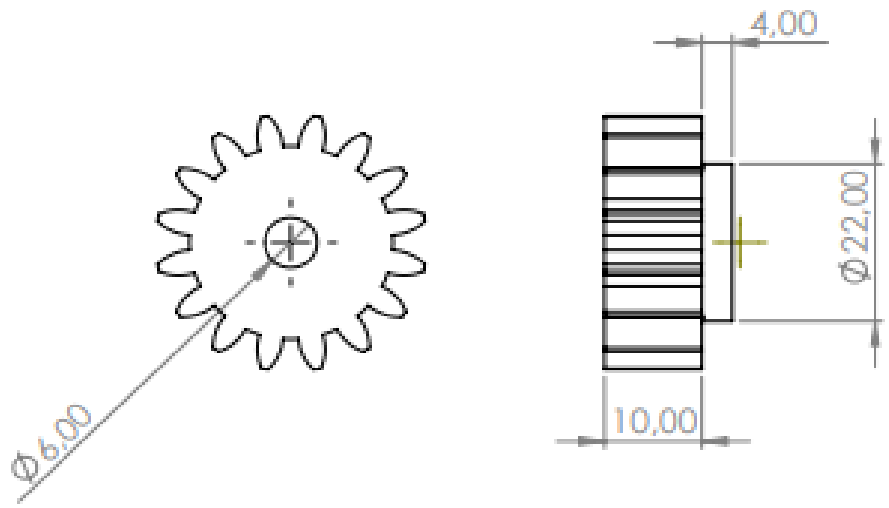
C

B

B

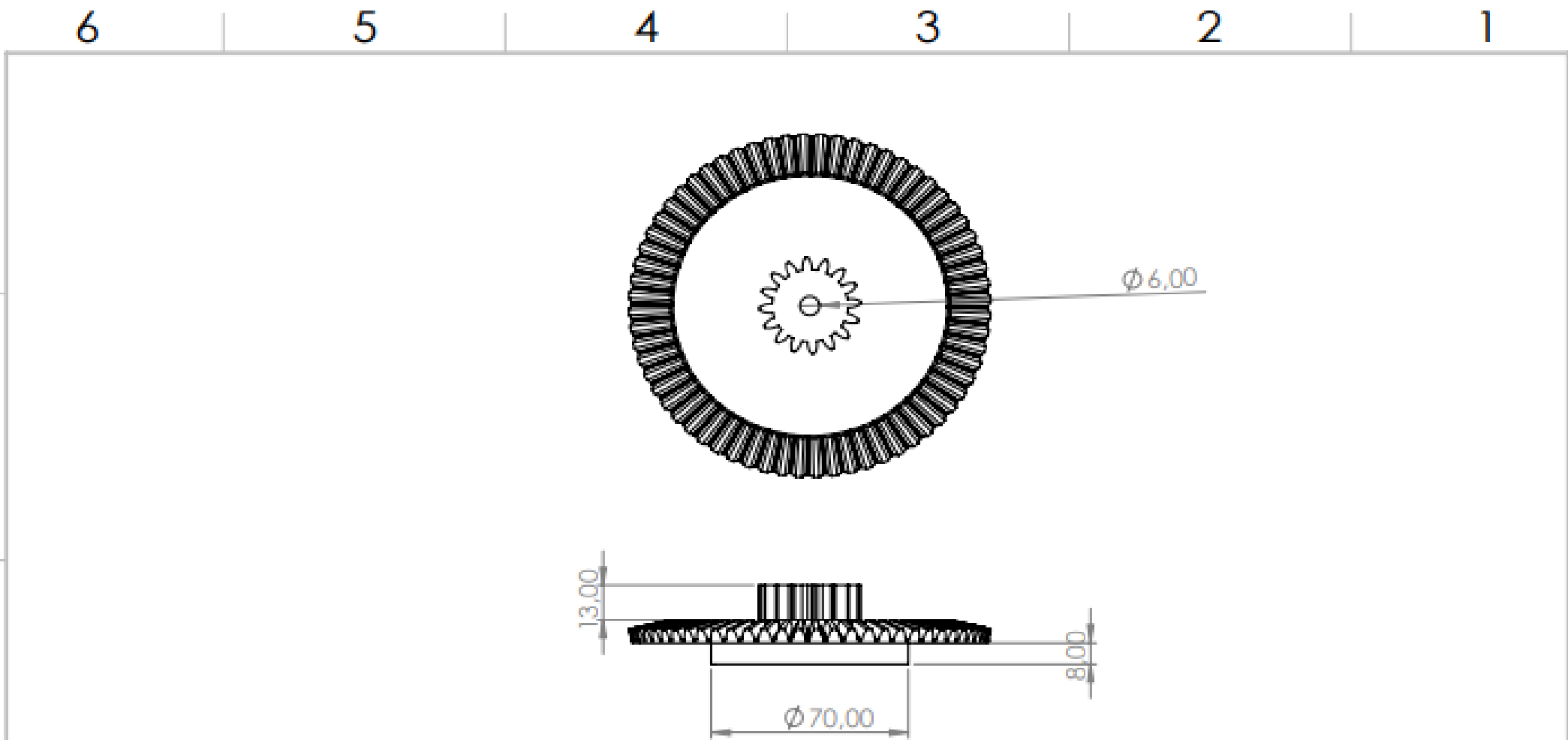
A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: piñon recto de 16 dientes modulo 2	
DIBUJ.	Jefferson Tocola		23/01/2020				
VERIF.	Claudio Topio		23/01/2020				
APROB.	Claudio Topio		23/01/2020				
FABR.	Jefferson Tocola		25/01/2020				
CANT.	1				MATERIAL: AIS INFI 405	N.º DE DIBUJO	A4
						12	
					PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 13 DE 14

6 5 4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:			
DIBUJ.	Jefferson Toala		22/01/2020			Engrane conico 64 dientes engrane recto 16 dientes modulo 2			
VERIF.	Claudio Tapia		23/01/2020						
APROB.	Claudio Tapia		23/01/2020						
FABR.	Jefferson Toala		25/01/2020						
CANT.	1			MATERIAL: ABS nri 405		N.º DE DIBUJO		A4	
						12			
				PESO:		ESCALA: 1:20		HOJA 14 DE 14	