

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO 3D DE UNA
BOMBA DE ENGRANAJE PARA APLICACIONES BIOLÓGICAS**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

JOSÉ GABRIEL AYALA SÁNCHEZ

jose.ayala01@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. WILLIAM RICARDO VENEGAS TORO. PhD

william.venegas@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2024

CERTIFICACIONES

Yo, JOSÉ GABRIEL AYALA SÁNCHEZ declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

JOSÉ GABRIEL AYALA SÁNCHEZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JOSÉ GABRIEL AYALA SÁNCHEZ, bajo mi supervisión.

ING. WILLIAM RICARDO VENEGAS TORO
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

José Gabriel Ayala Sánchez

Ing. William Ricardo Venegas Toro. PhD

Jordy Anthony Criollo Quiroz

Hernan Patricio Condor Gualoto

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres por respaldarme de manera constante e incondicional a lo largo de toda mi carrera, ya que, sin su apoyo, no habría llegado tan lejos.

Le agradezco a mi director de trabajo William Venegas por guiarme al largo de la elaboración del trabajo de titulación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IV
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Estado del arte.....	2
Bombas Hidráulicas.....	2
Bombas de desplazamiento positivo.....	3
Bombas de engranajes.....	5
Componentes principales.....	7
Eficiencia de la bomba.....	8
Usos en la industria.....	9
2 METODOLOGÍA.....	11
2.1 Establecimiento de especificaciones técnicas.....	11
Objetivos.....	11
Análisis funcional.....	12
Casa de la calidad.....	13
2.2 Generación de alternativas.....	15
Soluciones por modulo.....	15
Matriz morfológica.....	19
Alternativa 1.....	20
Alternativa 2.....	20
Alternativa 3.....	20
Alternativa 4.....	21
2.3 Evaluación de alternativas.....	21
Método del valor técnico ponderado.....	22
2.4 Diseño y selección de componentes.....	24
Diseño de engranaje.....	24
Selección de motor.....	26

Diseño del eje	27
Diseño placa de desgaste	28
Selección de rodamiento	30
3 EXPERIMENTACIÓN	31
3.1 Simulación	31
3.2 Algoritmo.....	34
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1 Resultados.....	37
4.2 Discusión	38
5 IMPRESIÓN 3D DE LA PIEZA.....	39
5.1 Diseño CAD.....	39
5.2 Material de impresión	41
5.3 Parámetros impresión	41
5.4 Resultado final	42
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
6.1 Conclusiones.....	44
6.2 Recomendaciones	45
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
8 ANEXOS.....	47
ANEXO I: Casa de la calidad	48
ANEXO II: Código esfuerzo de contacto	49
ANEXO III: Código esfuerzo de tensión	56
ANEXO IV: Planos	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figure 1.4.1. Clasificación de bombas	3
Figure 1.4.2. Diagramas bombas DP.....	5
Figure 1.4.3. Funcionamiento bomba de engranajes interno	6
Figure 1.4.4. Diagrama bomba de engranajes externo.....	6
Figure 1.4.5. Diagrama bomba de engranajes interno.....	7
Figure 2.1. Método de Cross	11
Figure 2.1.1. Objetivos	12
Figure 2.1.2. Diagrama función global.....	12
Figure 2.1.3. Diagrama de subfunciones.....	13
Figure 2.1.4. Bomba de engranaje externo.....	15
Figure 2.1.5. Bomba de engranajes internos	16
Figure 2.1.6. Motor eléctrico	17
Figure 2.1.7. Engranaje recto	17
Figure 2.1.8. Engranaje helicoidal	18
Figure 2.1.9. Engranajes rectos externos.....	20
Figure 2.1.10. Engranajes helicoidales externos	20
Figure 2.1.11. Engrajaes rectos internos.....	21
Figure 2.1.12. Engranajes helicoidal interno	21
Figure 2.1.13. Geometría de referencia para la colocación de ranuras	29
Figure 3.1.2. Parámetros de simulación.....	32
Figure 3.1.3. Distribución de esfuerzos	32
Figure 3.1.4. Sección ANSYS.....	33
Figure 3.1.5. Área de aplicación de fuerza.....	33
Figure 3.1.6. Parámetros simulación 2.....	34
Figure 3.1.7. Distribución de esfuerzos 2.....	34
Figure 3.2.1. Interfaz para esfuerzo de flexión.....	35
Figure 3.2.2. Interfaz para esfuerzo de contacto.....	36
Figure 4.1.1. Distribución esfuerzo de flexión	37
Figure 4.1.2. Distribución esfuerzo de contacto	38
Figure 5.1.1. Diseño CAD	39
Figure 5.1.2. Engranajes CAD	40
Figure 5.1.3. Eje conductor CAD	40
Figure 5.1.4. Eje conducido CAD	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas	14
Tabla 2. Matriz morfológica	19
Tabla 3. Tabla de ponderación de criterios	22
Tabla 4. Ponderación compatibilidad	22
Tabla 5. Ponderación peso	23
Tabla 6. Ponderación mantenimiento	23
Tabla 7. Ponderación complejidad	23
Tabla 8. Ponderación general	24
Tabla 9. Características iniciales engranaje	24
Tabla 10. Características finales engranaje	25
Tabla 11. Tabla comparación de error	38

RESUMEN

En el presente trabajo se busca realizar el diseño óptimo de una bomba de engranajes con el objetivo de que cumpla con los requerimientos esenciales para funcionar utilizando fluidos biológicos varios. Utilizando un enfoque de calidad para identificar y jerarquizar necesidades esenciales, seguido por un proceso de diseño concurrente el cual permitió generar alternativas de diseño que se evaluaron sistemáticamente según criterios predefinidos. Para evaluar la efectividad del diseño se elaboró un programa en Matlab utilizando las normas AGMA 2001-D04 para engranajes, estableciendo los esfuerzos de flexión y de contacto a los que estaría sometido el engranaje, así como los límites para estos valores antes de la falla. Los resultados fueron comparados con una simulación en ANSYS para corroborar los valores de esfuerzo obtenido. Adicionalmente se realizó una impresión 3D de los engranajes diseñados utilizando el material ASA, un material resistente y así observar físicamente el movimiento, engrane y disposición que se obtendría en la bomba.

PALABRAS CLAVE: Bomba de engranajes, esfuerzo de tensión, esfuerzo de contacto, fluidos biológicos, impresión 3D.

ABSTRACT

This study aims to achieve the optimal design of a gear pump to meet essential requirements for handling various biological fluids. Employing a quality-focused approach, critical needs are identified and prioritized, followed by a concurrent design process, allowing for the generation and systematic evaluation of alternative designs based on predefined criteria. To assess the design's effectiveness, a Matlab program was developed using AGMA 2001-D04 standards for gears. This program established bending and contact stresses to which the gears would be subjected, along with predefined limits before failure. Results were cross-verified through an ANSYS simulation to validate stress values. Furthermore, 3D printing of the designed gears using ASA material was carried out to physically observe the motion, engagement, and arrangement within the pump. This multidimensional evaluation provides a comprehensive understanding of the designed gear pump's performance, combining analytical, numerical, and tangible assessments.

KEYWORDS: Gear pump, tensile stress, contact stress, biological fluids, 3D printing.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El desarrollo tecnológico genera una constante búsqueda de nuevas formas de cumplir con las necesidades de cada trabajo, un ejemplo de esto es el uso de bombas con fines biológicos que se han convertido en un área de interés. Las propiedades únicas de los fluidos biológicos, como la viscosidad y la presencia de contaminantes, han presentado desafíos para el diseño y la operación eficiente de los sistemas de bombeo. Entre las opciones disponibles, la bomba de engranajes es usada regularmente por su capacidad para abordar eficazmente estos desafíos específicos. Estas bombas son capaces de manejar fluidos viscosos y resistir la presencia de contaminantes, lo que las hace muy adecuada para la manipulación de fluidos biológicos. La capacidad de la bomba de engranajes para manejar fluidos viscosos y resistir la presencia de contaminantes es esencial para la conducción de fluidos biológicos.

En este contexto, el diseño concurrente, también conocido como diseño simultáneo, implica resulta ser una forma de diseño excelente la cual integra diversas disciplinas y etapas del proceso de diseño desde las primeras fases del proyecto. Este enfoque integrado permite una respuesta más ágil y precisa a las complejidades inherentes de los fluidos biológicos, maximizando las ventajas ofrecidas por la bomba de engranajes. Junto con un prototipado utilizando impresión 3D que permite la rápida materialización de ideas y conceptos en forma de prototipos tangibles, proporciona un complemento perfecto para el diseño concurrente.

1.1 Objetivo general

Examinar los aspectos funcionales y diseñar un modelo 3D de una bomba de engranajes con fines de uso biológico.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio del arte sobre las bombas de engranaje y sus aplicaciones biológicas.
- Establecer los requisitos iniciales de la bomba tomando en cuenta la voz del cliente y la voz del ingeniero.
- Proponer y seleccionar alternativas de la bomba de engranajes.

- Desarrollar un estudio analítico para el cálculo numérico del esfuerzos y geometría de los engranajes.
- Elaborar los planos de conjunto y de taller de la bomba de engranaje usando software CAD.
- Construir prototipo con impresión 3D de las partes fundamentales del diseño.

1.3 Alcance

Las bombas de engranajes son utilizadas en la industria para el bombeo de fluidos con una alta viscosidad como lubricante para un sistema. Por esta razón, su uso para el bombeo de fluidos biológicos con propiedades de viscosidad similares resulta un área de estudio interesante y no muy explorada. Entender las diferencias y los obstáculos que existen al trabajar con fluidos biológicos resulta importante para saber los procesos en los cuales resultaría útil utilizar las bombas de engranaje.

Con este trabajo se busca analizar los parámetros funcionales y de diseño para la elaboración de una bomba de engranajes para usos biológicos mediante un diseño concurrente. La bomba debe ser capaz de subir la presión del fluido y resistir el desgaste producido por el mismo al momento de trabajar.

1.4 Estado del arte

Bombas Hidráulicas

Las bombas hidráulicas son maquinas sumamente usadas en la industria por su habilidad para mover un fluido y al mismo tiempo aumentar la presión. El movimiento y aumento de presión que se experimenta se consigue al suministrar energía, la cual proviene principalmente de la fuente de energía de la bomba. La forma en la que una bomba transmite esta energía al fluido permite clasificarla en uno de los dos tipos de bomba, rotodinámicas y de desplazamiento positivo. Se realiza un esquema para apreciar mejor las clasificaciones para las bombas hidráulicas.

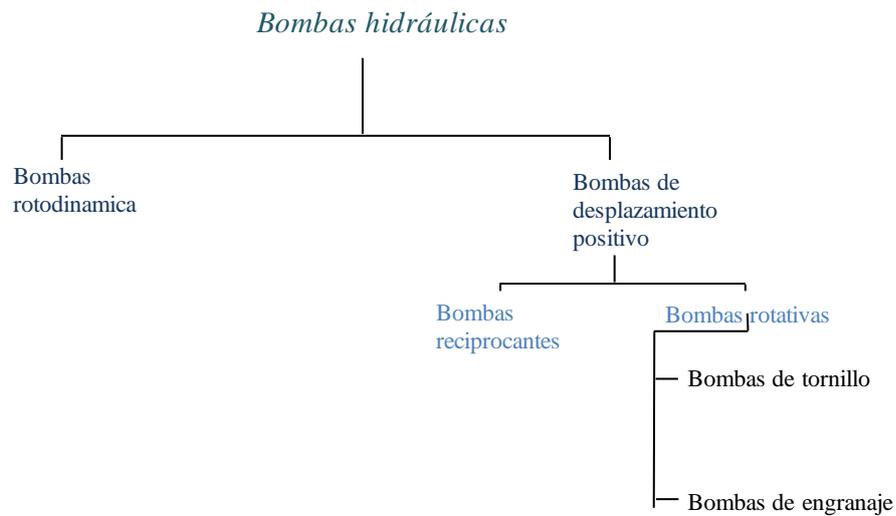


Figure 1.4.1. *Clasificación de bombas (Fuente: Propia)*

Las bombas rotodinámicas transforman energía mecánica en energía cinética, esto se logra mediante movimientos rotativos los cuales permiten aumentar la velocidad del fluido. Posteriormente, existe una expansión del área transversal del flujo que reduce su velocidad y aumentando su presión, permitiendo que el líquido fluya a una mayor velocidad y presión de entrada para poder recorrer grandes distancias. Su uso resulta indispensable en configuraciones hidráulicas donde el origen del fluido se encuentra por debajo de destino deseado.

Por su parte, las bombas de desplazamiento positivo funcionan mediante un elemento mecánico el cual puede ser un pistón, engranaje o diafragma para crear un vacío que permite al líquido entrar, luego se reduce el espacio aplicando un trabajo sobre el líquido para que sea expulsado a una mayor presión [1]. Este proceso se repite de forma cíclica abriendo y cerrando las válvulas de entrada y de salida.

Bombas de desplazamiento positivo

En una bomba de desplazamiento positivo, se introduce energía de forma regular al líquido al aplicar directamente una fuerza a uno o varios volúmenes móviles de líquido. Esto resulta en un incremento de la presión hasta alcanzar el nivel necesario para desplazar el líquido a través de los puertos en la línea de descarga. Los aspectos fundamentales aquí son que la energía se agrega de manera periódica (no continua) y que se realiza una aplicación directa. Estas bombas son ampliamente utilizadas para bombear líquidos de alta viscosidad, especialmente cuando se requiere una dosificación precisa o una alta salida de fuerza. A

diferencia de las bombas centrífugas, las salidas de estas bombas no se ven afectadas por la presión, lo que las convierte en una elección ideal en situaciones donde el suministro de líquido es irregular. Algunos ejemplos destacados de bombas de desplazamiento positivo incluyen las de pistón, émbolo, diafragma, engranaje, globo, tornillo y paleta. Otras ventajas que presentan estas bombas son:

- Con el aumento de la presión se observará un aumento de la eficiencia de forma automática.
- Existe una relación positiva entre la viscosidad y la eficiencia. Lo que significa que al aumentar la viscosidad la eficiencia aumentará, esto se debe a las pérdidas por fricción en la bomba.

La naturaleza del movimiento del elemento mecánico definirá el tipo de bomba de desplazamiento positivo. Los movimientos hacia adelante y atrás son propios de bombas de desplazamiento positivo reciprocantes, los movimientos giratorios son propios de bombas de desplazamiento positivo rotativas. En este último grupo se encuentran las bombas de engranajes.

Las bombas reciprocantes, también conocidas como bombas de desplazamiento positivo, funcionan mediante el movimiento alternativo de un pistón, émbolo, diafragma u otro componente similar que se desplaza hacia adelante y hacia atrás dentro de una cámara o cilindro. Debido a las altas presiones que pueden generar las bombas reciprocantes, es imprescindible que siempre cuenten con protección contra sobrepresión. Se requiere la instalación de una válvula de alivio o un disco de ruptura. En aplicaciones de energía hidráulica, es una práctica estándar incorporar la protección contra sobrepresión junto con otras funciones, como la descarga, mediante el uso de una válvula pilotada común.

Por su parte, las bombas rotatorias, como las bombas de engranajes, bombas de tornillo o bombas de paletas, el eje impulsor (generalmente un rotor) gira dentro de una carcasa. A medida que el eje gira, crea una cámara o espacio sellado entre el rotor y la carcasa. Esta cámara se va desplazando progresivamente a medida que el rotor gira. Cuando el espacio de la cámara se forma en el lado de succión de la bomba, se crea un vacío parcial y el líquido es aspirado hacia la cámara. A medida que el rotor continúa girando, la cámara sellada se desplaza hacia el lado de descarga de la bomba, y el líquido es forzado a salir a través de la salida de descarga [2].

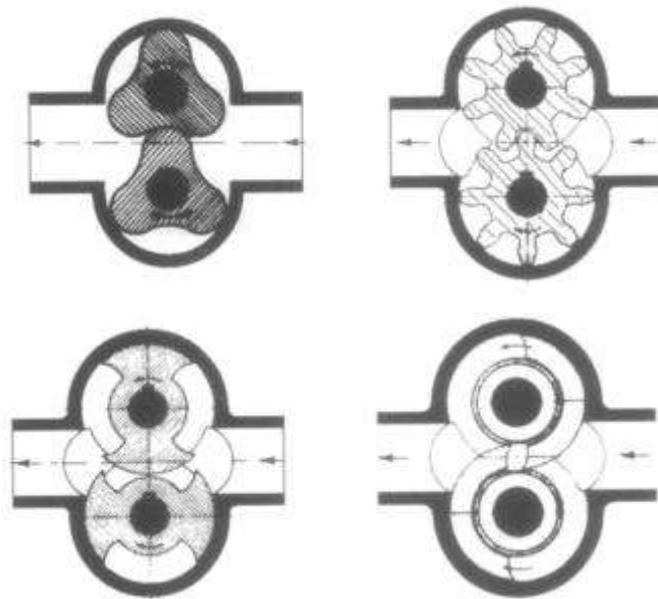


Figure 1.4.2. Diagramas bombas DP [1]

Bombas de engranajes

Las bombas de engranaje cuentan con un engranaje conductor produce un giro en un segundo engranaje. El líquido entra a la bomba y se coloca entre los dientes de los engranajes, posteriormente el líquido se mueve con los engranajes creando un vacío causando un efecto de succión. Los engranajes conducen al líquido hasta la zona de descarga de la bomba, una vez llegados a esta zona los dientes de los engranajes empujan al líquido fuera de la bomba. La bomba opera de manera similar a una cinta transportadora, donde las bolsas de líquido se encuentran entre los dientes del engranaje, se recoge, se transportan al otro lado y se depositan en el otro lado. Suelen ser utilizados para el bombeo de fluidos en diversos procesos industriales. Su funcionamiento se basa en la interacción de dos engranajes que se acoplan y generan un movimiento de rotación, lo que permite el desplazamiento del fluido a través de la bomba [2].



Figure 1.4.3. *Funcionamiento bomba de engranajes interno [3]*

Estas bombas se dividen generalmente en dos categorías principales: las bombas de engranaje externo y las bombas de engranaje interno.

- **Bombas de engranaje externo:** También conocidas como bombas de engranaje recto, consisten en un par de engranajes paralelos que giran dentro de una carcasa. Uno de los engranajes es accionado por un motor, mientras que el otro está acoplado al primero. A medida que los engranajes giran, los espacios entre los dientes se llenan con el fluido, que es llevado desde la entrada hasta la salida de la bomba. Estas bombas son conocidas por su diseño simple, eficiencia y capacidad para manejar fluidos viscosos.

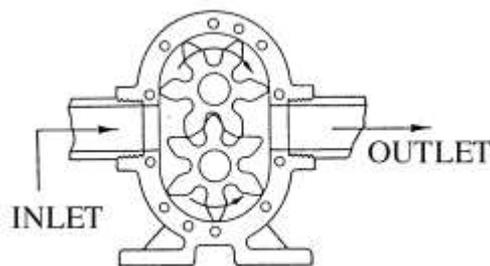


Figure 1.4.4. *Diagrama bomba de engranajes externo [2]*

- **Bombas de engranaje interno:** También llamadas bombas de engranaje de desplazamiento positivo constan de un engranaje externo y un engranaje interno que se acoplan y giran dentro de una carcasa. A medida que los engranajes rotan, el espacio entre ellos se reduce, lo que crea un vacío y succiona el fluido hacia la entrada

de la bomba. Luego, el fluido es desplazado y expulsado a través de la salida. Estas bombas son conocidas por su capacidad para manejar altas presiones y proporcionar un flujo constante y uniforme.

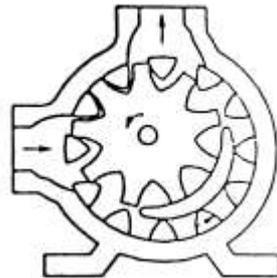


Figure 1.4.5. Diagrama bomba de engranajes interno [2]

Ambos tipos de bombas de engranaje tienen aplicaciones en una amplia variedad de industrias, incluyendo la industria petrolera, química, alimentaria, farmacéutica y automotriz, entre otras. Su diseño robusto, confiable y su capacidad para manejar fluidos viscosos y corrosivos las convierten en una opción popular en muchos procesos industriales donde se requiere el bombeo eficiente de diferentes tipos de líquidos.

Componentes principales

Los diseños de las bombas de engranaje pueden variar según sea requerido en cada caso de trabajo. Sin embargo, aunque todas tengan sus particularidades aun así se pueden distinguir componentes generales para todas las bombas.

- **Orificio de entrada y salida:** Los orificios de entrada y salida desempeñan un papel crucial en el funcionamiento de la bomba. El orificio de entrada también conocido como orificio de alimentación, generalmente ubicado en un extremo de la carcasa, permite que el fluido ingrese a la bomba. Por otro lado, el orificio de salida, situado en el extremo opuesto, facilita la expulsión del fluido a presión de la bomba.
- **Piñón conductor:** El piñón conductor desempeña un papel vital en la transmisión del movimiento giratorio. Esta pieza esencial suele estar conectada directamente al eje de un motor o unidad de transmisión y es responsable de impulsar el engranaje impulsor de la bomba. A medida que el piñón impulsor gira, transfiere su energía mecánica al engranaje impulsor, que a su vez genera el movimiento giratorio necesario para todo el sistema. Luego, el engranaje impulsor interactúa con el engranaje impulsado dentro de la bomba, lo que resulta en el desplazamiento del fluido.

- **Engranaje conducido:** El engranaje conducido está vinculado al engranaje impulsado por el piñón conductor. A medida que el piñón impulsor transfiere su movimiento giratorio al piñón conducido, este último se ve obligado a girar. El juego sincronizado entre el piñón y el engranaje conducidos permite que la bomba desplace el fluido, cumpliendo su función de transportar y transferir líquidos.
- **Carcasa:** La carcasa es un componente estructural vital que sirve como base para los componentes internos de la bomba. Encierra y protege los engranajes y la cámara de bombeo, desempeñando un papel crucial en la retención y guía del fluido. Además, la carcasa ayuda a mantener la integridad estructural de la bomba al proporcionar una carcasa segura para sus componentes internos.
- **Rodamiento y eje:** Dos componentes relacionados que cumplen funciones importantes en la transmisión de energía. El eje, como elemento central, sirve para conectar los engranajes y proporcionar un medio para la transmisión eficiente de la potencia desde la fuente motriz hasta los componentes de la bomba. Por otro lado, el rodamiento, generalmente ubicado en los extremos del eje, actúa como un componente de apoyo crucial al facilitar el movimiento rotativo del eje con una fricción reducida. Los rodamientos minimizan la resistencia al giro y proporcionan estabilidad estructural al eje, lo que resulta en un funcionamiento más suave y eficiente de la bomba de engranajes.

Eficiencia de la bomba

Una bomba idealmente convierte toda la energía mecánica proporcionada en energía hidráulica. Este tipo de bombas no son reales ya que siempre existirán pérdidas de energía, estas pueden deberse a diversos motivos como rozamiento entre componentes mecánicos, mal ensamblaje, fugas, vibraciones, etc. Se puede medir la pérdida de energía utilizando la eficiencia y en el caso de las bombas hidráulicas existen tres tipos de eficiencias fundamentales, eficiencia volumétrica, mecánica e hidráulica. La eficiencia volumétrica es aquella que comprende las posibles pérdidas en el caudal de la bomba debido a fugas, la eficiencia mecánica representa las pérdidas por fricción entre componentes y la eficiencia hidráulica es la pérdida de energía en la zona de descarga de fluido. Las bombas de engranajes no tienen pérdidas de energía considerable al momento de la salida del fluido, por lo tanto, el uso de la eficiencia hidráulica no es necesario.

En la eficiencia volumétrica es muy importante tomar en cuenta todas las fugas que se pueden producir. En el momento de funcionamiento de la bomba de engranajes existen dos tipos de fugas de fluido que pueden producirse, axial y radial. Las fugas axiales ocurren entre la cara

axial del engranaje y la placa que sella a los engranajes, la fuga radial ocurre entre los dientes y la carcasa de la bomba. Existe un tipo de fuga que ocurre por las cavidades que existe entre piezas de la bomba, pero estas dependerán de aspectos como la calidad de las piezas y el ensamblaje, sus efectos solo son tomados en cuenta cuando el caudal que se fuga es importante. Los factores que más impactan en la eficiencia volumétrica es el diferencial de presión y la velocidad angular de los engranajes. Tiene sentido que la velocidad angular afecte al rendimiento de la bomba ya que este valor está directamente relacionado con el caudal volumétrico de salida de la bomba. El diferencial de presión puede ocasionar fugas debido a la fuerza que se ejerce entre la zona de mayor presión y la zona de menor presión, provocando fugas de líquido. Las formas más comunes de aumentar la eficiencia volumétrica con combinaciones de aumento de la velocidad angular de los engranajes y disminución del diferencial de presión[4]. Trabajar a velocidades altas, tener una ranura de alivio en la placa que sella la bomba para disminuir el diferencial de presión y utilizar sellado para evitar fugas son algunos ejemplos.

La eficiencia mecánica se relaciona con la fricción entre componentes dinámicos y también la pérdida de energía que ocurre con fluidos viscosos. Dada las intenciones de utilizar la bomba a diseñar para elementos biológicos los cuales suelen poseer una viscosidad entre media a alta es importante mantener la eficiencia mecánica alta. Con el fin de disminuir la fricción en una bomba lo primordial es evitar las pérdidas de energía entre los engranes y sus alrededores. Fricción con la placa que confina a los engranes, con la carcasa y entre el soporte y el eje son puntos clave donde se pierde eficiencia, utilizando el fluido de trabajo se puede crear una película entre los componentes para reducir la fricción, sin embargo, esto solo sería efectivo a altas velocidades. También es importante considerar el elemento que soporta al eje, este elemento debe facilitar el giro del eje como por ejemplo cojinetes o rodamientos.

Aunque las explicaciones expuestas en este capítulo son simplificación de los diversos aspectos relacionados con las eficiencias en el contexto de una bomba de engranajes. Es crucial destacar que este análisis se ha simplificado con el propósito de proporcionar una comprensión inicial y accesible de los conceptos involucrados. En la realidad, el rendimiento de una bomba puede implicar consideraciones más detalladas y específicas, tales como las pérdidas por fricción, las variaciones en la viscosidad del fluido y otros factores inherentes al sistema. A pesar de esta simplificación, la comprensión de los tipos fundamentales de eficiencias sienta las bases para abordar estrategias de optimización en el funcionamiento de la bomba de engranajes, permitiendo así una mejora más informada y efectiva en su desempeño.

Usos en la industria

En la industria la bomba de engranajes es sumamente utilizada gracias a sus propiedades, estos usos que existen en la industria no distan tanto de los posibles usos que puede tener para fines biológicos. Por este motivo es importante analizarlo como son usadas este tipo de bombas en las diferentes industrias.

Las bombas de engranajes sirven para trabajar con grandes presiones, pudiendo alcanzar los 300 PSI, siendo más común encontrar bombas de engranaje externo. La característica que más resalta sobre estas bombas es su capacidad para trabajar con fluidos altamente viscosos, manteniendo un flujo continuo sin producir mucho ruido. Un ejemplo podría ser el bombeo de crudo de la industria petrolera, así como también sirven para la circulación de lubricante o combustible.

Las bombas de engranajes no son adecuadas para bombear líquidos abrasivos debido a su diseño y funcionamiento. Cuando se trata de líquidos abrasivos, como aquellos que contienen partículas sólidas o sustancias corrosivas, el proceso de bombeo puede dañar los componentes de la bomba de engranajes. Las partículas sólidas pueden desgastar los dientes de los engranajes y dañar las superficies internas de la bomba. Además, las sustancias corrosivas pueden corroer y debilitar los materiales de la bomba, lo que puede resultar en fugas o fallas en la operación. Por ese motivo, en la industria se evitan líquidos como lodo de perforación que aparecen en la perforación de pozos, los lodos de perforación contienen partículas abrasivas como arcilla, arena y otros materiales para ayudar a mantener la estabilidad del pozo. Soluciones químicas corrosivas como la producción de productos químicos o la galvanoplastia, pueden contener sustancias corrosivas y abrasivas.

2 METODOLOGÍA

Para poder obtener el diseño óptimo de la bomba de engranajes es necesario buenos métodos para el proceso de diseño. Por esta razón se utilizará el modelo diseñado por Nigel Cross que se enseña a continuación [5].

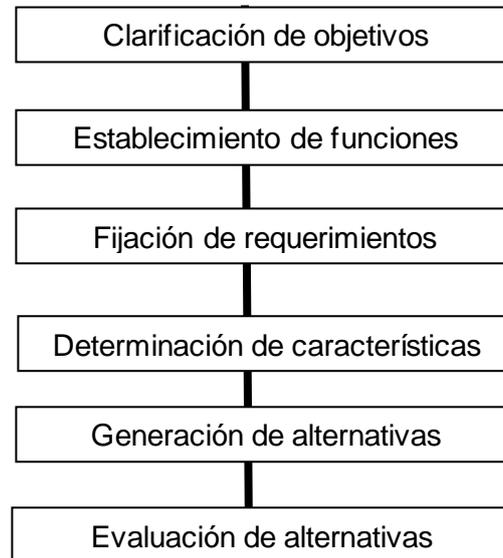


Figure 2.1. Método de Cross

Este modelo permite obtener una comprensión más profunda y valiosa del proceso de diseño, permitiendo abordar los problemas de manera más efectiva y creativa. Las fases del modelo cuentan con una primera etapa donde se establece que es lo que se quiere hacer, posteriormente se debe realizar un análisis funcional de la máquina. Una vez establecidos las funciones sigue fijar límites, donde deben entrar las propuestas para que sean consideradas como solución.

En la etapa de determinación de características se debe trabajar con especificaciones para desempeñar sus funciones correctamente. En esta etapa se utilizará la casa de la calidad y obtener los atributos de la bomba. Con esta información se propondrán alternativas utilizando un diagrama morfológico, luego las candidatas de solución serán evaluadas utilizando los objetivos propuestos anteriormente.

2.1 Establecimiento de especificaciones técnicas

Objetivos

Los objetivos son necesarios para establecer ideas concretas de lo que se busca obtener, en este caso de la bomba de engranajes. Se realizará una jerarquización de los objetivos que debe cumplir la bomba de engranajes, la bomba se utilizará para trabajar con material biológico. Con esta información se determina los objetivos de la siguiente manera.

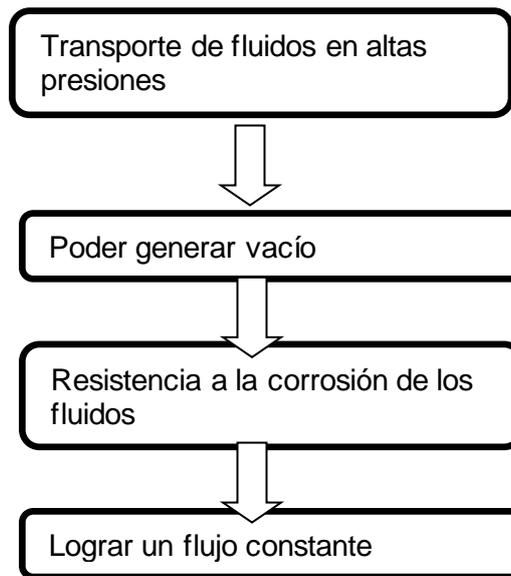


Figure 2.1.1. *Objetivos (Fuente: Propia)*

Análisis funcional

El enfoque de análisis funcional posibilita la identificación de resoluciones para una cuestión en particular. Este recurso de diseño establece las funciones principales y secundarias de un producto, lo que conlleva a la reducción de gastos en su proceso de creación. Las funciones primarias reflejan el propósito fundamental del producto, mientras que las funciones secundarias posibilitan la ejecución eficaz de las funciones primarias.

La representación del análisis funcional se lleva a cabo a través de diagramas de funciones. Primero es importante representar la función global de la máquina, en este caso la bomba de engranajes tiene como función es “Aumentar la presión del fluido biológico”. El diagrama se representa a continuación en la Figura 2.1.2.

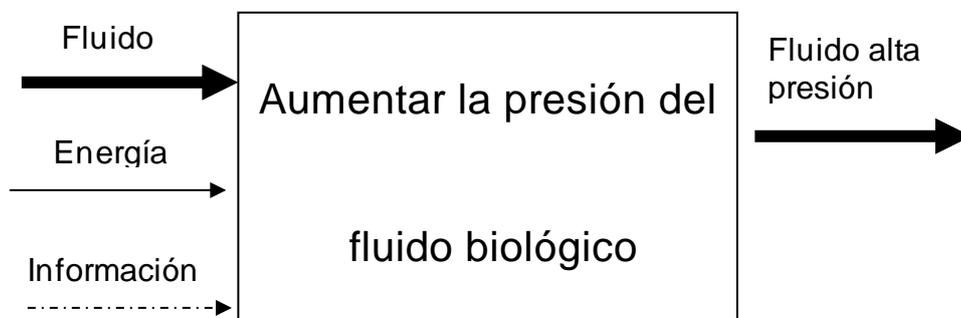


Figure 2.1.2. *Diagrama función global (Fuente: Propia)*

Una vez definido la función global se clasifican las diferentes subfunciones de la bomba de engranajes.

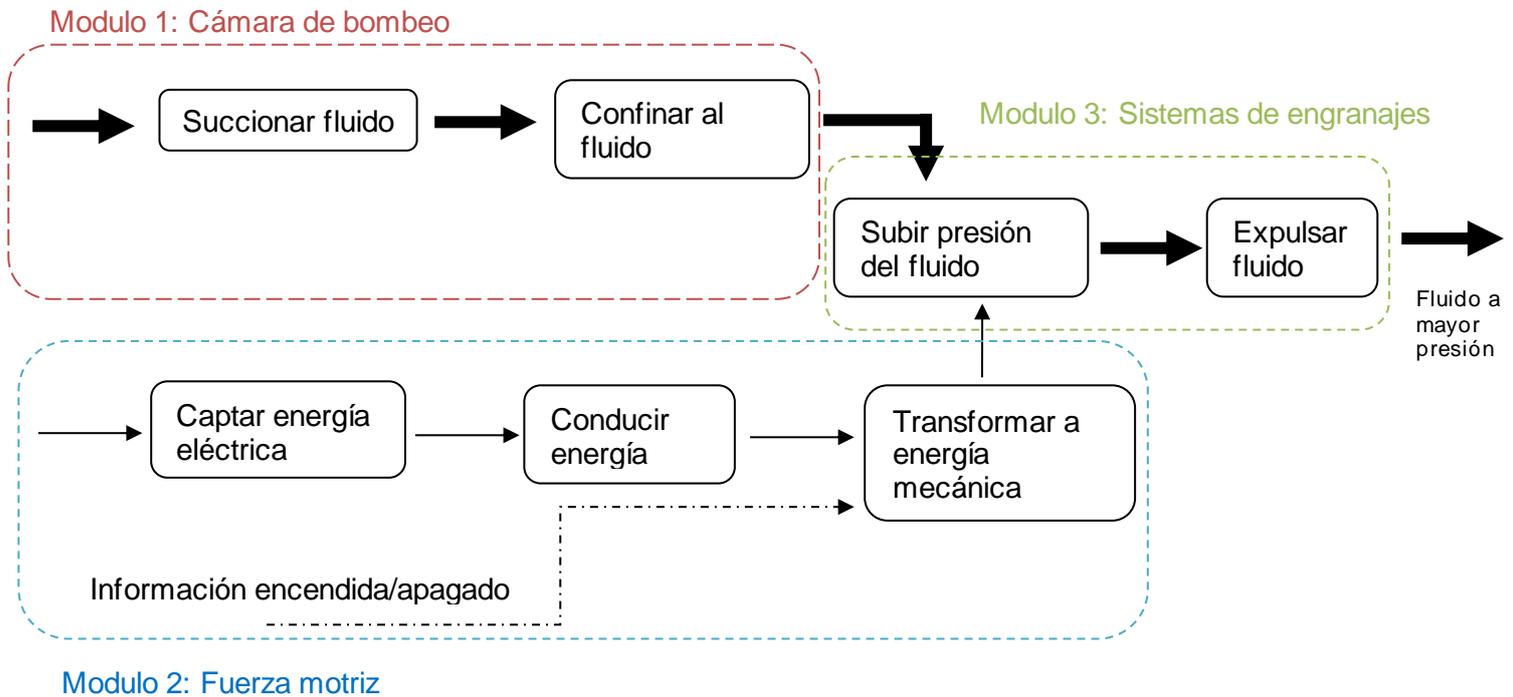


Figure 2.1.3. Diagrama de subfunciones (Fuente: Propia)

Se identificaron 3 módulos diferentes para el funcionamiento de la bomba. El módulo uno como la cámara de bombeo que toma en cuenta la carcasa, el sellado y tipo de configuración de engranaje necesario. El segundo modulo es la energía transmitida al eje que mueve los engranajes, finalmente se encuentra el tercer modulo sobre el tipo de engranaje que se utiliza para subir la presión. Se analizarán soluciones para los diferentes módulos.

Casa de la calidad

Dentro del marco del desarrollo de la función de calidad QFD (Quality Function Deployment) [5], la Casa de la Calidad se erige como una valiosa técnica de planificación de productos que busca unir la voz del usuario, representada por profesionales en rehabilitación física, seguridad y salud ocupacional, con la perspicacia del ingeniero encargado de traducir y concretar las necesidades, sugerencias y deseos recopilados en especificaciones técnicas sólidas. Este proceso es esencial para asegurar que los productos y servicios sean diseñados de manera efectiva y eficiente, cumpliendo así con las expectativas y requerimientos tanto de los usuarios como de los expertos en la materia. El desarrollo de la casa de la calidad con la se muestra en el ANEXO I.

Voz del usuario

- Es señalada a continuación la voz del usuario como requerimientos del mismo respecto al producto a diseñar:
- Que sea ligero
- Se sea portátil
- Que no sea muy ruidoso
- Compatibilidad con el fluido de trabajo
- Fácil mantenimiento
- Eficiente

Voz del ingeniero

Con la información de la voz del usuario se realizó una lista con requerimientos técnicos. La voz del ingeniero explica los requisitos técnicos que deben establecerse para atender las demandas de los usuarios. Debe contar con datos cuantitativos como se muestran a continuación:

- Peso (<12 [kg] sin incluir el motor).
- Nivel de ruido (< 85 [dB]).
- Dimensionamiento máximo de los lados de la base de la máquina (< 0.4 [m] x 0.3 [m]).
- Máximo tiempo de desmontaje (30 [min]).
- Presión de trabajo (200 [psi])

Tabla 1. Especificaciones técnicas

Empresa: N/A	Producto: Bomba de engranajes	Fecha: Página 1/1		
Especificaciones técnicas				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Peso aproximado (sin motor)		Diseño	R	<12 [kg]
Máximo tiempo de desmontaje		Diseño	D	30 minutos

Dimensionamiento máximo de los lados de la base de la máquina		Diseño	D	< 0.4[m] x 0.3[m]
Nivel de ruido		Diseño	D	<85 [dB]
Presión de trabajo		Diseño	R	200 [psi]
R/D: R = Requerimiento D = Deseo				

2.2 Generación de alternativas

Soluciones por modulo

Se propusieron alternativas para los 3 diferentes módulos especificados en las secciones anteriores.

Modulo 1: Cámara de bombeo

La función principal de la cámara de bombeo será aumentar la presión de un fluido. Logra esto permitiendo que el fluido entre desde un área de baja presión (succión), luego comprimiéndolo y finalmente expulsándolo hacia un área de alta presión (descarga). Esto permite el movimiento del fluido a través de un sistema de tuberías o conductos.

Solución 1 – Engranaje externo

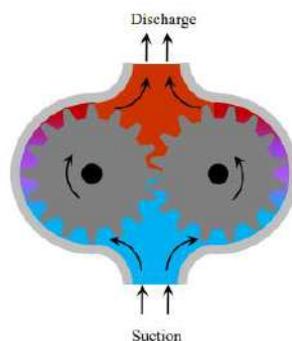


Figure 2.1.4. Bomba de engranaje externo [4]

Ventajas:

- Alcanza presiones más altas
- Flujo constante y continuo

- Son livianos
- Alta eficiencia volumétrica

Desventajas:

- Alto desgaste si el líquido no está limpio
- Fuerza de succión baja

Solución 2 – Engranaje internos

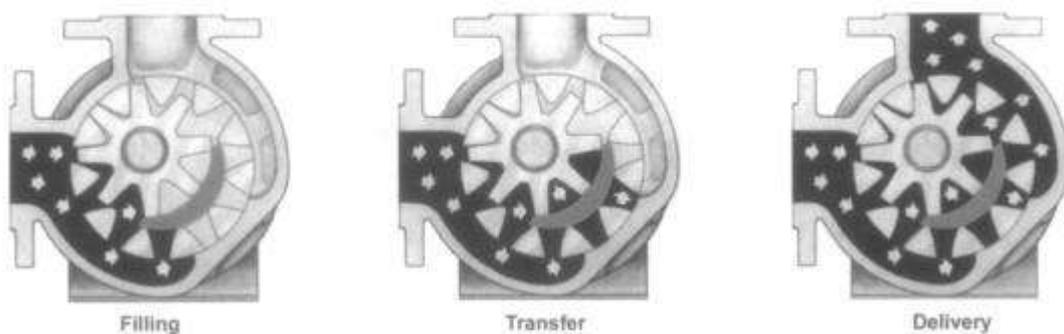


Figure 2.1.5. Bomba de engranajes internos [1]

Ventajas:

- Funcionan con líquidos muy viscosos
- Flujo constante y continuo
- Mejor diseñados para viscosidades altas.

Desventajas:

- No pueden trabajar a presiones muy altas
- Puede producir ruido y vibraciones

Modulo 2: Fuerza motriz

El motor proporcionara la energía necesaria para que los engranajes dentro de la bomba giren.

Solución 1 – Motor eléctrico



Figure 2.1.6. Motor eléctrico[6]

Ventajas:

- Alta eficiencia
- Poco mantenimiento requerido
- Silencioso
- No emite gases nocivos

Desventajas:

- Costo elevado
- Poca potencia en comparación a otros motores

Modulo 3: Sistema de engranajes

Solución 1 – Engranajes rectos



Figure 2.1.7. Engranaje recto[3]

Ventajas:

- Eficientes

- Bajo costo
- Montaje sencillo
- Alta capacidad de carga

Desventajas:

- Ruidosos
- Desgaste a altas velocidades
- Poca eficiencia altas velocidades
- Menor eficiencia con fluidos viscosos

Solución 2 – Engranajes helicoidal



Figure 2.1.8. Engranaje helicoidal[3]

Ventajas:

- Poco ruidosos
- Mayor capacidad de carga
- Menos desgaste
- Versátiles

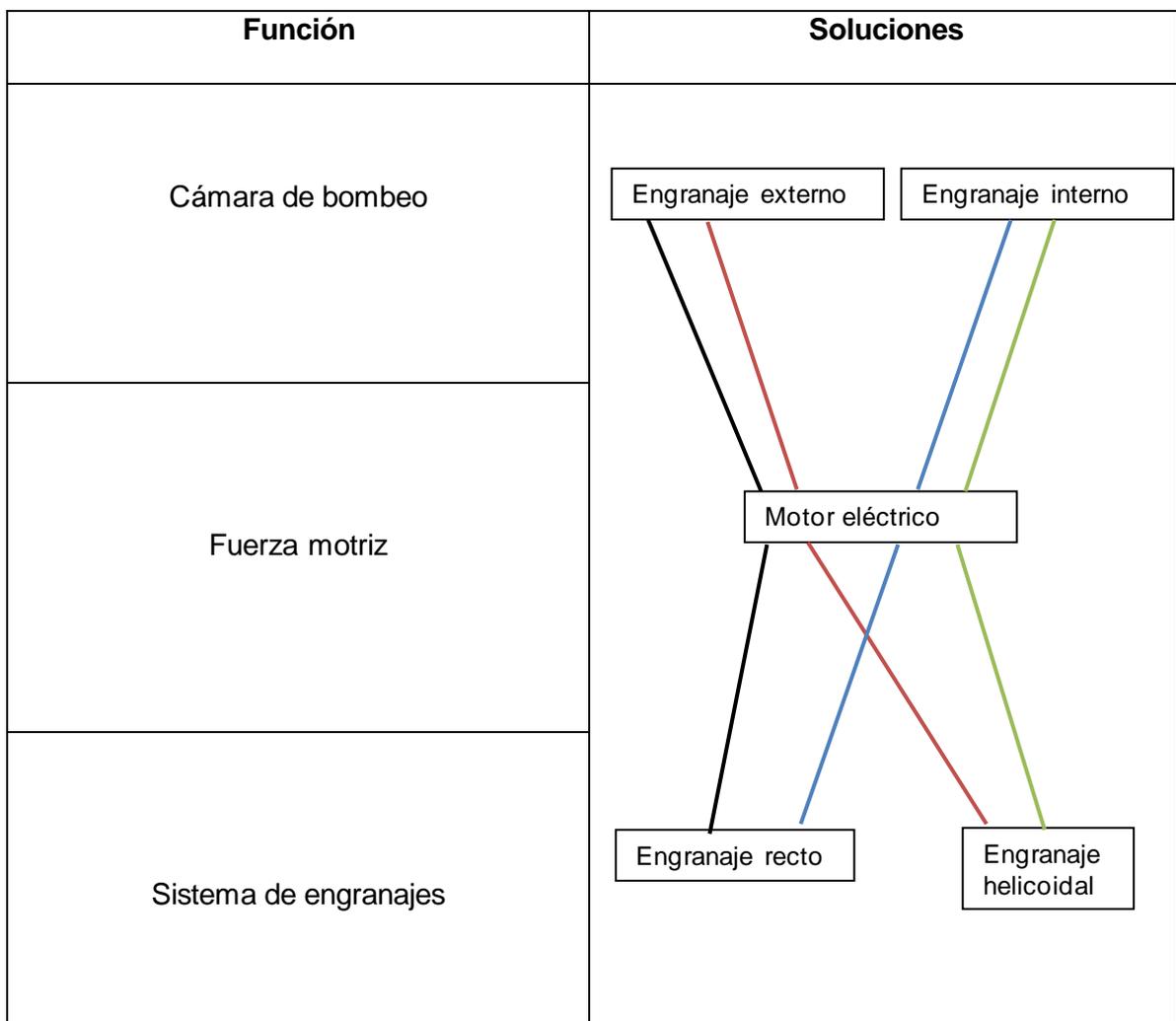
Desventajas:

- Difíciles de fabricar
- Mantenimiento constante
- Mayor fricción y calor

Matriz morfológica

Este enfoque es una técnica que posibilita la unión de ideas individuales con el propósito de crear conceptos más amplios en naturaleza [5]. En la Tabla 2 se ilustran las trayectorias que se siguieron para generar posibles soluciones alternativas.

Tabla 2. Matriz morfológica (Fuente: Propia)



Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4

Alternativa 1

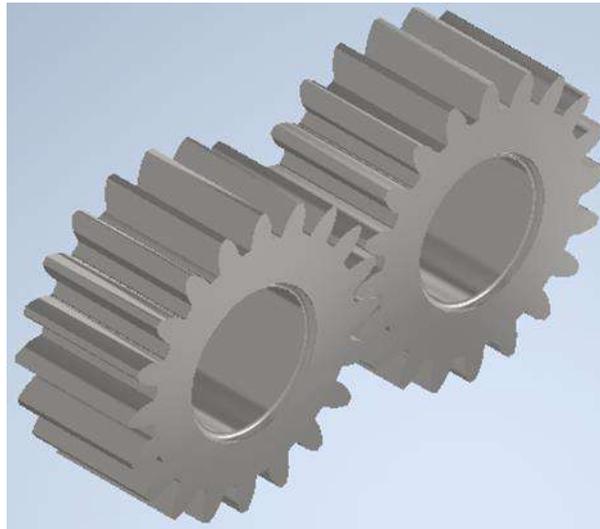


Figure 2.1.9. Engranajes rectos externos (Fuente: Propia)

Alternativa 2

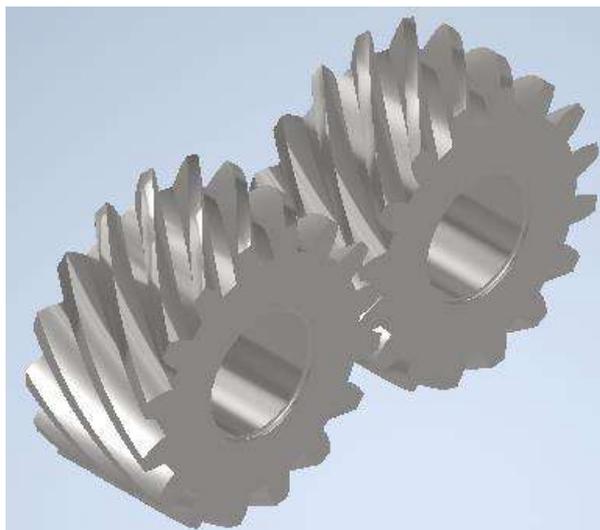


Figure 2.1.10. Engranajes helicoidales externos (Fuente: Propia)

Alternativa 3



Figure 2.1.11. *Engrajaes rectos internos (Fuente: Propia)*

Alternativa 4

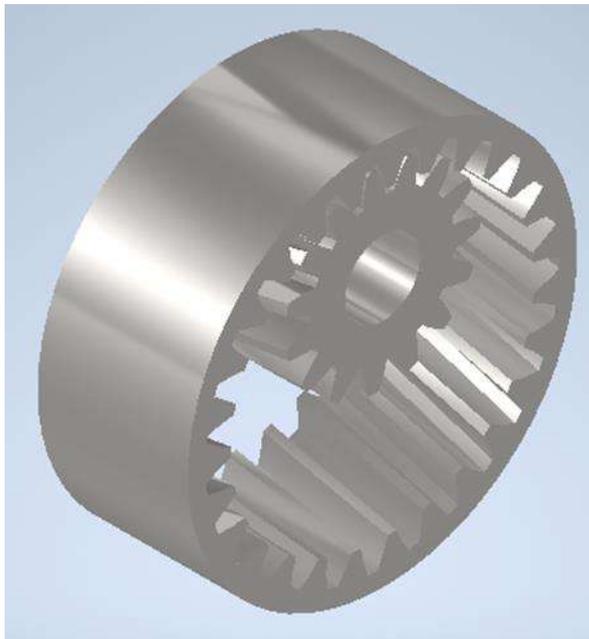


Figure 2.1.12. *Engranajes helicoidal interno (Fuente: Propia)*

2.3 Evaluación de alternativas

Se utilizo el método de valor técnico ponderado, ya que se considera la opción más apropiada y sencilla para llevar a cabo la evaluación de las distintas alternativas destinadas al diseño de la bomba de engranajes. Este enfoque se destaca por su capacidad para proporcionar una

evaluación sistemática y estructurada de las opciones disponibles, permitiendo a los responsables de la toma de decisiones considerar de manera exhaustiva los aspectos técnicos y relevantes en el proceso de diseño de la bomba de engranajes [7].

Método del valor técnico ponderado

A continuación, se detallan los criterios que se han considerado en la evaluación de las diferentes opciones.

- Peso: Menor peso posible, evaluando así a las alternativas.
- Compatibilidad: Que las partes se adaptan con las otras para formar un todo.
- Mantenimiento: Como de fácil es reemplazar piezas por otras.
- Complejidad: Se centra en la complejidad que conlleva la creación de prototipos de las piezas individuales.

Tomando en cuenta estos criterios, se procede a realizar la ponderación que cualitativamente ha de destacar la relevancia del criterio (o solución) en cuestión.

Tabla 3. Tabla de ponderación de criterios

	Peso	Compatibilidad	Mantenimiento	Complejidad	SUMA + 1	PONDERACIÓN
Peso		1	1	1	4	0.4
Compatibilidad	0		1	0.5	2.5	0.25
Mantenimiento	0	0		0	1	0.1
Complejidad	0	0.5	1		2.5	0.25
TOTAL					10	1
Peso>Compatibilidad=Complejidad>Mantenimiento						

Acto seguido, se evalúan las soluciones planteadas respecto a cada uno de los criterios de relevancia previamente definidos.

Tabla 4. Ponderación compatibilidad

Compatibilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	SUMA + 1	PONDERACIÓN
Alternativa 1		1	1	1	4	0.33
Alternativa 2	0		1	0.5	2.5	0.21
Alternativa 3	0	1		1	3	0.25

Alternativa 4	0	0.5	1		2.5	0.21
TOTAL					12	1
Alternativa 1 > Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 4						

Tabla 5. Ponderación peso

Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	SUMA + 1	PONDERACIÓN
Alternativa 1		0	1	0	2	0.25
Alternativa 2	1		0	0.5	2.5	0.31
Alternativa 3	0	0		0	1	0.13
Alternativa 4	1	0.5	0		2.5	0.31
TOTAL					8	1
Alternativa 2 = Alternativa 4 > Alternativa 1 > Alternativa 3						

Tabla 6. Ponderación mantenimiento

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	SUMA + 1	PONDERACIÓN
Alternativa 1		1	0	0	2	0.2
Alternativa 2	0		0	0	1	0.1
Alternativa 3	1	1		0.5	3.5	0.35
Alternativa 4	1	1	0.5		3.5	0.35
TOTAL					10	1
Alternativa 3 = Alternativa 4 > Alternativa 1 > Alternativa 2						

Tabla 7. Ponderación complejidad

Complejidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	SUMA + 1	PONDERACIÓN
Alternativa 1		1	1	1	4	0.4
Alternativa 2	0		1	1	3	0.3
Alternativa 3	0	0		1	2	0.2
Alternativa 4	0	0	0		1	0.1
TOTAL					10	1
Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3 > Alternativa 4						

Al final, para calcular la evaluación general de las soluciones propuestas en el módulo, se suman los productos de la ponderación de cada opción por la ponderación correspondiente de los criterios respectivos. La elección preferente se basará en la solución que obtenga la ponderación total más alta.

Tabla 8. Ponderación general

CONCLUSIONES MODULO 1	Peso	Compatibilidad	Mantenimiento	Complejidad	SUMA	PRIORIDAD
Alternativa 1	0.4*0.25	0.25*0.33	0.1*0.2	0.25*0.4	0.3025	1
Alternativa 2	0.4*0.31	0.25*0.21	0.1*0.1	0.25*0.3	0.2615	2
Alternativa 3	0.4*0.13	0.25*0.25	0.1*0.35	0.25*0.2	0.1995	4
Alternativa 4	0.4*0.31	0.25*0.21	0.1*0.35	0.25*0.1	0.2365	3

Por este método se concluye que la mejor opción es la alternativa 1, luego la alternativa 2, luego la alternativa 4 y por último la alternativa 3.

2.4 Diseño y selección de componentes

Diseño de engranaje

La elección y el diseño de los engranajes representan una de las decisiones más cruciales en el proceso de diseño de la bomba. Aspectos como el tipo de engranaje, la selección del perfil del diente, el número de dientes, las dimensiones y la relación de aspecto impactan directamente en el rendimiento de la bomba. Además, el diseño de los engranajes ejerce una influencia significativa en las decisiones de diseño de los demás componentes de la bomba. Por lo tanto, suele ser el primer paso en el desarrollo de una bomba.

Aspectos como el tipo de engranaje ya se decidió en la evaluación de alternativas. Para los demás parámetros no definidos es necesario tener estimaciones aproximadas iniciales. Las características iniciales del engranaje se observan en la Tabla 9.

Tabla 9. Características iniciales engranaje

Parámetros	Valor
Número de dientes	12
Velocidad angular [RPM]	2000
Ancho [mm]	40
Caudal salida [$\frac{L}{min}$]	60

El número de dientes fue decidido debido a que este es el número de dientes práctico para módulos mayores a 2 [mm] y ángulo de presión de 20° ya que evita socavación [4]. En cuanto

al ancho y la velocidad angular son valores que puede ser considerado estándar para la aplicación de la bomba. El caudal es un parámetro deseado ya que un flujo mayor para las dimensiones máximas que se desea tener con la bomba provocaría vibraciones indeseadas en la bomba mientras que un flujo menor no cumpliría con los objetivos esperados para su aplicación.

Con estos datos se pueden obtener un diámetro primitivo mínimo para el engranaje utilizando la Ecuación 1 adaptada de [4].

$$d_p = 2.95 \sqrt{\frac{nQ}{wN\eta_v}} \quad (1)$$

Donde:

- n representa el número de dientes.
- Q es el caudal. [$\frac{m^3}{s}$]
- w es el ancho. [mm]
- N es la velocidad angular. [RPM]
- η_v es la eficiencia volumétrica esperada.

Utilizando una eficiencia volumétrica de 75% el cual suele ser el mínimo en bombas de alta calidad se obtiene el diámetro primitivo mínimo.

$$d_{pmin} = 40.40[mm]$$

El diámetro primitivo es la dimensión referencial para calcular las demás dimensiones en un engranaje ya que este diámetro representa la distancia para el punto de contacto de los dientes del engrane. Conocida el límite para esta medida se escogieron y calcularon los demás parámetros del engranaje, los cuales se ven completos en la Tabla 10.

Tabla 10. Características finales engranaje

Características engranaje	Valor
---------------------------	-------

Módulo [mm]	4
Ángulo de presión [°]	20
Radio primitivo [mm]	24
Radio base [mm]	19
Radio exterior [mm]	28
Número de dientes	12
Velocidad angular [RPM]	2000
Ancho [mm]	40

Selección de motor

La potencia del motor es la característica más importante para la selección del motor, esta potencia consigue con la Ecuación 2 adaptada de [8].

$$P = \frac{Q \Delta p}{\eta_m \eta_v \eta_e} \quad (2)$$

Donde:

- Δp es la diferencia de presión. [Pa]
- η_m es la eficiencia mecánica.
- η_e es la eficiencia eléctrica.
- η_v es la eficiencia volumétrica.
- Q es el caudal. [$\frac{m^3}{s}$]

El valor de la eficiencia volumétrica ya se estableció anteriormente, la eficiencia eléctrica ronda el 98% en motores eléctricos, la eficiencia mecánica se utilizó un valor de 82% ya que es el valor óptimo para realizar estimaciones de potencia [4]

La bomba debe poder alcanzar 200 [psi] de presión con 60 [$\frac{L}{min}$] de caudal. Para eso la potencia que tendrá el motor es de:

$$P = 2 \text{ [kW]}$$

Diseño del eje

Dado que una bomba de engranajes transforma la energía mecánica proporcionada por el motor primario en energía hidráulica, generando un flujo de fluido presurizado, comúnmente, se utiliza un eje de transmisión como mecanismo de conexión al motor primario, vinculado a uno de los engranajes y extendiéndose más allá de la carcasa de la bomba.

La condición de diseño para el eje de transmisión consiste en su capacidad para transferir el torque proveniente del motor principal sin experimentar fallos. Para evitar el fallo los esfuerzos cortantes producto de torsión a los cuales se le somete el eje deben ser inferiores al límite elástico del material del eje. La elección del material para el eje de una bomba de engranajes es crucial, y en muchos casos, el acero se erige como la opción predilecta. La versatilidad, utilidad y amplia disponibilidad del acero lo convierten en una selección común y efectiva. Su resistencia mecánica, capacidad para soportar cargas variables y tolerancia al desgaste hacen que el acero sea particularmente adecuado para la función de transmitir la energía mecánica en este componente crítico.

El esfuerzo máximo se alcanza en la superficie del eje, se utiliza la Ecuación 3 adaptada de [4].

$$\sigma_c = \frac{2\tau}{\pi r^3} \quad (3)$$

La carga de par de una bomba de engranajes podría ser estimada el desplazamiento lineal de la bomba y el diferencial de presión. De esta forma es posible medir el nivel máximo de esfuerzo cortante en el eje mediante parámetros asociados con las especificaciones de la bomba y las condiciones operativas.

$$\sigma_v = \frac{D \Delta p}{\pi^2 r^3 \eta_m} \quad (4)$$

Según el criterio de Von Mises para corte puro, el inicio de la fluencia ocurre con un esfuerzo cortante de $\sigma_y/\sqrt{3}$. Se aumenta un factor de seguridad.

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_y}{X_s \sqrt{3}} \quad (5)$$

Igualando la Ecuación 4 y Ecuación 5 se obtiene la Ecuación 6 que describe el valor mínimo aceptable para el radio del eje en relación con las condiciones de funcionamiento nominales de la bomba.

$$r_{min} = \left(\frac{\sqrt{3} X_s D \Delta p}{\pi^2 \eta_m \sigma_y} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

Donde

- D es el desplazamiento lineal de la bomba. [m^3]
- X_s es el factor de seguridad.
- σ_y es el límite elástico del material del eje. [Pa]

El material del eje será de acero inoxidable y tendrá un valor de 241 [MPa], con esto el radio mínimo es

$$r_{min} = 4.22[mm]$$

Con este límite inferior se diseñó el eje con un radio superior para encajar mejor con el engranaje y permitir una mayor eficiencia.

$$r = 10 [mm]$$

Diseño placa de desgaste

La bomba de engranajes cuenta con diferentes componentes que influyen fuertemente en la eficiencia y durabilidad de esta, este es el caso de la placa de desgaste. La principal función del diseño de las placas de desgaste es prevenir las fugas axiales, ya que estas suelen ser la causa principal de las fugas internas en la bomba. Cuenta con tres elementos principales los cuales son la ranura de alivio, el elemento de soporte del eje y los canales de presión.

La ranura de alivio es una salida adicional para el fluido, de esta manera se disminuye el diferencial de presión entre la zona de alta presión y baja presión disminuyendo significativamente los picos de presión. Por este motivo es la parte primordial en el diseño de la placa de desgaste. La dimensión de esta ranura para engranajes rectos debe ser lo más larga posible, lo suficiente como para estar en la zona donde se juntan los dientes del engranaje. La forma utilizada fue rectangular por simpleza, para calcular el área de esta zona se utilizó como guía la representación esquemática de la Fig. 2.1.13.

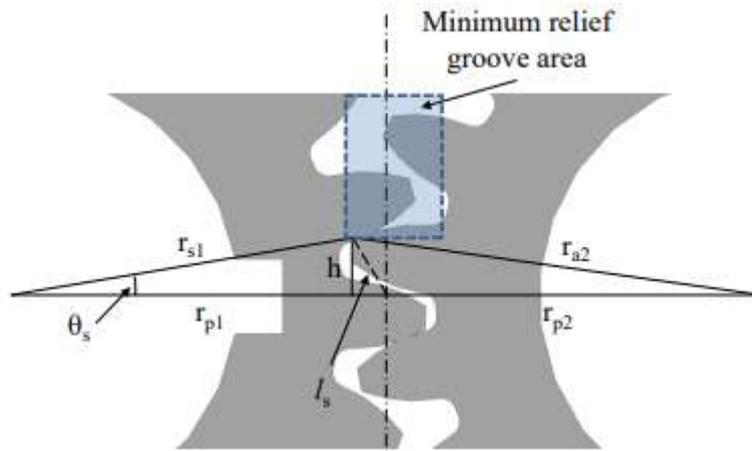


Figure 2.1.13. Geometría de referencia para la colocación de ranuras [4]

En el esquema r_a representa el radio exterior del engranaje, r_p el radio primitivo, θ_s el ángulo de orientación del engranaje, r_s es el radio hasta el punto donde comienza el engrane de los dientes y h es la distancia desde el punto medio, lugar donde se unen los centros de los engranajes. El área roja representa la ranura de alivio, para calcular que tan grande debe ser esta zona se utilizan fórmulas que limitan el valor máximo de h [4]

Esta se observa en la Ecuación 7.

$$h = r_s \sin(\theta_s) \quad (7)$$

Para calcular θ_s se utiliza la Ecuación 8.

$$\theta_s = \cos^{-1} \left(\frac{r_s + r_p - l_s}{2 r_s r_p} \right) \quad (8)$$

Donde l_s representa la longitud de acción que se define como el segmento de línea que conecta el punto de contacto a lo largo de la línea de acción con el punto medio entre los dos engranajes. Para calcular el valor de l_s y r_s se utilizan la Ecuación 9 y Ecuación 10 respectivamente.

$$l_s = \sqrt{r_a^2 - r_p^2 \cos^2(\alpha)} - r_p \sin(\alpha) \quad (9)$$

$$r_s = \sqrt{r_p^2 + l_s^2 - 2 r_p l_s \sin(\alpha)} \quad (10)$$

Donde α es el valor del ángulo de presión del engranaje.

Resolviendo para los engranajes recto definido anteriormente queda

$$h_{max} = 7.88[mm]$$

Siendo utilizado este valor como un máximo no incluyente, en el diseño. Como se mencionó anteriormente, los engranajes rectos se benefician de una ranura más larga, por este motivo se escogió el siguiente valor para h.

$$h = 5[mm]$$

Selección de rodamiento

Los elementos de rodamiento del eje son aquellos que, además de mantener al eje en su lugar, le permiten girar con la menor fricción posible. La eficiencia con la que el eje transforma la energía mecánica en energía hidráulica está sujeta al buen diseño/selección del elemento de soporte. El diseño del rodamiento brinda flexibilidad al momento del diseño, sin embargo, requiere mucha atención al detalla y procesos de fabricación precisos para ser una opción viable. Por su parte, la opción de selección de una pieza rodante del mercado limitaría la flexibilidad del diseño, no obstante, proporcionan poca fricción, un amplio catálogo de elección, permite ahorrar tiempo en el diseño y fabricación. Por estos motivos se escogió la selección de soporte en vez del diseño.

Se utilizaría un rodamiento de bolas resultaría útil ya que estos suelen tener la mayor eficiencia para velocidades de rotación altas y cargas bajas, características presentes en la bomba. Para su selección es necesario tomar en cuenta las características aquí presentadas y revisar un catálogo.

3 EXPERIMENTACIÓN

3.1 Simulación

Junto con el programa Ansys se realizó una simulación del comportamiento de los engranajes con el objetivo de obtener el valor para el valor del esfuerzo de flexión estático. Primero hay que definir cuál es la fuerza tangencial del engranaje y por consiguiente el momento, además de tomar en cuenta el área de contacto inicial.

$$F_t = 395.36 [N]$$

$$T = 9.5 [Nm]$$

$$\text{Area de contacto} = 4.8 [mm^2]$$

Para encontrar los esfuerzos de flexión se diseñó un modelo del par de engranajes de la bomba, en el momento de engrane como se observa a continuación.

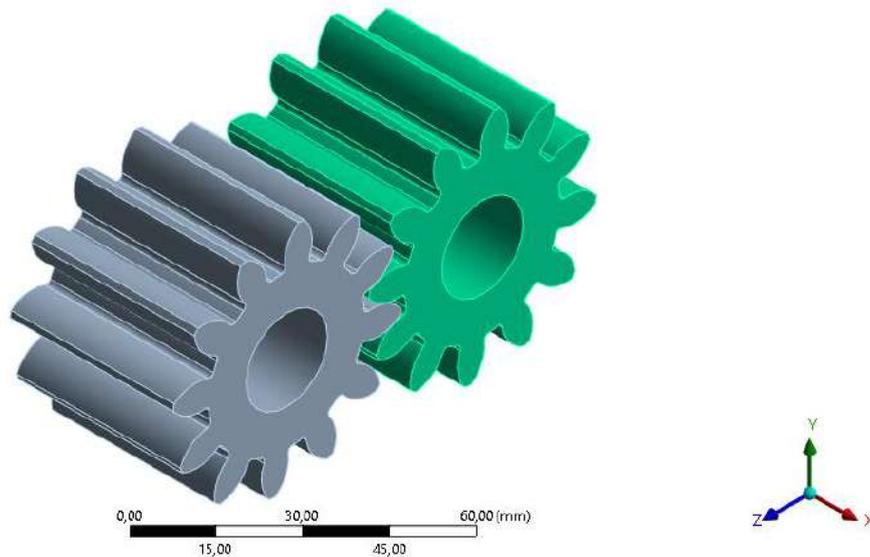


Figure 3.1.1 Engranajes ANSYS

Se aumentaron los parámetros previamente establecidos.

A: Static Structural
 Static Structural
 Time: 1, s
 1/1/2024 12:28

A Moment: 9500, N-mm
B Fixed Support
C Cylindrical Support: 0, mm

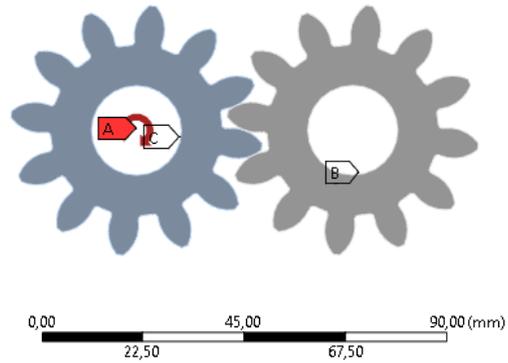


Figure 3.1.1. *Parámetros de simulación*

Obteniendo la distribución de esfuerzos.

A: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 1/1/2024 12:30

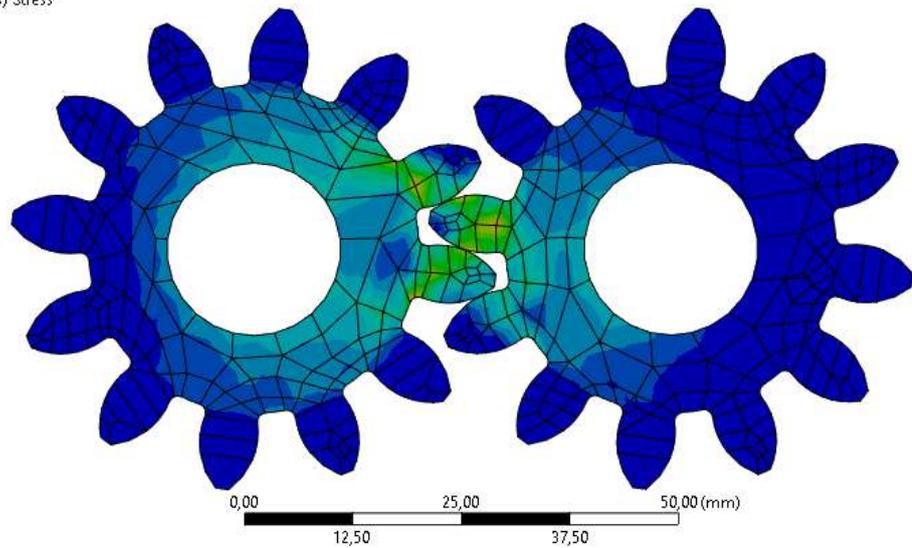
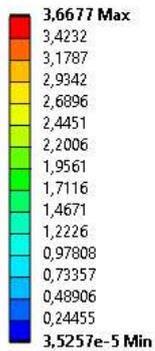


Figure 3.1.2. *Distribución de esfuerzos*

Por su parte para el esfuerzo de contacto que sufre el engranaje se utilizó una sección del engranaje como se muestra en la Fig 3.1.4.

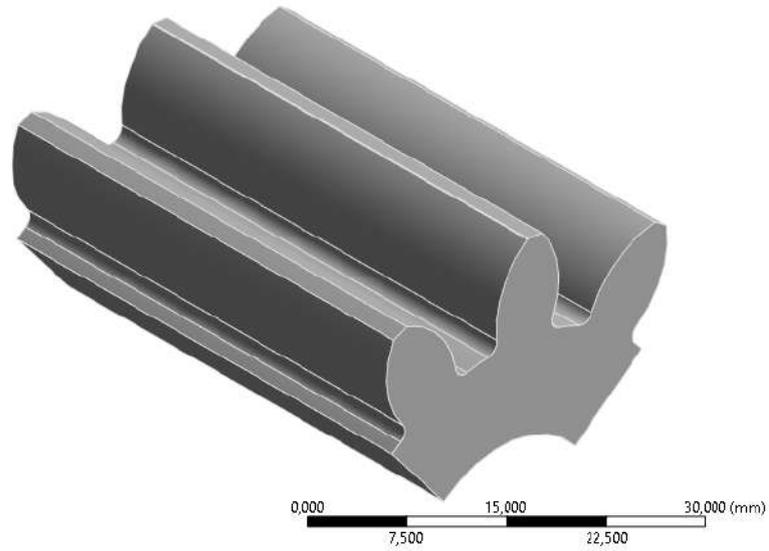


Figure 3.1.3. Sección ANSYS

En la esquina superior izquierda del diente intermedio se encuentra un hundimiento que representa el área de contacto. A esta zona se le aplicara la fuerza tangencial.

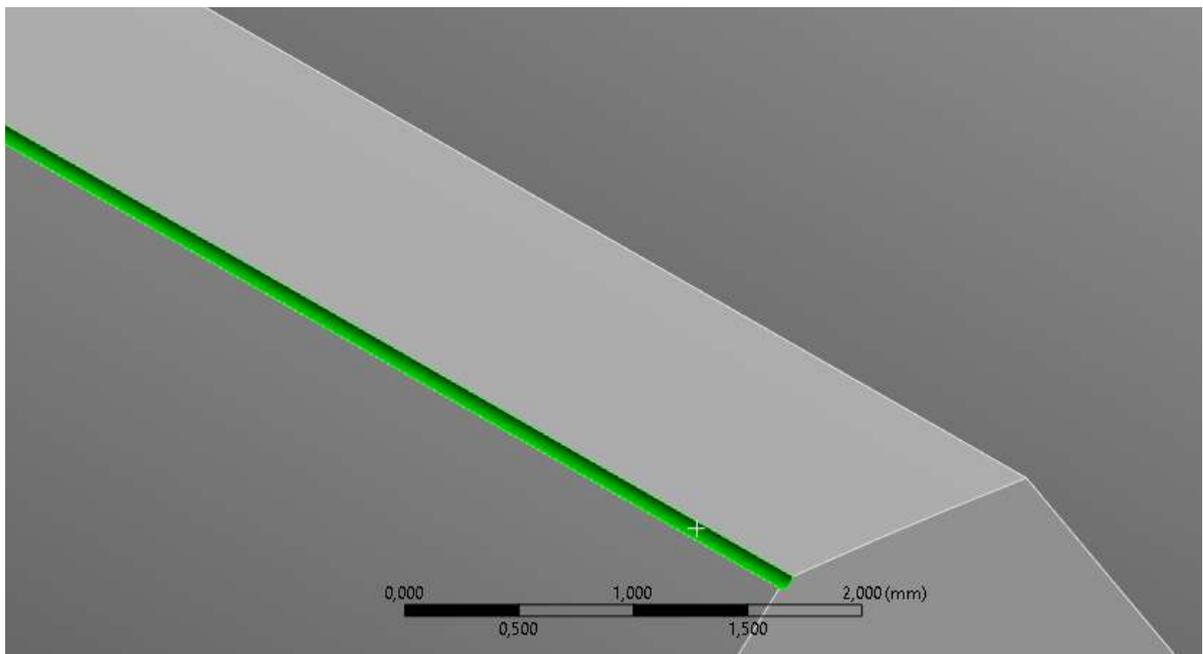


Figure 3.1.4. Área de aplicación de fuerza

Se introducen los parámetros para la simulación como restringir la base y una fuerza perpendicular en el área de contacto.

A: Static Structural
Static Structural
Time: 1, s
2/1/2024 19:01

A Force: 395,36 N
B Fixed Support

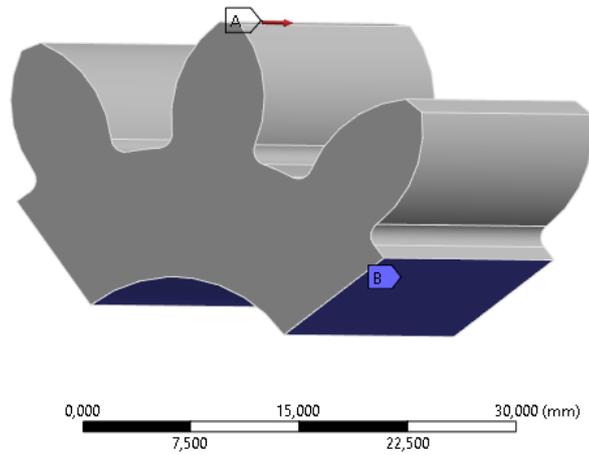


Figure 3.1.5. *Parámetros simulación 2*

Obteniendo los resultados que se observan en la Fig 3.1.7.

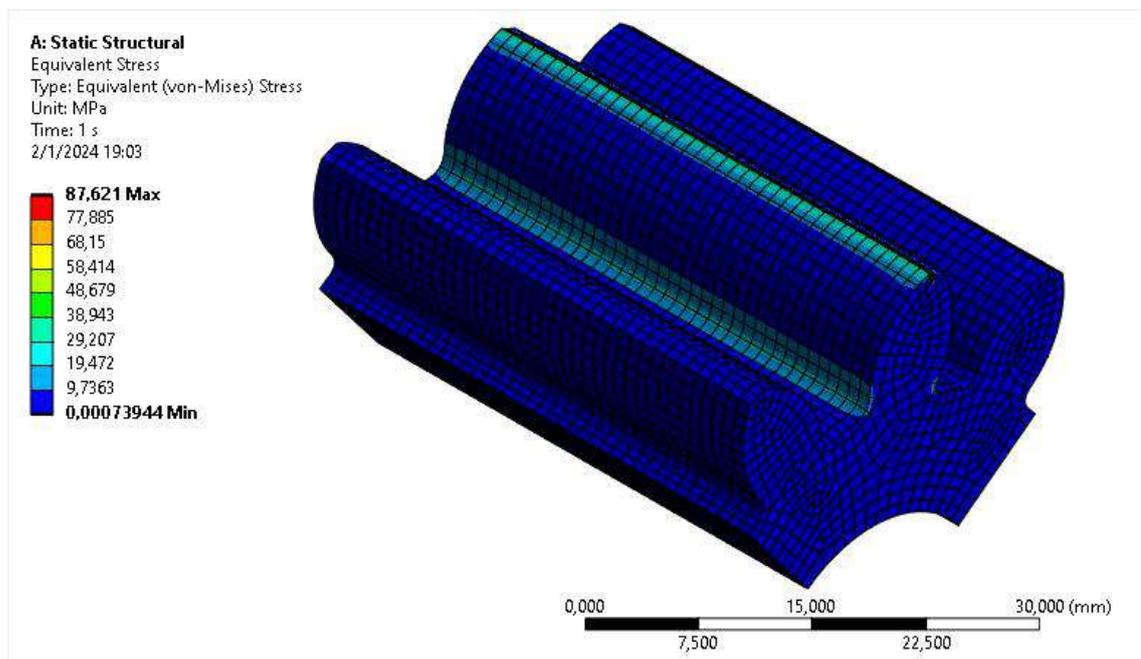


Figure 3.1.6. *Distribución de esfuerzos 2*

3.2 Algoritmo

El diseño del engranaje debe tomar en consideración dos tipos de esfuerzo al momento que el engranaje conductor interactúa con el engranaje conducido, este es el esfuerzo de flexión y esfuerzo de contacto [9]. Se utilizó la norma AGMA 2001-D04, ya que establece una base

común para clasificar varios tipos de engranajes para diferentes aplicaciones, promoviendo la máxima uniformidad y consistencia práctica dentro de la industria de engranajes. Esta norma proporciona fórmulas generales para clasificar la resistencia a las picaduras y la resistencia a la flexión de los dientes de engranajes rectos y helicoidales [10].

Utilizando como base estas normas se desarrolló un algoritmo en MATLAB el cual permite variar valores de dimensión del engranaje, factores, dureza del material, entre otros parámetros y calcular la tensión de flexión, tensión de contacto, resistencia a flexión, resistencia a picadura y el resultado de si las tensiones entran dentro de los parámetros establecidos por la norma. En el ANEXO I y ANEXO II, se encuentra el algoritmo desarrollado.

El programa se utilizó para analizar el esfuerzo de flexión y de contacto de los engranajes en un estado estático. Por este motivo, los factores dinámicos, de sobrecarga y de espesores serán asumidos como la unidad. Los resultados se observan en la Fig 3.2.1.

The screenshot shows a MATLAB GUI window titled "GUI_flexion" with a main heading "Parametros". The interface is divided into several sections:

- Dimensiones:** A list of input fields for gear dimensions: Ft [N] (395.36), w [rpm] (2000), N (12), Ancho [mm] (40), M [mm] (4), Reje [mm] (10), and Ángulo [°] (20).
- Otros:** Input fields for material properties: Dureza [HB] (200) and Número de ciclos [x10^4] (6).
- Factores:** A list of dropdown menus for selection factors: Geométrico, Sobrecarga (set to 1), Dinámico (set to 1), Distribución de carga, and Seguridad.
- Comprobar:** A blue button to execute the calculation.
- Resultados:** A section displaying the calculated values: Esfuerzo de flexión (3.19201) and Esfuerzo límite (304.885). Below these, a purple "Aprobado" button indicates the design is approved.

Figure 3.2.1. Interfaz para esfuerzo de flexión

The image shows a software interface titled "GUI_flexion_contacto" with a main heading "Parametros". It is divided into several sections:

- Dimensiones:**
 - Ft [N]: 395.36
 - w [rpm]: 2000
 - N: 12
 - Ancho [mm]: 40
 - M [mm]: 4
 - Reje [mm]: 10
 - Ángulo [°]: 2
- Otros:**
 - Dureza [HB]: 200
 - Número de ciclos [x10^4]: 6
- Factores:**
 - Coefficiente elástico [N/mm^2]: 191
 - Sobrecarga: 1 (dropdown)
 - Dinámico: 1
 - Distribución de carga: (dropdown)
 - Seguridad: (dropdown)
 - Estado de superficie: (dropdown)
- Comprobar:** A button to execute the calculation.
- Resultados:**
 - Esfuerzo de flexión: 86.6721
 - Esfuerzo límite: 858.513
 - Status: **Aprobado**

Figure 3.2.2. Interfaz para esfuerzo de contacto

En la sección de “Resultados” se puede observar el resultado para el esfuerzo de flexión del engranaje, este siendo de 3.19 [MPa]. Y el esfuerzo de contacto 86.67 [MPa].

Los esfuerzos limites también se encuentran calculados por el programa, los resultados están en las mismas unidades que los anteriores esfuerzos. Se calcularon asumiendo condiciones de trabajo, como una temperatura no superior a 121[°C], que los dos piñones están hechos del mismo material o la diferencia de dureza entre ellos no es considerable.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

En la simulación ANSYS para flexión se pudo observar cómo los mayores esfuerzos se encuentran en la base del diente, específicamente el diente conductor que se encuentran engranado y debería transportar líquido en el espacio vacío de engrane. Un resultado esperado para el esfuerzo de tensión.

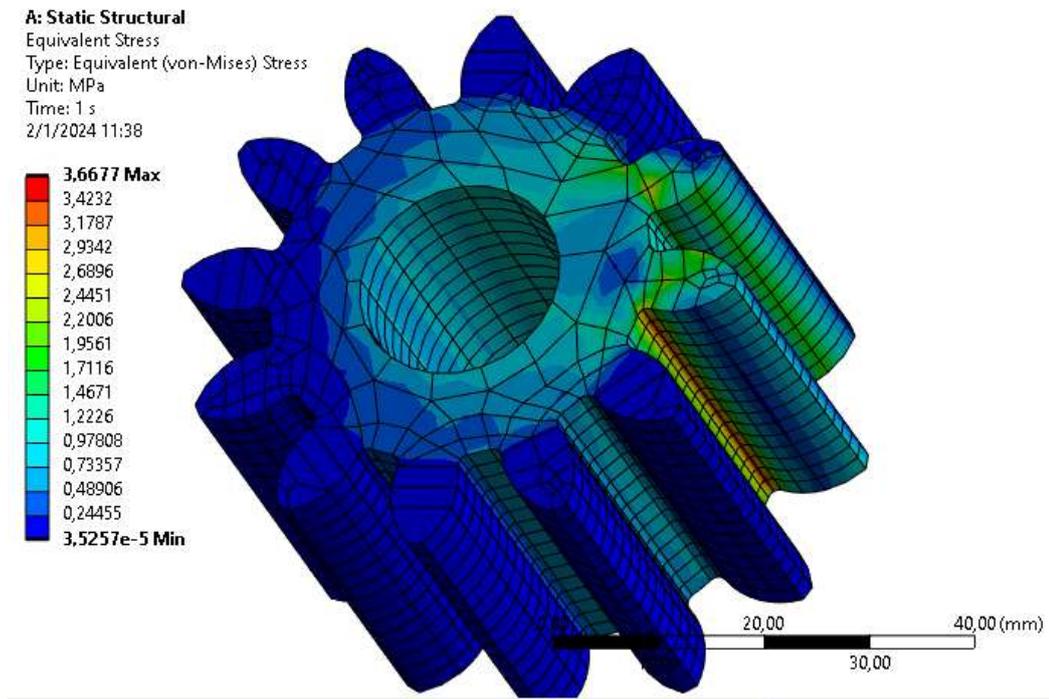


Figure 4.1.1. Distribución esfuerzo de flexión

El esfuerzo de flexión máximo es de 3.66 [MPa]. Para el resto de los dientes, los esfuerzos de flexión se encontraron en el rango de entre 2.44 [MPa] a 2.68 [MPa]

En el caso de la simulación para esfuerzo de contacto existió una gran concentración de esfuerzos en la zona de contacta.

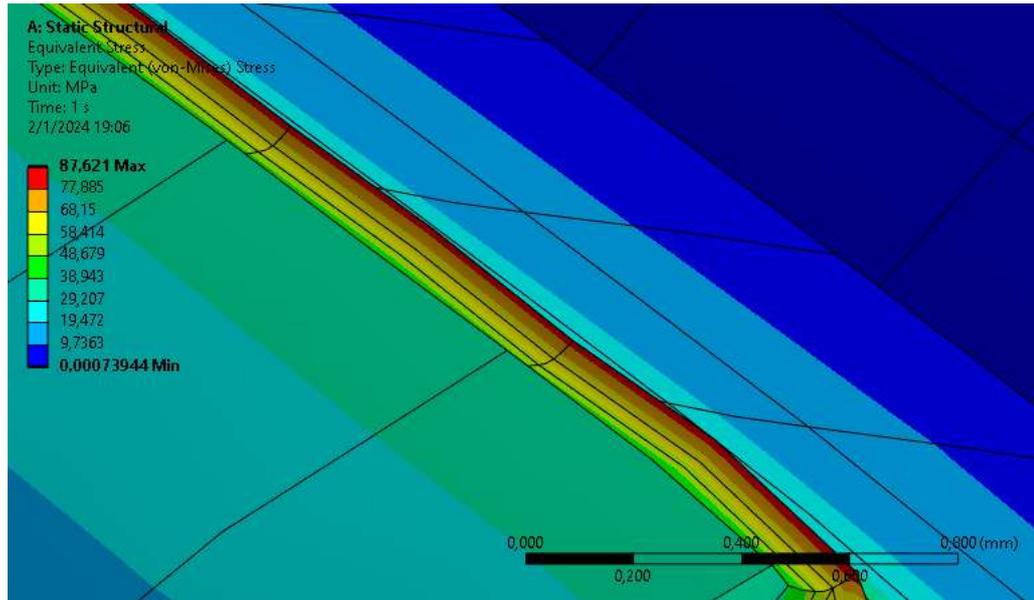


Figure 4.1.2. Distribución esfuerzo de contacto

Siendo el máximo esfuerzo de 87.62 [MPa].

4.2 Discusión

Observando los resultados de la simulación ANSYS y ser comparados con los resultados de calculados se observa una gran similitud entre estos estos valores.

Tabla 11. Tabla comparación de error

Tipo de esfuerzo	Simulación (MPa)	Calculado (MPa)	Error
Flexión	3.66	3.19	14%
Contacto	87.62	86.67	10%

La simulación realizada con ANSYS obtiene resultados parecidos a los datos derivados del programa de MATLAB, revelando una concordancia significativa a pesar de la presencia de un error del 10%. Este margen de discrepancia se considera aceptable, dado que los métodos de análisis empleados en ambas plataformas pueden contribuir a variaciones inherentes.

Los esfuerzos limites observados son muy superiores a los esfuerzos encontrados en el análisis estático de los engranajes, considerando el poco rango de error se puede decir que

en la simulación los valores máximos no superan los límites establecidos por las normas, sugiriendo que no existirán fallos por esfuerzos de flexión y contacto en los engranajes.

5 IMPRESIÓN 3D DE LA PIEZA

En esta sección, nos centraremos en un aspecto crucial del proceso de fabricación de bombas de engranajes: la impresión 3D de los engranajes y los ejes. La utilización de tecnologías de impresión 3D en la producción de componentes mecánicos ofrece una perspectiva innovadora y eficiente. Examinaremos detalladamente cada etapa de este proceso, comenzando por la selección del material adecuado para la impresión, explorando el diseño asistido por computadora (CAD) que guiará la fabricación, adentrándonos en los parámetros de impresión esenciales y, finalmente, analizando los resultados obtenidos. Este enfoque integral nos permitirá comprender a fondo la integración de la impresión 3D en la creación de componentes fundamentales como los engranajes y ejes de las bombas de engranajes, optimizando así la eficiencia y funcionalidad de estos elementos clave en la ingeniería mecánica.

5.1 Diseño CAD

Primero se modela en la plataforma Autodesk Inventor las piezas, además de un ensamblaje sobre como quedaría la unión de estas, con el objetivo de tener una guía visual antes de la impresión. Las piezas se diseñaron utilizando los datos parámetros definidos en la sección anterior.

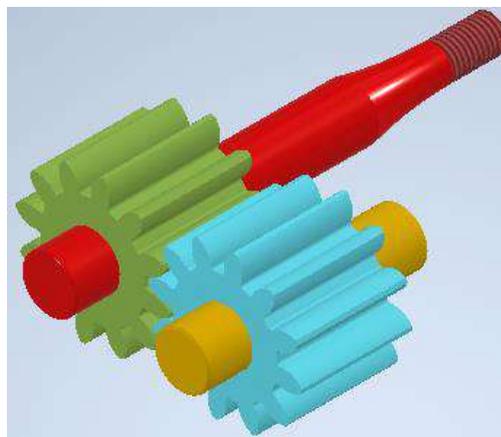


Figure 5.1.1. *Diseño CAD*

Como se observa en la Fig.5.1.1 el ensamblaje cuenta con dos engranajes y dos ejes. Los engranajes son idénticos y se encuentra engranando como se observa en la Fig. 5.1.2.

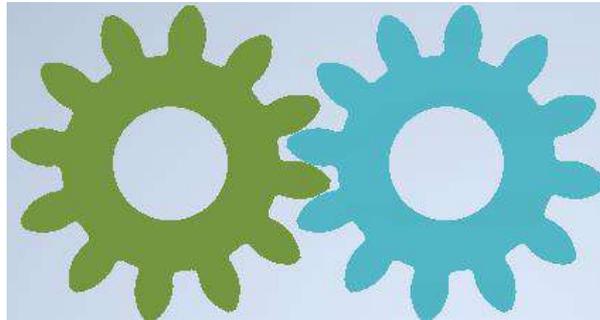


Figure 5.1.2. Engranajes CAD

Por su parte, el eje conectado al engranaje conductor posee el diámetro ya establecido de 20 mm y un largo de 160 mm. El largo fue escogido tomando en cuenta que el eje debe sobresalir por fuera de las placas de desgaste y la carcasa.



Figure 5.1.3. Eje conductor CAD

El segundo eje, conectado al engranaje conducido tiene un diámetro de 20 mm y un largo 80 mm. Dado que, a diferencia del primer eje, este solo necesita apoyarse en los rodamientos.

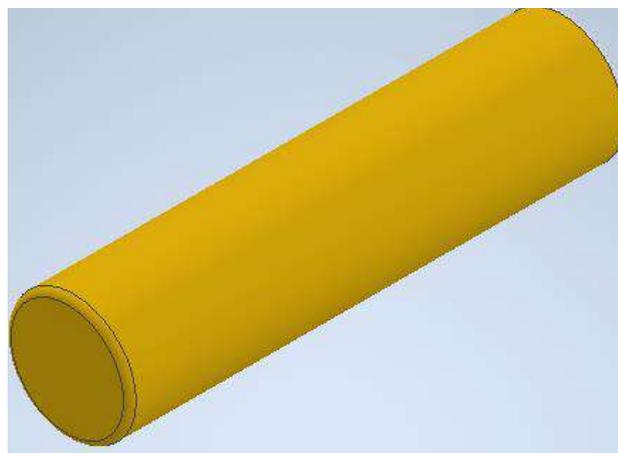


Figure 5.1.4. Eje conducido CAD

5.2 Material de impresión

El material seleccionado para la impresión fue el filamento de ASA color negro, diámetro 1.75 mm. El ASA, acrilonitrilo estireno acrilato, es conocido por su excelente resistencia a la intemperie, lo que lo convierte en una opción robusta para piezas que estarán expuestas. Esta resistencia a la intemperie asegura que las piezas impresas con ASA mantengan su integridad estructural y estética a lo largo del tiempo, una cualidad deseada para el prototipo. Estas propiedades combinadas hacen del ASA una elección sólida para aquellos que buscan un material duradero y fiable en la impresión 3D, especialmente cuando se requiere que las piezas interactúen entre sí y perduren en el tiempo.



Figure 5.2.1. Material ASA

5.3 Parámetros impresión

Para la impresión se utiliza la impresora CREATOR 3 PRO del Laboratorio LABINTECDIMP de la Escuela Politécnica Nacional. Esta impresora pertenece a la compañía Flashforge, la cual cuenta con su propio programa para interactuar con sus impresoras llamado Flash Print, este fue el programa utilizado.

A continuación, se listan los parámetros principales utilizados:

- **Boquilla:** 0.04 mm
- **Temperatura de extrusor:** 250 °C
- **Temperatura de cama:** 110 °C
- **Relleno:** 20%

- **Densidad de patrón:** Cuadrícula
- **Velocidad de impresión:** 50 mm/s



Figure 5.3.1. Impresora CREATOR 3 PRO

5.4 Resultado final

El prototipo resultante se imprimió como 3 impresiones diferentes, los dos engranajes, y los ejes por separado.



Figure 5.4.1. Piezas impresión 3D



Figure 5.4.2. Ejemplo de impresión eje

Piezas individuales que no presentaron problemas al ensamblarse, de esta forma comprobando el buen engrane entre los dientes y como se moverían en la maquina real.



Figure 5.4.3. Resultados impresión 3D vista 1



Figure 5.4.5. Resultados impresión 3D vista 2



Figure 5.4.6. Resultados impresión 3D vista 3

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La bomba de engranajes es una opción popular en diversos campos industriales y científicos debido a su simplicidad, eficacia y versatilidad, utilizada comúnmente para bombear fluidos de alta viscosidad como aceite, pinturas, resinas o alimentos. Por

esta razón y su versatilidad la convierten en una elección ideal para aplicaciones biológicas, donde su capacidad para manipular líquidos con precisión es esencial.

- Utilizando un enfoque en la calidad se seleccionaron las alternativas de diseño que mejor se ajustaban a los requerimientos técnicos esenciales. Simultáneamente, las opciones conceptuales fueron sugeridas a través de diseño concurrente, lo que facilitó la exploración de múltiples enfoques para el diseño. Para la selección de la mejor alternativa, se empleó un criterio de evaluación que, aunque simple, demostró ser altamente efectivo para discernir la alternativa más idónea especialmente para el tipo de engranaje requerido, para su posterior prototipado.
- Las simulaciones realizadas logro predecir con un bajo nivel de error el comportamiento de los engranajes bajo la condición de carga y operación. También mostraron que los esfuerzos límite excedían significativamente las tensiones máximas esperadas que experimentarían los engranajes, indicando una robustez excepcional en el diseño y un amplio margen de seguridad que tendrá la construcción de la bomba.
- Con los engranajes impresos en 3D se entiendo de forma tangible la forma de trabajar de la bomba de engranajes, permitiendo observaciones directas de los engranajes en acción, permitiendo la identificación de mejoras y la validación práctica de los diseños teóricos.

6.2 Recomendaciones

- Para la construcción e implementación del diseño de la bomba, tomar en cuenta que se haga cálculos precisos para el diseño de la carcasa y los rodetes. Dos elementos importantes al momento de construir la bomba que no fueron analizados ya que se escapa del alcance del proyecto.
- En el contexto de las simulaciones, es crucial expandir el alcance para incluir un análisis detallado de los esfuerzos a los que está sujeto el eje de la bomba de engranajes.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. Nesbitt, *Handbook of Pumps and Pumping*, 1st ed., vol. 1. ELSEVIER, 2006.
- [2] L. Nelik, *Centrifugal and Rotary pumps*, 1st ed., vol. 1. CRC Press, 1999.
- [3] M. Volk, *Pump Characteristics and Applications*, 3rd ed., vol. 1. New York: CRC Press,

- 2013.
- [4] Logan Williams, "Fundamentals of External Gear Pump Design," Washington DC, Jan. 2022.
 - [5] Mónica García Melón *et al.*, *Fundamentos del diseño en la ingeniería* , Primera edición. Valencia : Editorial Universitat Politècnica València, 2017.
 - [6] Motores WEG, *Motor Eléctrico Trifásico*. 2021, pp. 1–60.
 - [7] María Jesús Gutiérrez, Francisco Aguayo Gonzáles, and Juan Ramón Lama Ruiz, *Metodología del diseño*, Primera. Madrid : RC Libros, 2021.
 - [8] Pablo Ramírez, "Guía técnica para el diseño y cálculo de engranajes para reductores de velocidad ," Universidad Técnica Federico Santa María, Valparíso , 2017.
 - [9] Juan Manuel Regalado González, "Cálculo y diseño de engranajes conforme a la norma ANSI/AGMA 2101-D04 ," Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, 2015.
 - [10] G. González Rey, "Procedimiento para estimar la vida útil de engranajes cilíndricos de acero en base a la resistencia a la fatiga del material y norma AGMA 2101-D04.," Habana, Feb. 2008.
 - [11] American National Standar, *Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth*. 2005, pp. 1–66.
 - [12] American Gear Manufacture Association, *Geometry Factors for Determining the Pitting Resistance and Bending Strength of Spur, Helical and Herringbone Gear Teeth*. 1989, pp. 1–79.

8 ANEXOS

ANEXO I. Casa de la calidad

ANEXO II. Código esfuerzo de contacto

ANEXO III. Código esfuerzo de tensión

ANEXO IV. Planos

ANEXO I

Casa de la calidad

																					<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th colspan="2">Relación</th></tr> <tr><td>●</td><td>Muy fuerte</td></tr> <tr><td>○</td><td>Fuerte</td></tr> <tr><td>X</td><td>Negativa</td></tr> <tr><td>X/</td><td>Muy negativa</td></tr> </table>		Relación		●	Muy fuerte	○	Fuerte	X	Negativa	X/	Muy negativa
	Relación																															
●	Muy fuerte																															
○	Fuerte																															
X	Negativa																															
X/	Muy negativa																															
Demandas Básicas: O Demandas unidimensionales: B Demandas estimulantes: E	Peso	Volumen	Tiempo de encendido	Nivel de ruido	Calibración de elementos trituradores	Materiales con recubrimiento superficial	Sin grados de libertad	Cámara de trituración cerrada	Tiempo de trituración del hueso	Depósito desmontable	Objetivos	Obtención productos										Ponderación	Ponderación %									
Estructura ligera	O	●	●			●	▽	▽		▽	5	45	45	0	0	0	45	5	5	0	5	155	18.24									
Arranque sencillo	B			●	▽						2	0	0	18	2	0	0	0	0	0	0	22	2.59									
Que no se sobrecaliente	B			▽	▽				●		3	0	0	3	3	0	0	0	0	27	0	36	4.24									
Funcionamiento silencioso	B				●	○			●		3	0	0	0	27	9	0	0	0	27	0	66	7.76									
Tamaño de hueso triturado variable	O					●	○	○	●		5	0	0	0	0	45	15	15	45	0	0	125	14.71									
Materiales resistentes a oxidación	O	●	●			●					5	45	45	0	0	0	45	0	0	0	0	140	16.47									
Estructura fija	B	▽	▽				●				3	3	3	0	0	0	0	27	0	0	0	36	4.24									
Sin salpicadura de huesos al exterior	B	▽	▽					●			5	5	5	0	0	0	0	0	45	0	0	60	7.06									
Trituración rápida	O	▽	▽		●	●			●		5	5	5	0	45	45	0	0	0	45	0	150	17.65									
Depósito de huesos accesible	B	▽	▽						●		5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	45	60	7.06									
																						850										
Objetivos		5	4	4	5	5	5	3	4	5	5	45	45	0	0	0	45	5	5	0	5											
Obtención productos		0	0	18	2	0	0	0	0	0	0	0	0	18	2	0	0	0	0	0	0											
		0	0	3	3	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0											
		0	0	0	27	9	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0											
		0	0	0	0	45	15	15	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
		45	45	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
		3	3	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
		5	5	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
		5	5	0	45	45	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45											
Incidencias	113	112	25	82	104	110	50	99	104	55	854																					
Incidencia en %	13.23	13.11	2.93	9.60	12.18	12.88	5.85	11.59	12.18	6.44																						

Factor de incidencia	
●	fuerte con valor 9
○	medio con valor 3
▽	bajo con valor 1

ANEXO II

Código esfuerzo de contacto

```
function varargout = GUI_flexion_contacto(varargin)

% Begin initialization code
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @GUI_flexion_contacto_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @GUI_flexion_contacto_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code

% --- Executes just before GUI_flexion_contacto is made visible.
function GUI_flexion_contacto_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = GUI_flexion_contacto_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
%Introducción de parámetros
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
%Fuerza
Ft = str2double(get(handles.edit1, 'String'));
%Velocidad
velocidad = str2double(get(handles.edit2, 'String'));
%Número de dientes
dientes = str2double(get(handles.edit3, 'String'));
%Ancho engranaje
b = str2double(get(handles.edit4, 'String'));
%Modulo engranaje
m = str2double(get(handles.edit5, 'String'));
%Radio del eje
reje = str2double(get(handles.edit6, 'String'));
%Ángulo de presión
alphan = str2double(get(handles.edit7, 'String'));
```

```

%Dureza del material
HB = str2double(get(handles.edit8, 'String'));
%Número de ciclos
n = str2double(get(handles.edit9, 'String'));
%Factor dinámico
handles.Kv = str2double(get(handles.edit10, 'String'));
%Coeficiente de elasticidad
Ze = str2double(get(handles.edit12, 'String'));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Factor del estado de la superficie para el fallo debido al picado superficial
C=get(handles.popupmenu7, "Value");
if C==1
    Zr = 0;
elseif C==2
    Zr = 1.25;
elseif C==3
    Zr = 1.25;
elseif C==4
    Zr = 1.5;
elseif C==5
    Zr =1;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Factor de sobrecarga
A=get(handles.popupmenu2, "Value");
if A==1
    handles.Ko = 0;
elseif A==2
    handles.Ko = 1;
elseif A==3
    handles.Ko = 1.25;
elseif A==4
    handles.Ko = 1.5;
elseif A==5
    handles.Ko = 1.75;
elseif A==6
    handles.Ko = 2;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Factor de distribucion de carga Km
B=get(handles.popupmenu4, "Value");
if B==1
    handles.Km = 1;
elseif B==2
    if b<=50
        handles.Km =1.3;
    elseif (b >= 50) && (b <= 225)
        handles.Km =1.4;
    elseif (b >= 225) && (b <= 400)
        handles.Km =1.5;
    elseif (b >= 400)
        handles.Km =1.8;
    end
elseif B==3
    if b<=50
        handles.Km =1.6;
    elseif (b >= 50) && (b <= 225)
        handles.Km =1.7;
    elseif (b >= 225) && (b <= 400)
        handles.Km =1.8;
    elseif (b >= 400)

```

```

        handles.Km =2;
    end
elseif B==4
    handles.Km =2.5;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Factor de seguridad
D=get(handles.popupmenu5, "Value");
if D==1
    handles.sf = 1;
elseif D==2
    handles.sf = 1.5;
elseif D==3
    handles.sf = 1.25;
elseif D==4
    handles.sf = 1;
elseif D==5
    handles.sf = 0.85;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Factor de confiabilidad
handles.KR = handles.sf;

%Radio primitivo
rp = m*dientes/2; %mm
%Radio base
rb = m*(dientes-2.5)/2; %mm
%Radio exterior
re = rp+m; %mm

%Factor de geometria
ZI =1; %(sin(deg2rad( alphas ))*cos(deg2rad( alphas )))/(2*2);

%Cálculo tensión de contacto
E = Ze*sqrt(Ft*handles.Ko*handles.Kv*handles.Km*Zr/(b*2*rp*ZI));

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
sac =(322*HB+29100)*4.44822*1/645.16;

%Cálculo de vida útil
N = n*1e4;

%Factor del ciclo de estrés
if N<= 1e7
    Zn = 2.466*N^(-0.056);%AGMA 2001- D04 pag.45
elseif N>= 1e7
    Zn = 1.4488*N^(-0.023);%AGMA 2001- D04 pag.45
end

%Esfuerzo de tensión permisible
sa=sac*Zn/(handles.sf*handles.KR);

%Resultados
set(handles.text28, "String", E)
set(handles.text29, "String", sa)

if E<=sa
    set(handles.text30, "String", "Aprobado")
else
    set(handles.text30, "String", "Desaprobado")
end

```

```

% --- Executes on selection change in popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)

C=get(hObject, "Value");
if C==1
    handles.Yj = 1;
elseif C==2
    handles.Yj = 0.21;
elseif C==3
    handles.Yj = 0.22;
elseif C==4
    handles.Yj = 0.23;
elseif C==5
    handles.Yj = 0.24;
elseif C==6
    handles.Yj = 0.25;
end
guidata(hObject, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% --- Executes on selection change in popupmenu2.
function popupmenu2_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% --- Executes on selection change in popupmenu4.
function popupmenu4_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

```

```

% --- Executes on selection change in popupmenu5.
function popupmenu5_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

```

```

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text30_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text28_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text29_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function edit12_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

```

```
% --- Executes on selection change in popupmenu7.  
function popupmenu7_Callback(hObject, eventdata, handles)  
  
% --- Executes during object creation, after setting all properties.  
function popupmenu7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)  
  
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),  
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))  
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');  
end
```

ANEXO III

Código esfuerzo de tensión

```
function varargout = GUI_flexion(varargin)

% Begin initialization code
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',  @GUI_flexion_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @GUI_flexion_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code

% --- Executes just before GUI_flexion is made visible.
function GUI_flexion_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = GUI_flexion_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)

varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
%Introducción de parámetros
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
%Fuerza
Ft = str2double(get(handles.edit1, 'String'));
%Velocidad
velocidad = str2double(get(handles.edit2, 'String'));
%Número de dientes
dientes = str2double(get(handles.edit3, 'String'));
%Ancho engranaje
b = str2double(get(handles.edit4, 'String'));
%Modulo engranaje
m = str2double(get(handles.edit5, 'String'));
%Radio del eje
reje = str2double(get(handles.edit6, 'String'));
%Ángulo de presión
```

```

alphan = str2double(get(handles.edit7, 'String'));
%Dureza del material
HB = str2double(get(handles.edit8, 'String'));
%Número de ciclos
n = str2double(get(handles.edit9, 'String'));
%Factor dinámico
handles.Kv = str2double(get(handles.edit10, 'String'));

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Factor de geometria
C=get(handles.popupmenu1, "Value");
if C==1
    handles.Yj = 1;
elseif C==2
    handles.Yj = 0.21;
elseif C==3
    handles.Yj = 0.22;
elseif C==4
    handles.Yj = 0.23;
elseif C==5
    handles.Yj = 0.24;
elseif C==6
    handles.Yj = 0.25;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Factor de sobrecarga
A=get(handles.popupmenu2, "Value");
if A==1
    handles.Ko = 0;
elseif A==2
    handles.Ko = 1;
elseif A==3
    handles.Ko = 1.25;
elseif A==4
    handles.Ko = 1.5;
elseif A==5
    handles.Ko = 1.75;
elseif A==6
    handles.Ko = 2;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Factor de distribucion de carga
B=get(handles.popupmenu4, "Value");
if B==1
    handles.Km = 1;
elseif B==2
    if b<=50
        handles.Km =1.3;
    elseif (b >= 50) && (b <= 225)
        handles.Km =1.4;
    elseif (b >= 225) && (b <= 400)
        handles.Km =1.5;
    elseif (b >= 400)
        handles.Km =1.8;
    end
elseif B==3
    if b<=50
        handles.Km =1.6;
    elseif (b >= 50) && (b <= 225)
        handles.Km =1.7;
    elseif (b >= 225) && (b <= 400)

```

```

        handles.Km =1.8;
    elseif (b >= 400)
        handles.Km =2;
    end
elseif B==4
    handles.Km =2.5;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Factor de seguridad
D=get(handles.popupmenu5, "Value");
if D==1
    handles.sf = 1;
elseif D==2
    handles.sf = 1.5;
elseif D==3
    handles.sf = 1.25;
elseif D==4
    handles.sf = 1;
elseif D==5
    handles.sf = 0.85;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Factor de confiabilidad
handles.KR = handles.sf;

%Radio primitivo
rp = m*dientes/2; %mm
%Radio base
rb = m*(dientes-2.5)/2; %mm
%Radio exterior
re = rp+m; %mm

%Factor de espesor Kb
Kb = 1;
mb = (re-rb)/(rb-reje);
if mb<1.2
    Kb = 1.6*log(2.242/mb);
end

%Cálculo tensión de flexión
E = Ft*handles.Ko*handles.Kv*Kb/(b*m)*handles.Km*1/handles.Yj;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
sat =(77.3*HB+12800)*4.44822*1/645.16;

%Cálculo de vida útil
N = n*1e4;

%Factor del ciclo de estrés
if (N<=1e7)&& (HB<=160)
    Yn = 2.3194*N^(-0.0538);
elseif (N<=1e7)&&(HB > 160) && (HB <=250 )
    Yn = 4.9404*N^(-0.1045);
elseif (N<=1e7)&&(HB > 250) && (HB <400 )
    Yn = 6.1514*N^(-0.1192);
elseif (N<=1e7)&& (HB>=400)
    Yn = 9.4518*N^(-0.148);
elseif N>= 1e7
    Yn = 1.3558*N^(-0.0178);
end

```

```

%Esfuerzo de tensión permisible
sa=sat*Yn/(handles.sf*handles.KR);

%Resultados
set(handles.text28, "String", E)
set(handles.text29, "String", sa)

if E<=sa
    set(handles.text30, "String", "Aprobado")
else
    set(handles.text30, "String", "Desaprobado")
end

% --- Executes on selection change in popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)

guidata(hObject, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% --- Executes on selection change in popupmenu2.
function popupmenu2_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% --- Executes on selection change in popupmenu4.
function popupmenu4_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

```

```

% --- Executes on selection change in popupmenu5.
function popupmenu5_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

```

```

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

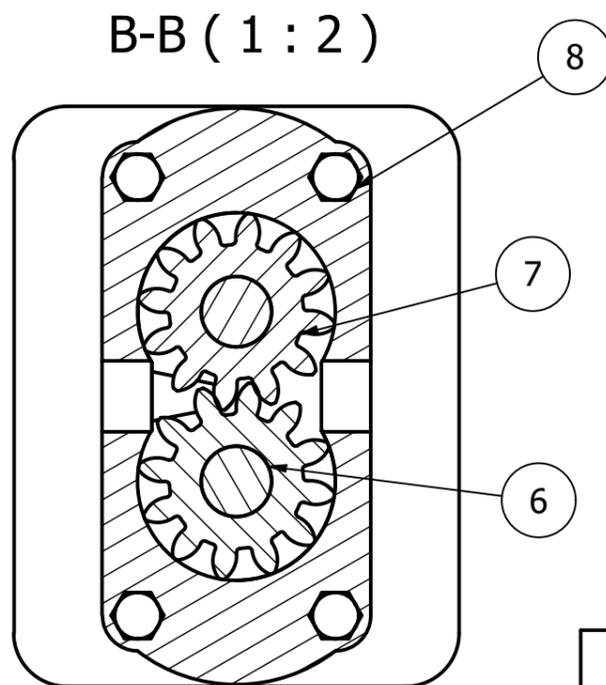
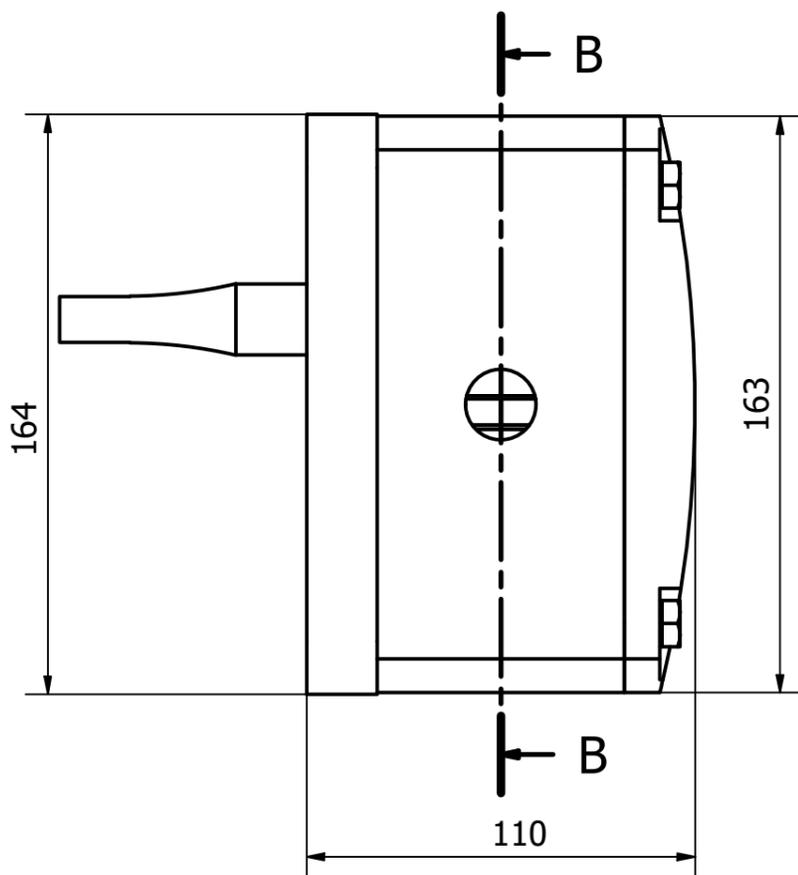
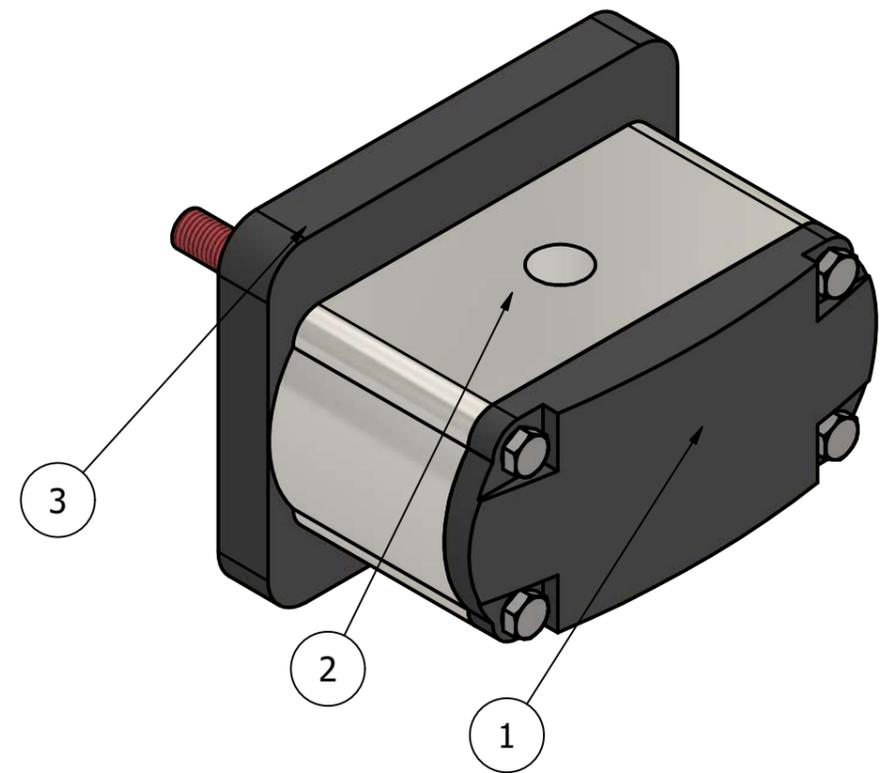
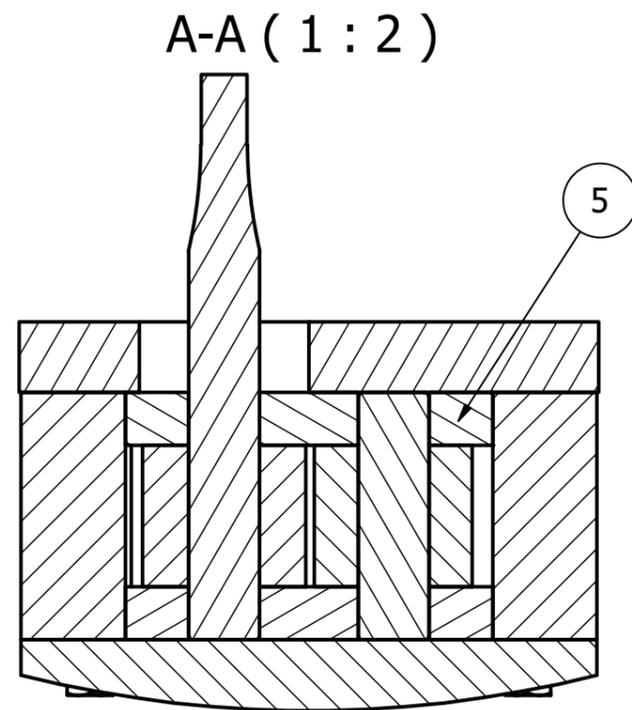
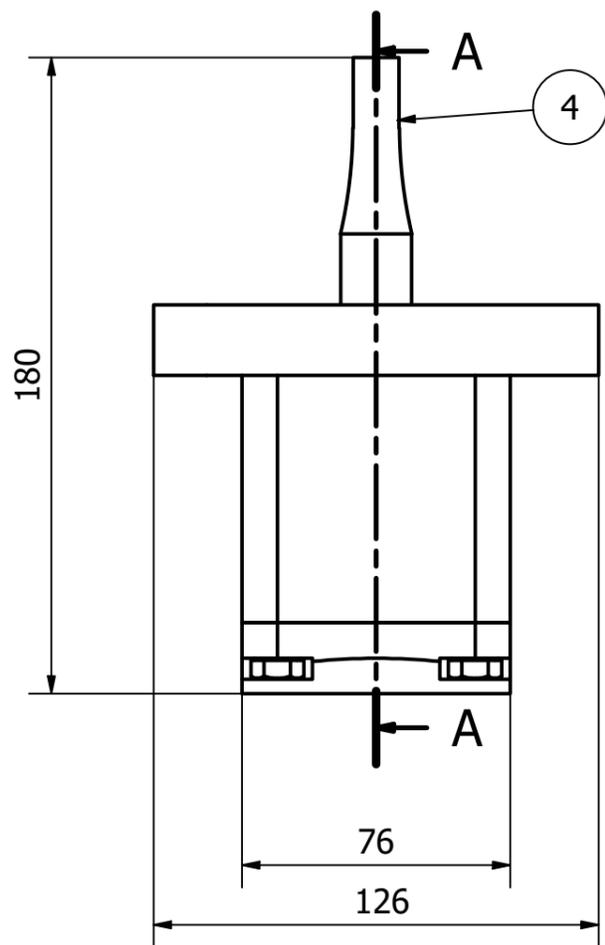
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text30_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text28_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function text29_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

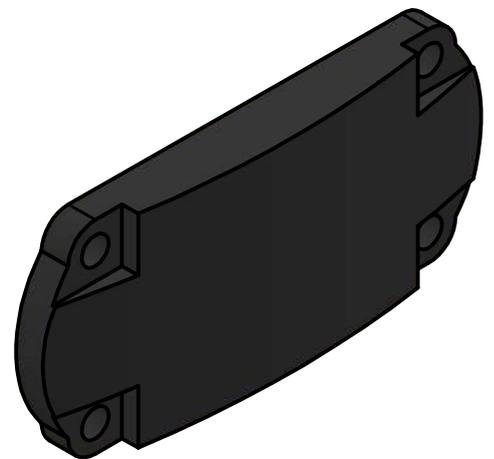
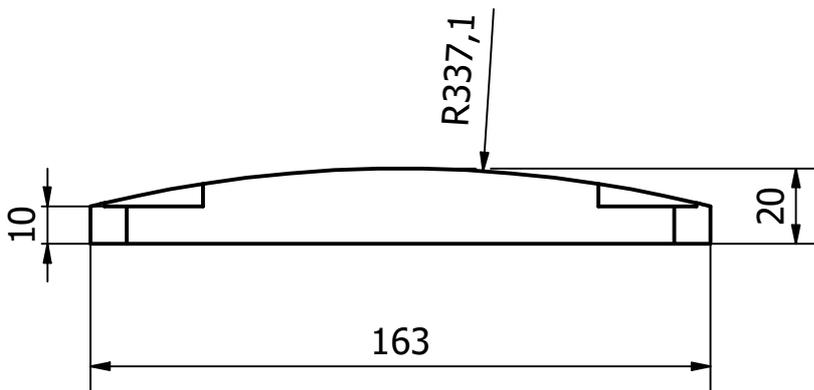
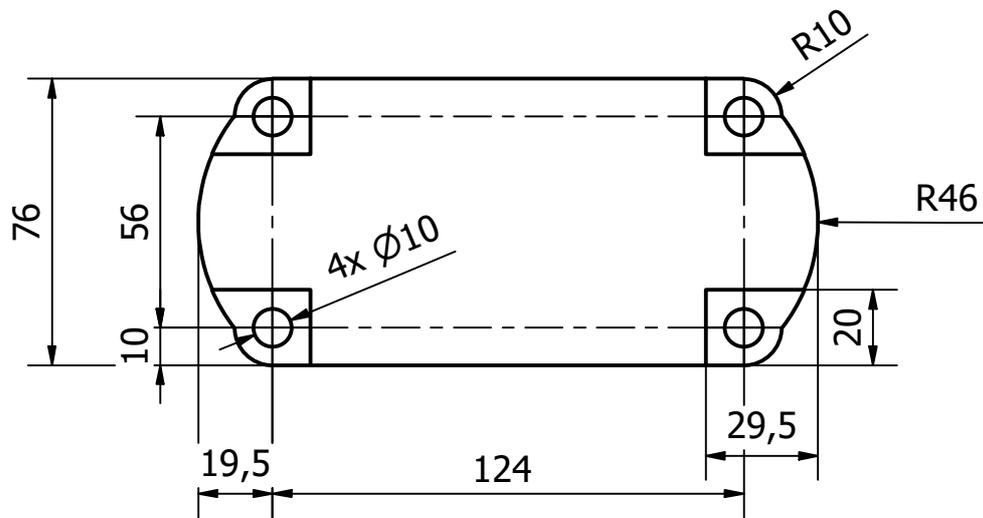
```

ANEXO IV
Planos

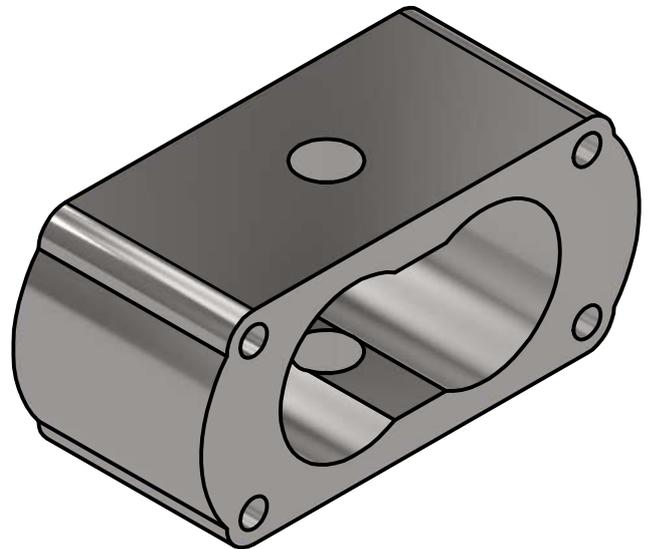
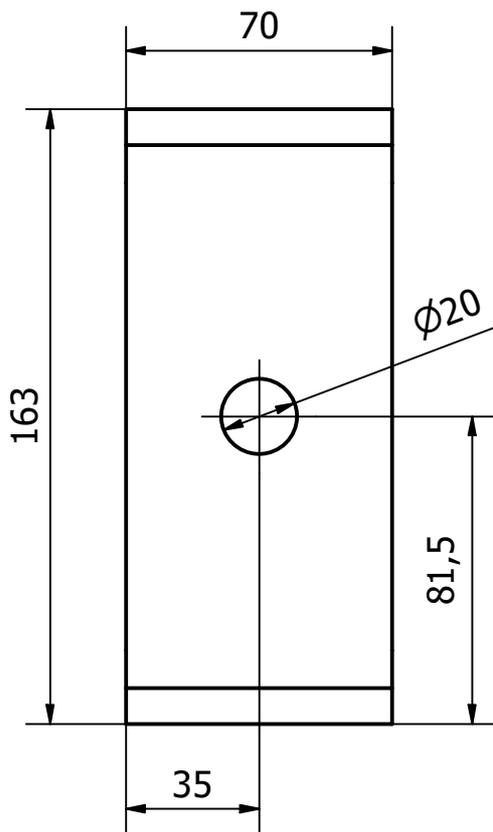
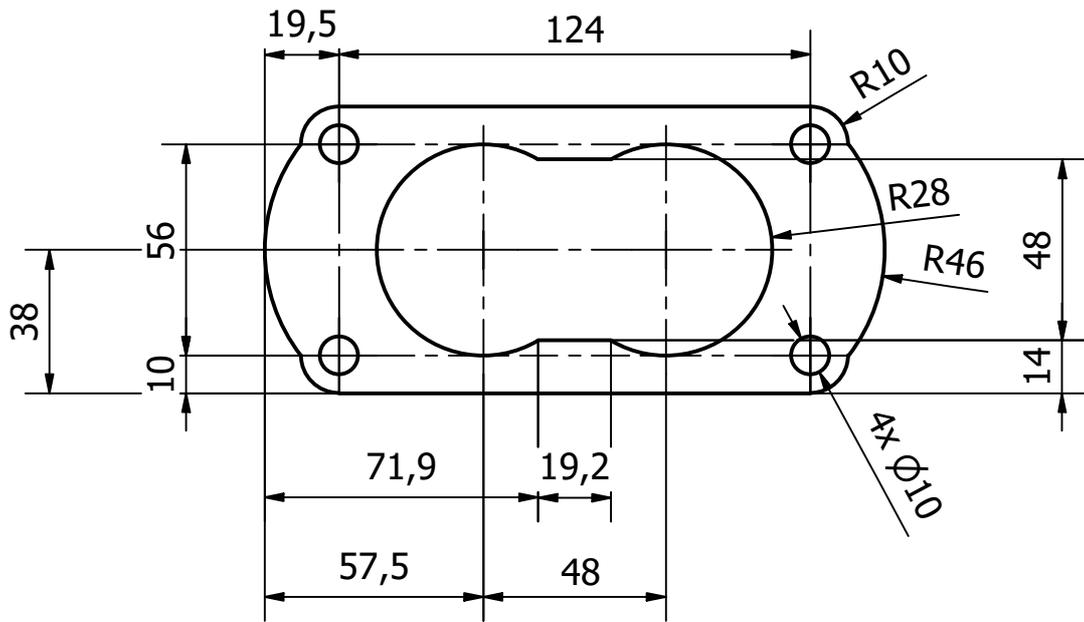


LISTA DE PIEZAS				
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
8	4	AS 1111 - M8 x 100	Tornillos y pernos ISO hexagonales métricos	Acero, suave
7	2	Engranaje		Acero inoxidable
6	1	Eje conducido		Acero
5	2	Placa de desgaste	Material menos duro que los engranes	Bronce
4	1	Eje motriz		Acero
3	1	Tapa inferior		Hierro fundido
2	1	Carcasa		Acero inoxidable
1	1	Tapa superior		Hierro fundido

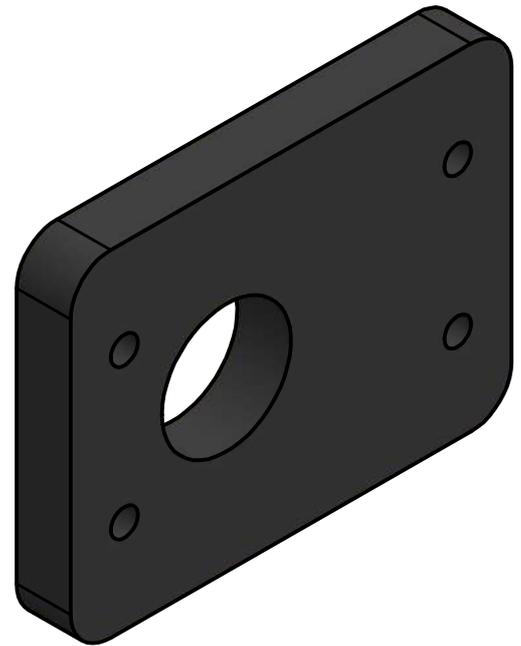
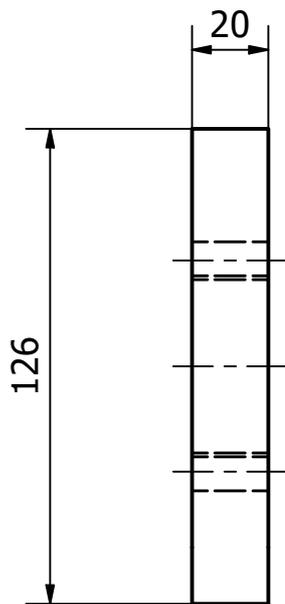
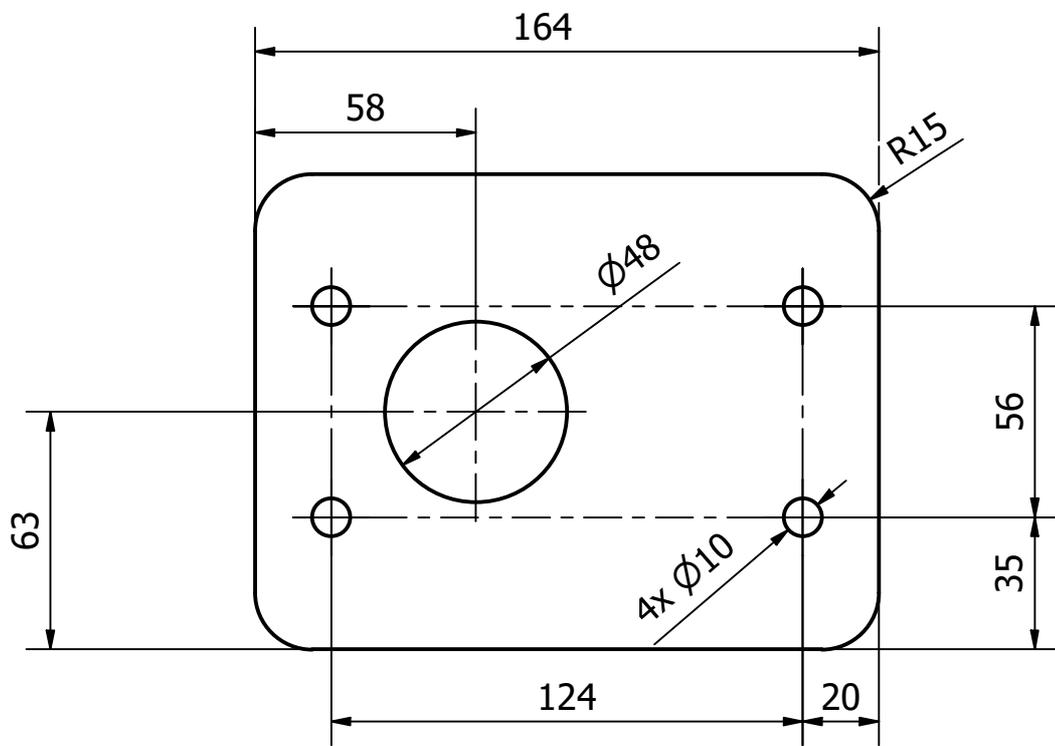
EPN	FAC. ING. MECÁNICA	DISEÑADO POR:	José Ayala	ESCALA: 1:2
		DIBUJADO POR:	José Ayala	
		REVISADO POR:	Ing. William Venegas	
Bomba de engranajes		BME.001		FECHA: 02/2024



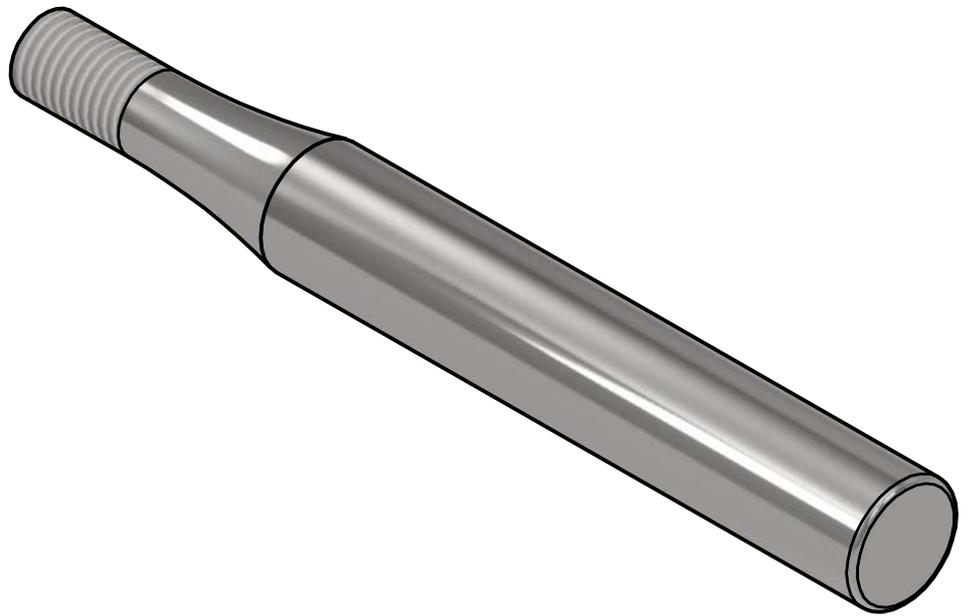
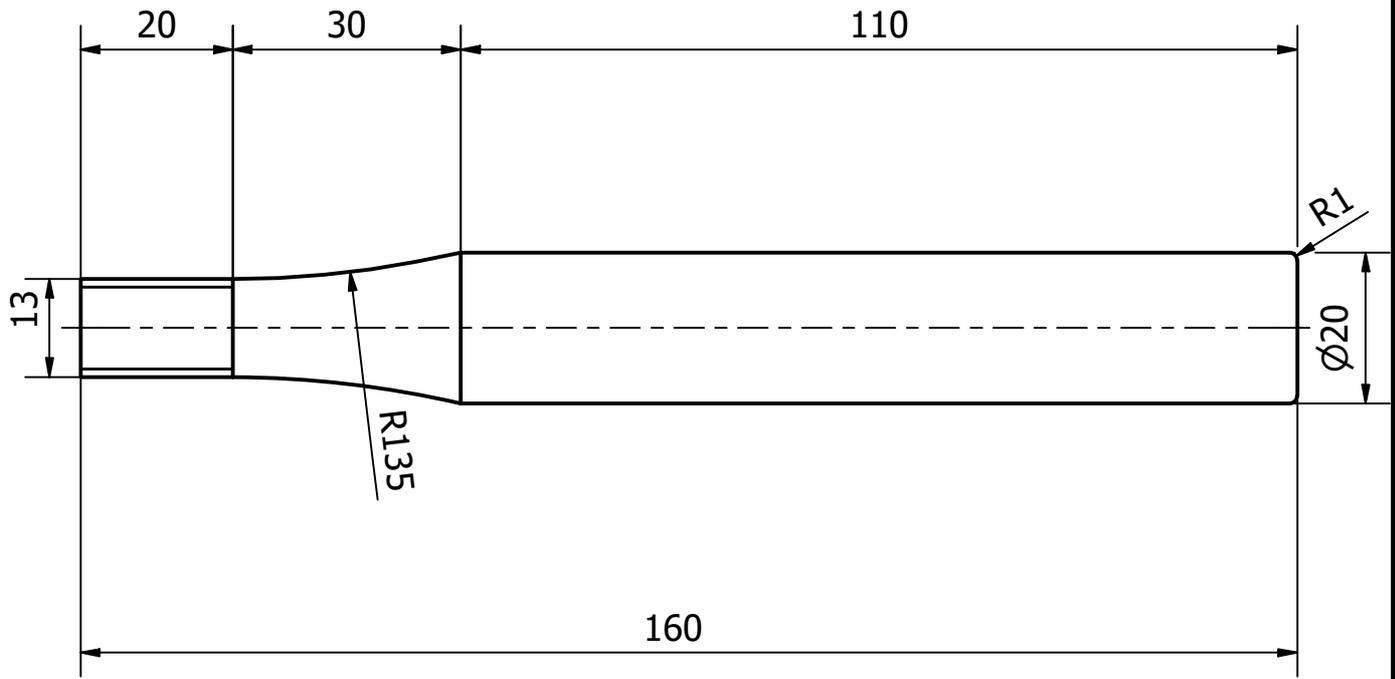
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	ORGANIZACIÓN:		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		FAC. ING. MECÁNICA		
MATERIAL:	Hierro fundido	TOL. GEN.:	ESCALA:	DISEÑADO POR:	José Ayala
		±0.4	1:2	DIBUJADO POR:	José Ayala
				REVISADO POR:	Ing. William Venegas
Tapa superior		BME.004			FECHA: 02/2024



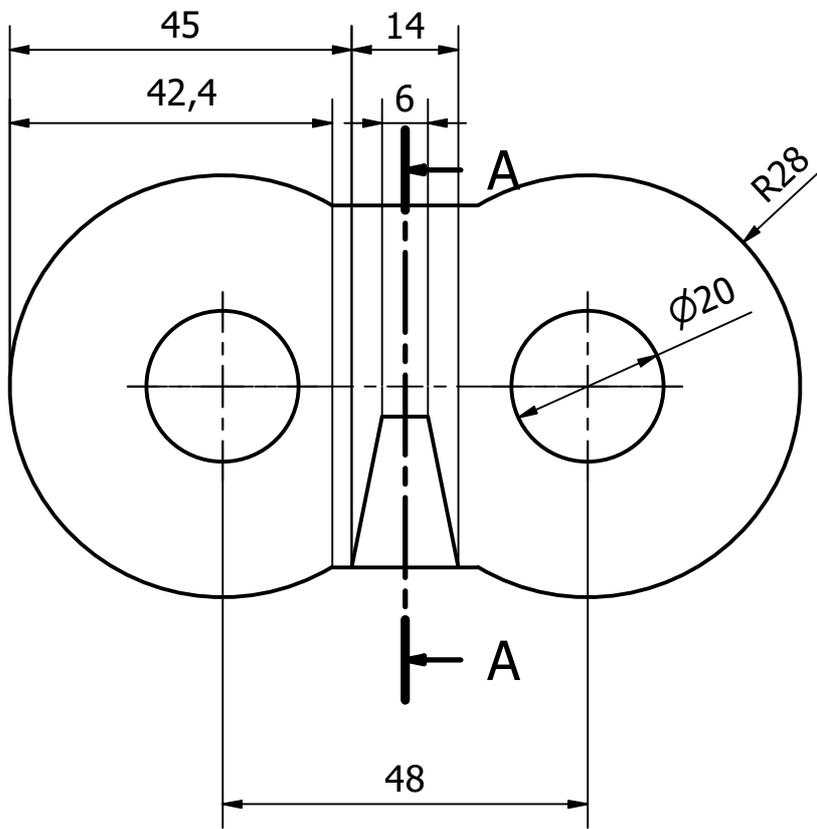
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	ORGANIZACIÓN:		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		FAC. ING. MECÁNICA		
MATERIAL:	Acero inoxidable	TOL. GEN.:	ESCALA:	DISEÑADO POR:	José Ayala
		±0.4	1:2	DIBUJADO POR:	José Ayala
				REVISADO POR:	Ing. William Venegas
Carcasa		BME.003			FECHA: 02/2024



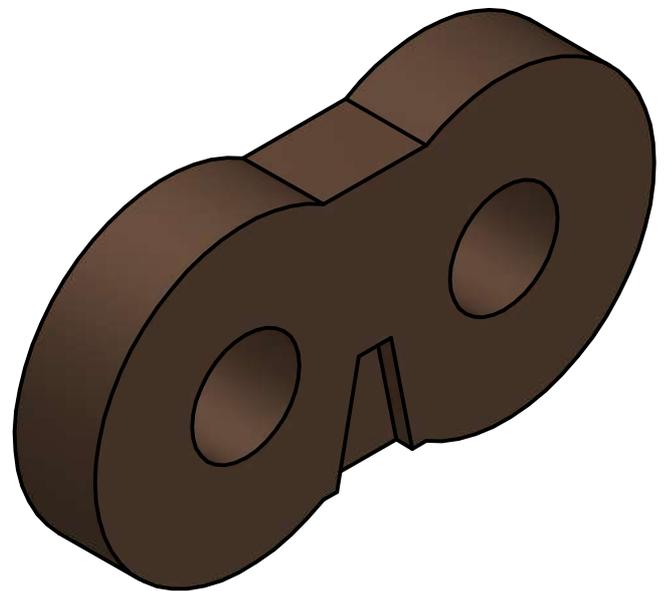
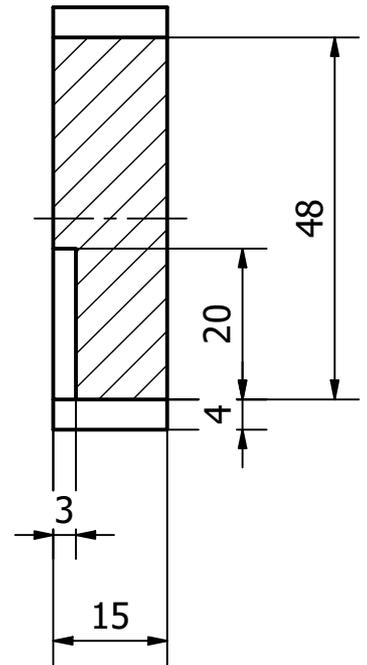
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	ORGANIZACIÓN:		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		FAC. ING. MECÁNICA		
MATERIAL:	Hierro fundido	TOL. GEN.:	ESCALA:	DISEÑADO POR:	José Ayala
		±0.4	1:2	DIBUJADO POR:	José Ayala
				REVISADO POR:	Ing. William Venegas
Tapa inferior		BME.002			FECHA: 02/2024



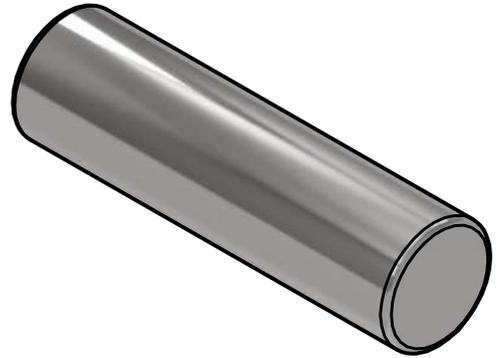
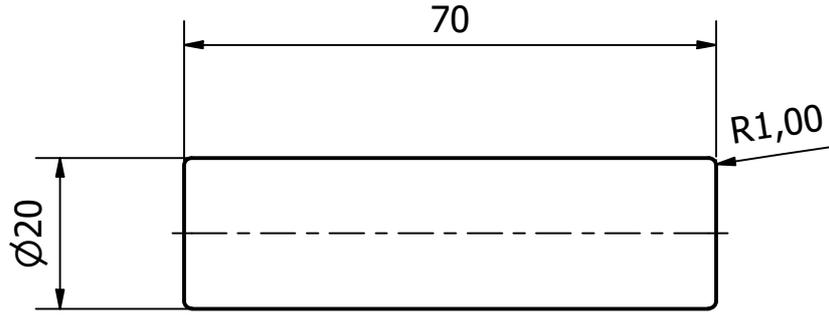
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	ORGANIZACIÓN:	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		FAC. ING. MECÁNICA	
MATERIAL:	TOL. GEN.:	ESCALA:	DISEÑADO POR:	José Ayala
Acero inoxidable	±0.4	1:1	DIBUJADO POR:	José Ayala
			REVISADO POR:	Ing. William Venegas
Eje motriz		BME.005		FECHA: 02/2024



A-A (1 : 1)



TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	ORGANIZACIÓN:	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		FAC. ING. MECÁNICA	
MATERIAL:	TOL. GEN.:	ESCALA:	DISEÑADO POR:	José Ayala
Bronce	±0.4	1:1	DIBUJADO POR:	José Ayala
			REVISADO POR:	Ing. William Venegas
Placa de desgaste		BME.006		FECHA: 02/2024



TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	ORGANIZACIÓN:	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		FAC. ING. MECÁNICA	
MATERIAL:	TOL. GEN.:	ESCALA:	DISEÑADO POR:	José Ayala
Acero inoxidable	±0.4	1:1	DIBUJADO POR:	José Ayala
			REVISADO POR:	Ing. William Venegas
Eje conducido		BME.007		FECHA: 02/2024

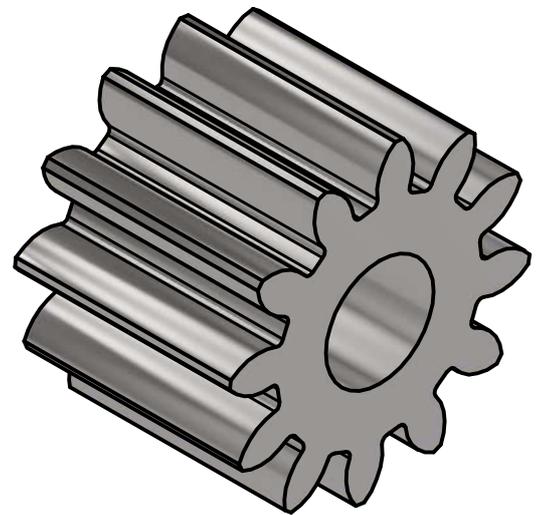
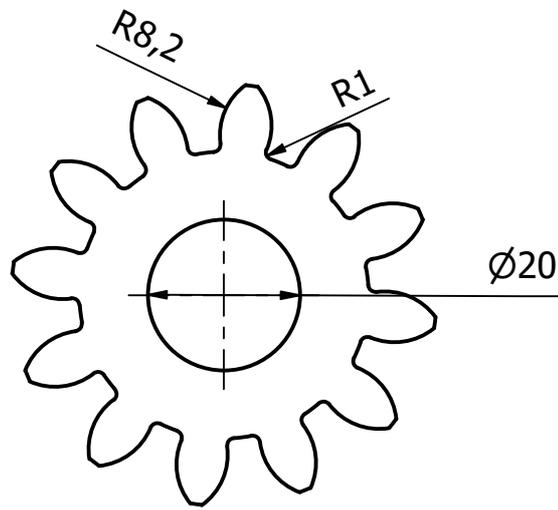


TABLA	
Parametro	Valores
Diametro primitivo	48
Diametro de cabeza	56
Diametro de pie	38
Número de dientes	12
Paso	12.57
Ángulo de perfil	20°

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	ORGANIZACIÓN:		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		FAC. ING. MECÁNICA		
MATERIAL:	Acero inoxidable	TOL. GEN.:	ESCALA:	DISEÑADO POR:	José Ayala
		±0.4	1:1	DIBUJADO POR:	José Ayala
				REVISADO POR:	Ing. William Venegas
Engranaje		BME.008			FECHA: 02/2024