

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

## **DISEÑO DE UNA VÁLVULA DE PINZAS**

**DISEÑO DE UNA VÁLVULA PARA APLICACIONES CLÍNICAS  
BASADA EN MULTI-CRITERIO DE INGENIERÍA CONCURRENTE**

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

**JORDY ANTHONY CRIOLLO QUIROZ**

**[jordy.criollo@epn.edu.ec](mailto:jordy.criollo@epn.edu.ec)**

**DIRECTOR: ING. WILLIAM RICARDO VENEGAS TORO. PhD**

**[william.venegas@epn.edu.ec](mailto:william.venegas@epn.edu.ec)**

**DMQ, Julio 2023**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, JORDY ANTHONY CRIOLLO QUIROZ 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.

**JORDY ANTHONY CRIOLLO QUIROZ**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JORDY ANTHONY CRIOLLO QUIROZ, bajo mi supervisión.

**ING. WILLIAM RICARDO VENEGAS TORO. PhD  
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.

JORDY ANTHONY CRIOLLO QUIROZ  
ING. WILLIAM RICARDO VENEGAS TORO. PhD

## DEDICATORIA

A Dios, a quien elevo mi gratitud por Su guía constante, por brindarme fortaleza en momentos difíciles y por concederme la oportunidad de perseguir mis metas académicas. Este logro es un regalo de Tu gracia, y reconozco Tu mano amorosa en cada paso de este viaje.

A mis queridos padres y hermanas, por ser mi fuente inagotable de apoyo y amor. Su constante aliento y sacrificio han sido la fuerza que me impulsó a superar cada desafío. Este logro también es suyo. A mi enamorada, mi fuente de inspiración y pilar de fortaleza. Tu amor ha sido un faro constante, guiándome a través de los desafíos y celebrando los triunfos a lo largo de estos últimos años de conocerte. Aprecio infinitamente tu paciencia, comprensión y el amor que compartimos. Cada obstáculo superado juntos ha fortalecido nuestro vínculo y ha enriquecido mi vida de maneras invaluable.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi distinguido tutor del trabajo Ing. William Venegas. PhD, agradezco sinceramente por su orientación experta y apoyo constante a lo largo de este proceso. A mis tutores y profesores, quienes han compartido su experiencia y sabiduría en cada etapa de mi formación académica. por sus enseñanzas que han ampliado mis conocimientos y enriquecido mi aprendizaje. Cada uno de ustedes ha dejado una marca significativa en mi trayectoria académica, y estoy agradecido por la dedicación que han mostrado hacia mi desarrollo académico y profesional.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	
CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN .....	XI
ABSTRACT .....	XII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....	13
1.1 Objetivo general .....	14
1.2 Objetivos específicos .....	14
1.3 Alcance.....	14
1.4 Estado del arte .....	15
Que es una válvula de pinzas o pellizco.....	15
Componentes .....	15
Principio de funcionamiento .....	15
Tipos de válvula de manguito.....	16
Tipos de accionamiento .....	17
Aplicaciones.....	18
2 METODOLOGÍA.....	24
2.1 Determinación de especificaciones técnicas.....	25
Consideraciones.....	25
Casa de la calidad .....	26
Conclusiones de la casa de la calidad .....	27
2.2 Análisis funcional.....	28
Estructura Modular .....	30
2.3 Soluciones módulos .....	31
Módulo 1: Paso o ingreso del flujo .....	31
Módulo 2: Montaje del sistema mecánico de estrangulación.....	33
Módulo 3: Control del flujo en el mecanismo de estrangulación.....	39
2.4 Alternativas de solución .....	42
Matriz morfológica .....	42
2.5 Estudio y elección de alternativas .....	46
Selección soluciones por criterios ponderados .....	46
3. CÁLCULOS .....	52
3.1 Experimentación.....	52
3.2 Determinación de carga para sellar la tubería flexible de silicona médica.....	56
Esfuerzo normal de contacto entre la tenaza y la tubería flexible de silicona. ....	59
3.3 Modelo geométrico 3D (manguera flexible y pinzas de tenazas) .....	60
Configuración del material.....	61

Mallado .....	63
Resultados de la simulación esfuerzo normal: .....	64
3.4 Cálculo estático estructural de la alternativa .....	66
Determinación del diámetro mínimo del perno o diámetro medio (dm) del perno para la carga aplicada.....	66
Tornillo para transmitir potencia- Análisis de esfuerzos .....	70
Análisis de esfuerzos normales en zona crítica de la sección T de brazo.....	76
Análisis del esfuerzo cortante máximo en los pasadores.....	78
4. DISEÑO DE DETALLE .....	80
4.1 Plano de conjunto.....	80
4.2 Plano de taller .....	80
5. PROTOTIPO.....	80
5.1 Metodología.....	80
5.2 Impresora 3D.....	80
Material .....	82
Software.....	82
5.3 Metodología para la impresión del prototipo .....	83
6 Presupuesto y análisis económico del prototipo.....	97
7 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
7.1 Resultados.....	100
7.2 Conclusiones .....	103
7.3 Recomendaciones .....	104
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
9 ANEXOS.....	106
9.1 ANEXO I.....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Vista lateral de válvula de pinzas y componentes.....	15
Figura 1.2 Principio de funcionamiento de una válvula de pinzas.....	16
Figura 1.3 Válvula de pinzas abierta / cerrada.....	16
Figura 1.4. Accionamiento neumático. ....	17
Figura 1.5 Accionamiento Manual. ....	17
Figura 1.6. Accionamiento eléctrico. ....	18
Figura 1.7. Accionamiento hidráulico. ....	18
Figura 1.8. Válvula de pinzas en procesos alimenticios. ....	19
Figura 1.9. Válvula de pinzas en la construcción.....	20
Figura 1.10. Dosificación de semillas y abono en la agricultura por válvulas de pinzas .....	21
Figura 1.11. Proceso farmacéutico con válvula de pinzas .....	22
Figura 1.12. Tratamiento de aguas residuales.....	22
Figura 1.13. Transporte de fibras de vidrio .....	23
Figura 1.14. Transporte al vacío.....	23
Figura 1.15. Procesos médicos .....	24
Figura 1.16. Pinch Valve de un solo uso.....	24
Figura 2.1. Etapas de Desarrollo y selección de alternativas.....	25
Figura 2.2 Nivel 0 función principal .....	29
Figura 2.3. Nivel 1: Módulos y Funciones Secundarias.....	30
Figura 2.4. Nivel 2: Detalles de Funciones Secundarias .....	30
Figura 2.5. Estructura Modular .....	31
Figura 2.6. Alternativa (B1) Modulo 1.....	31
Figura 2.7. Alternativa (B2) Tubería flexible.....	32
Figura 2.8. Alternativa (C1). Carcasa con pasadores.....	33
Figura 2.9. Alternativa (C2). Sujeción con elementos normalizados.....	34
Figura 2.10. Alternativa (C3). Bordes de sujeción .....	34
Figura 2.11. Alternativa (D1). Mordazas planas.....	35
Figura 2.12. Alternativa (D2) Mordazas redondeadas .....	36
Figura 2.13. Alternativa (E1). Volante fijo y husillo ascendente .....	36
Figura 2.14. Volante vista sección transversal.....	37
Figura 2.15. Alternativa (E2). Husillo y volante ascendente .....	37
Figura 2.16. Vista rótula de usillo ascendente .....	38
Figura 2.17. Alternativa (F1). Carril-viga intermedia .....	38
Figura 2.18. Alternativa (F2). Carril sección cuadrada .....	39
Figura 2.19. Solución (G2). Accionamiento neumático .....	40

Figura 2.20. Solución (G3). Accionamiento eléctrico.....	41
Figura 2.21. Solución (G4). Accionamiento Manual .....	41
Figura 2.22. Matriz morfológica .....	42
Figura 2.23. Color líneas alternativas.....	43
Figura 2.24. Alternativa A1 .....	43
Figura 2.25. Alternativa A2 .....	44
Figura 2.26. Alternativa A3 .....	44
Figura 2.27. Alternativa A4 .....	45
Figura 2.28. Alternativa A5 .....	45
Figura 2.29. Alternativa A6 .....	46
Figura 2.30. Alternativa A7 .....	46
Figura 3.1 Herramientas experimento deformación manguito .....	53
Figura 3.2. Peso de prensa manual tipo C.....	53
Figura 3.3. Montaje experimento.....	54
Figura 3.4. Montaje experimento peso 1 .....	54
Figura 3.5. Montaje experimento peso 2.....	55
Figura 3.6. Estrangulación de manguito flexible experimento.....	55
Figura 3.7. Representación de prensa manual.....	56
Figura 3.8. Diagrama centro de masa, peso 2 y pinza.....	57
Figura 3.10. Diagrama de carga en pinza.....	59
Figura 3.11 Diagrama de momento es pinza.....	59
Figura 3.12 Área de contacto pinza y manguito de goma .....	59
Figura 3.13. Área sección transversal manguito.....	60
Figura 3.14. Diseño del manguito de goma y las pinzas .....	61
Figura 3.15 Curva esfuerzo vs deformación material hiperelástico.....	63
Figura 3.16 Configuración parámetros material hiperelástico Ansys.....	63
Figura 3.17 Aspecto de radio mallado inferior a 5. ....	64
Figura 3.18. Mallado manguito de goma y pinzas .....	64
Figura 3.19. Deformación por esfuerzo normal manguito de goma Ansys. ....	65
Figura 3.20. Vista superior deformación por esfuerzo normal manguito de goma Ansys. ....	65
Figura 3.22 Diseño perno potencia según ASME B 1.1 .....	68
Figura 3.23. Tolerancias diámetros internos, externos pernos potencia según ASME B1.1 ....	68
Figura 3.24. Selección de diámetros internos, externo ASME B1.1.....	69
Figura 3.25. Consideración diámetro medio .....	69
Figura 3.26. Boceto ajuste entre diámetro externo e interno de perno y roca .....	70
Figura 3.27. Esfuerzos normales y cortantes en el extremo transversal raíz de la rosca .....	73
Figura 3.29. Esfuerzos de una rosca bajo carga de trabajo .....	74

Figura 3.30. Esfuerzos equivalentes de Von Mises en la sección crítica rosca.....	75
Figura 3.31. Longitud de perno análisis de pandeo.....	75
Figura 3.32. Sección T de la válvula evaluación de esfuerzos.....	76
Figura 3.33. Consideración de cargas puntuales en la sección T.....	77
Figura 3.34. Esfuerzos críticos en sección del punto A.....	77
Figura 3.36. Análisis de esfuerzo cortante en pasadores.....	79
Figura 5.1. Impresora 3D Creator 3 Pro.....	81
Figura 5.2. Especificaciones técnicas Impresora Creator 3 Pro.....	81
Figura 5.3. Propiedades filamento ASA.....	82
Figura 5.4. Software FlashPrint 5.....	83
Figura 5.5. Metodología impresión 3D.....	84
Figura 5.6. Configuración alta calidad archivo STL.....	85
Tabla 5.2. Codificación piezas de prototipo.....	86
Figura 5.7. Selección impresora software.....	88
Figura 5.8. Selección tamaño boquilla.....	88
Figura 5.9. Importar geometrías stl.....	89
Figura 5.10. Colocar autosportes estructura.....	89
Figura 5.11. Conf. Parámetros impresora.....	90
Figura 5.12. Configuración altura de capa.....	90
Figura 5.13. Configuración estructura modelo impresión.....	91
Figura 5.14. Configuración relleno impresión.....	91
Figura 5.15. Generación del código g y trayectoria visual del prototipo.....	92
Figura 5.16. Procedimiento de impresión.....	92
Tabla 5.4 Temperatura de mesa y boquilla.....	93
Tabla 5.6. Evaluación de piezas impresas.....	95
Figura 5.17. Pieza despegada de mesa impresora 3D.....	96
Figura 5.18. Pieza limpia de soportes y ensamblada.....	97
Figura 5.19. Detalles de superficie de volante y mordaza superior válvula.....	97
Tabla 6.5. Costo de pre y posproducción.....	99
Figura 7.1. Alternativas prioritarias módulo 1.....	101
Figura 7.2. Alternativas prioritarias módulo 2.....	101
Figura 7.3. Alternativas prioritarias módulo 3.....	102
Figura 9.1. Fotos funcionalidad prototipo alternativa A6.....	111
Figura 9.2. Fotos prototipo funcional Alternativa 5.....	112
Figura 9.3. Fotos prototipo funcional alternativa A2.....	112

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.2. Productos procesados por válvulas de pinzas. ....	19
Tabla 1.3 Manejo y capacidad de válvulas de pinzas en la construcción. ....	20
Tabla 2.1. Especificaciones técnicas .....	27
Tabla 2.2. Evaluación del peso específico de cada criterio .....	47
Tabla 2.3. Evaluación del peso específico del precio en el Módulo 1 .....	47
Tabla 2.4. Evaluación del peso específico de la Adaptabilidad en el Módulo 1 .....	48
Tabla 2.5. Evaluación del peso específico de la limpieza en el Módulo 1 .....	48
Tabla 2.6. Evaluación del peso específico de la precisión en el Módulo 1 .....	49
Tabla 2.7. Evaluación del peso específico del criterio accesible en el Módulo 1 .....	49
Tabla 2.8. Tabla de conclusiones Módulo 1 .....	49
Tabla 2.9. Evaluación del peso específico de cada criterio Módulo 2 .....	50
Tabla 2.10. Tabla de conclusiones Módulo 2 .....	51
Tabla 2.11. Evaluación del peso específico de cada criterio Módulo 3 .....	52
Tabla 2.12. Tabla de conclusiones Módulo 3 .....	52
Tabla 3.1. Centro de masa prensa manual. ....	57
Tabla 3.2. Diámetros en milímetros de perno y rosca potencia. ....	70
Tabla 5.1 Piezas prototipo .....	85
Tabla 5.3. Parámetros de configuración .....	88
Tabla 5.5. Procedimiento de impresión .....	93
Tabla 6.1. Costo por producción ingeniería, diseño CAD .....	97
Tabla 6.2. Tiempo de fabricación [h] y peso [kg] de cada pieza impresa .....	98
Tabla 6.3. Consumo de energía eléctrica durante la impresión .....	98
Tabla 6.4. Costo por uso impresora 3D .....	98
Tabla 6.6. Costo de material por la impresión prototipo .....	99
Tabla 6.7. Costo prototipo total .....	99
Tabla 7.1. Errores relativos valores esfuerzos teóricos vs simulados .....	102
Tabla 9.1. Evaluación del peso específico del precio en el Módulo 2 .....	107
Tabla 9.2. Evaluación del peso específico de la Adaptabilidad en el Módulo 2 .....	107
Tabla 9.3. Evaluación del peso específico de la Ensamblado en el Módulo 2 .....	107
Tabla 9.4. Evaluación del peso específico del ajuste en el Módulo 2 .....	108
Tabla 9.5. Evaluación del peso específico del criterio Robustez en el Módulo 2 .....	108
Tabla 9.6. Evaluación del peso específico del Precio en el Módulo 3 .....	108
Tabla 9.7. Evaluación del peso específico de la Precisión en el Módulo 3 .....	109
Tabla 9.8. Evaluación del peso específico de la Ajuste en el Módulo 3 .....	109
Tabla 9.9. Evaluación del peso específico de la Controlable en el Módulo 3 .....	110
Tabla 9.10. Evaluación del peso específico del criterio Complejidad en el Módulo 3 .....	110

## RESUMEN

Esta investigación se centra en implementar un análisis preliminar para diseñar y crear un prototipo de válvula de pinzas destinada a manejar fluidos biológicos sensibles, como la sangre y el aceite de canabidiol (CBD), utilizado comúnmente en el tratamiento de la epilepsia. Inicialmente, se realizó un estudio del estado actual del conocimiento para recopilar información clave que respalde el diseño, abordando principios de funcionamiento, entre otros.

En el segundo paso, se describió la metodología para determinar especificaciones técnicas mediante el análisis de la Casa de la Calidad (QFD). Se realizaron análisis funcional y estructural modular, generando soluciones para cada módulo y planificando alternativas de implementación. La elección de la mejor solución se basó en un estudio de criterios ponderado de elección de alternativas.

En el tercer paso, se llevaron a cabo cálculos y simulaciones de elementos finitos para establecer las especificaciones mínimas de las piezas de la alternativa seleccionada. Además, se realizó un estudio estático estructural para evaluar posibles fallos o rupturas en cada componente, teniendo en cuenta la sensibilidad de los fluidos tratados.

La fase final incluyó la elaboración detallada del diseño, que abarcó planos de conjuntos y talleres, junto con la construcción del prototipo mediante manufactura aditiva. Se proporciona una descripción de la metodología para obtener el prototipo, que incluye la configuración de la impresora 3D y el software. Este enfoque integral busca aportar significativamente al campo de estudio y desarrollo de dispositivos para el manejo de fluidos biológicos, especialmente aquellos de naturaleza sensible, mediante el control de las válvulas de pinzas.

**PALABRAS CLAVE:** Diseño estático estructural, prototipo, válvula de pinzas, fluidos biológicos, simulación elementos finitos, manufactura aditiva.

## ABSTRACT

This research focuses on implementing a preliminary analysis to design and create a prototype pinch valve for handling sensitive biological fluids, such as blood and cannabidiol (CBD) oil commonly used in epilepsy treatment. Initially, a study of the current state of knowledge was conducted to gather key information supporting the design, covering operational principles, among other aspects.

In the second step, the methodology to determine technical specifications through Quality Function Deployment (QFD) analysis was described. Functional and modular structural analyses were performed, generating solutions for each module and planning implementation alternatives. The choice of the best solution was based on a weighted criteria study for alternative selection.

In the third step, calculations and finite element simulations were conducted to establish minimum specifications for the parts of the selected alternative. Additionally, a static structural study was carried out to assess possible failures or ruptures in each component, considering the sensitivity of the treated fluids.

The final phase included detailed design development, encompassing assembly drawings and workshops, along with the construction of the prototype using additive manufacturing. A description of the methodology to obtain the prototype, including the 3D printer setup and software, is provided. This comprehensive approach aims to significantly contribute to the study and development of devices for handling biological fluids, especially those of a sensitive nature, through the control of pinch valves.

**KEYWORDS:** Static structural design, prototype, pinch valve, biological fluids, finite element simulation, additive manufacturing.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Este estudio tiene como objetivo desarrollar un diseño preliminar de una válvula de pinzas, un componente versátil con diversas aplicaciones en distintas industrias, destacando su utilidad en procesos médicos. La primera fase del proyecto implica un exhaustivo estudio y recopilación de información relacionada con las válvulas de pinzas, abarcando sus componentes, principios de funcionamiento, ventajas y aplicaciones industriales. La meta es obtener una comprensión global de las capacidades de estas válvulas, especialmente en los procesos médicos, anticipando posibles áreas de utilidad e interés futuro.

En la segunda fase, se planifica el desarrollo y la selección de alternativas de diseño, utilizando criterios de evaluación para valorar y ponderar cada opción. El enfoque se centra en diseñar una válvula de pinzas que se ajuste a las expectativas de uso, aplicaciones y prioridades específicas del ámbito médico. La elección del diseño óptimo se determina mediante una cuidadosa evaluación y ponderación de las alternativas, asegurando que se adapte de manera precisa a las necesidades identificadas.

En la fase de cálculos y simulaciones de elementos finitos, se llevó a cabo un análisis considerando el uso de materiales hiperelásticos, simulando el comportamiento de materiales flexibles como la tubería flexible de silicona médica o los manguitos NBR médicos. El objetivo principal fue determinar la carga necesaria para la deformación y compararla con los cálculos obtenidos a través de la experimentación. Este enfoque permitió establecer los requisitos mínimos de las piezas de la alternativa seleccionada, considerando las características específicas de materiales utilizados en entornos médicos.

Además de los cálculos, se llevó a cabo un análisis estructural estático para evaluar posibles fallos o rupturas en cada componente. Este paso se considera crucial para garantizar la durabilidad y eficiencia del diseño en situaciones del mundo real, donde las condiciones pueden ser variables y exigentes.

La fase conclusiva abarcó la creación detallada del diseño, incluyendo la elaboración de planos de conjuntos y talleres, junto con la construcción del prototipo mediante manufactura aditiva (AM). Se proporciona una descripción minuciosa de la metodología empleada para obtener el prototipo, que abarca desde la configuración de la impresora 3D hasta la selección del software. Este enfoque integral se propone contribuir significativamente al campo de estudio y desarrollo de dispositivos destinados al manejo de fluidos biológicos, especialmente aquellos de naturaleza sensible, al facilitar el control efectivo mediante el uso de las válvulas de pinzas.

## **1.1 Objetivo general**

Diseñar una válvula para aplicaciones clínicas basadas en multicriterio de ingeniería concurrente.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Levantar un estudio del estado del arte referente a Pinch Valve de un solo uso y sus aplicaciones.
2. Definir los requerimientos de válvulas de pinzas aplicando el despliegue de la función de calidad.
3. Analizar y seleccionar alternativas de válvulas de pinza de un solo uso para aplicaciones clínicas.
4. Realizar un análisis funcional y modular basado en ingeniería inversa de patentes y fabricantes técnicos.
5. Realizar un diseño conceptual en 3D sin dimensiones establecidas.
6. Elaborar modelos 3D y construir un prototipo funcional en impresión 3D con los parámetros calculados.
7. Desarrollar la ingeniería de detalle, en planos de ensamble, conjunto, despiece y taller de la válvula de pinza.
8. Presupuesto y Análisis económico del prototipo.

## **1.3 Alcance**

El objetivo de este trabajo es el diseño de un elemento de control y regulación en el manejo de fluidos biológicos del área médica. En principio debe cumplir con los siguientes factores importantes:

**Funcionalidad:** La válvula de pinzas debe diseñarse para proporcionar un control preciso del flujo, permitiendo la apertura, cierre rápido y confiable en el control del medio.

**Materiales:** En cuanto a los materiales de la manufactura de la válvula deben ser compatibles con las sustancias o fluidos biológicos, con el objetivo de eludir una posible mezcla entre la sustancia contaminante y el medio controlado.

**Cumplimiento normativo:** El diseño de la válvula de pinzas debe cumplir con las regulaciones y normativas aplicables al área médica.

**Eficiencia:** El diseño de la válvula debe acoplarse a estándares y expectativas de trabajo como puede ser tiempo de montaje, precisión, bajo mantenimiento, bajo precio, adaptable a cualquier circunstancia o variaciones de su entorno.

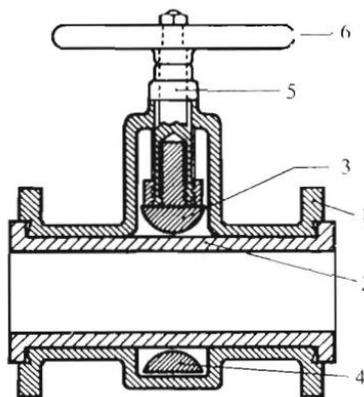
## 1.4 Estado del arte

### Que es una válvula de pinzas o pellizco

La válvula de pinzas es un elemento de control de accionamiento lineal que es usado para estrangular, detener o inicial el paso de un flujo, esta válvula opera en la acción de compresión de un manguito de goma en el interior de esta, el maguito interior es de goma flexible aísla el medio de modo que reduce el peligro de contaminación, usada en líneas estériles y en situaciones donde la pureza del producto es de alta prioridad, así mismo al ser un componente que ofrece aislamiento con partes móviles de la válvula por lo cual es eficaz para el control de líquidos, sólidos y lodos ya sean abrasivos, corrosivos y fibrosos como arena, cemento, grava, fibra textil, astillas, fragmentos de vidrio, pellets.

### Componentes

La válvula de pinza está compuesta los siguientes elementos principales, cómo se puede ver en la siguiente figura.



**Figura 1.1** Vista lateral de válvula de pinzas y componentes.

Fuente: [1] (Sivaranjith, 2018)

Componentes principales:

1. Cuerpo
2. Manguito de goma
3. Barra de sujeción superior
4. Barra de sujeción inferior
5. Husillo
6. Volante

### Principio de funcionamiento

El Funcionamiento de la válvula de pinzas es muy sencillo básicamente al ejercer fuerza sobre el manguito de goma, este se comprime de modo que se controla el paso del flujo, a diferencia de las válvulas de compuerta o de bola parte del flujo puede quedar atrapado alrededor de la bola o los discos respectivamente, aquí el mango de goma captura partículas a su alrededor lo

que resulta excelente cierre.

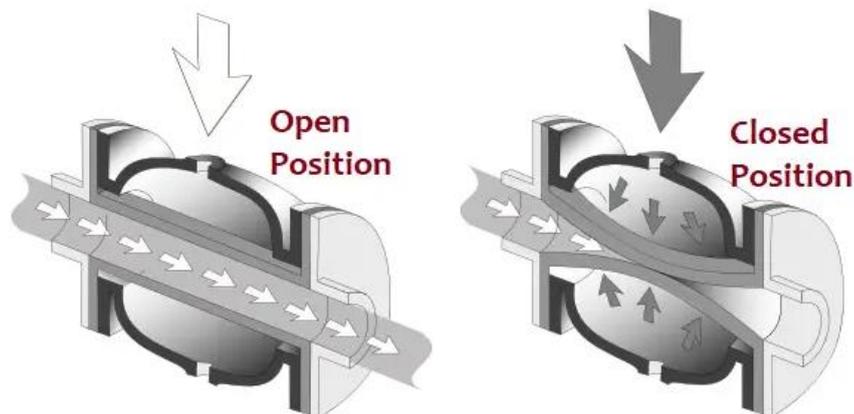


**Figura 1.2** Principio de funcionamiento de una válvula de pinzas.

Fuente: [2] (FONTANERIAcaceres.es video, 2017)

Al dejar de ejercer la fuerza de accionamiento lineal, las propiedades elásticas de rebote del manguito de goma, combinada con la fuerza del flujo abren la válvula completamente.

El manguito de goma absorbe el impacto del medio que fluye y lo desvía hacia atrás cuando lo golpea. Esta característica robusta permite que la funda de goma se desgaste a un ritmo algo más lento que las superficies metálicas, lo que conviene en una mayor vida útil de este elemento.



**Figura 1.3** Válvula de pinzas abierta / cerrada

Fuente: [3] (Anup Kumar Dey, 2017)

### **Tipos de válvula de manguito**

Se tiene tres tipos de válvulas las cuales son de pinzas normalmente abierta (NO), normalmente cerradas (NC) y válvulas de pellizco de cambio (CO).

Válvula de pinzas normalmente abierta (NO): Esta válvula se encuentra en estado abierto, el cual tiene habilitado el paso de flujo del medio, para cambiar el estado de la válvula a cerrada se debe accionar una fuerza capaz de estrangular el manguito de goma flexible siendo esta mayor a la fuerza de funcionamiento o presión del fluido cortando el paso del flujo a través de esta.

Válvula de pinzas normalmente cerrada (NC): Esta válvula se encuentra cerrada por el elemento de resorte estrangulando el manguito de flexible, a medida que él se genera un alivio de la carga se empieza a abrir dejando el paso del flujo.

Válvula de pinzas de cambio (CO): Incorpora funcionamiento de doble canal, esto quiere decir que en la mitad este hecho NO y la otra NC.

### **Tipos de accionamiento**

*Neumático:* Este tipo de accionamiento este compuesto por un pistón neumático, un compresor de aire, y un sistema de válvulas electroneumáticas las cuales al recibir el mando accionan el paso de aire comprimido a las cámaras del pistón de dos vías permitiendo un movimiento lineal de actuador hacia abajo presionando o comprimiendo el manguito de goma de la válvula de pinzas.



**Figura 1.4.** Accionamiento neumático.

Fuente: [4] (Rfvalve, 2019)

*Manual-mecánico:* Este tipo de accionamiento está compuesto básicamente de un mecanismo de tornillo sin fin, más una rueda dentada en el eje vertical en el que se comprime el manguito de goma.



**Figura 1.5** Accionamiento Manual.

Fuente: [4] (Rfvalve, 2019)

*Eléctrico:* El accionamiento eléctrico este compuesto de un motor eléctrico y un motor reductor el cual permite un desplazamiento lineal de la barra superior que comprime el manguito de goma.



**Figura 1.6.** Accionamiento eléctrico.

Fuente: [4] (Rfvalve, 2019)

*Hidráulico:* Este accionamiento de tipo hidráulico este accionado por un pistón y una bomba de aceite hidráulico, ejerciendo mayor fuerza de aplastamiento o compresión contra el manguito de goma y por consecuencia mayor control de sustancias a mayor presión de funcionamiento.



**Figura 1.7.** Accionamiento hidráulico.

Fuente: [4] (Rfvalve, 2019)

## Aplicaciones

### *Industria Alimenticia*

Por la naturaleza de la aplicación en alimentos es indispensable la limpieza y la higiene siendo una de las mayores preocupaciones en el procesamiento de alimentos, de modo que el diseño requiere de materiales aprobados por la FDA como cauchos naturales, nitrilo, también el cuerpo

de la válvula debe ser de acero austeníticos como el 304 sobre todo con diseños que sean fáciles de limpiar, además de un mantenimiento muy básico y bajo en fin todas estas cualidades son ideales para el transporte, estrangulación, dosificación de alimentos o líquidos en presentaciones como polvos, verduras, nueces, pastas, líquidos, jarabes



**Figura 1.8.** Válvula de pinzas en procesos alimenticios.

Fuente: [5] (AKO, 2023)

Dentro de la industria alimenticia se puede encontrar un sin número de productos los cuales han sido procesados con la válvula de pinzas, ya que acelera el proceso de envasado, dosificado y ahorra tiempo en sus tiempos de apertura y cierres rápidos como en el llenado de barriles, botes, botellas y latas. Incluso trata con medios más abrasivos como azúcar, sustancias alimenticias a base de aceite.

**Tabla 1.1.** Productos procesados por válvulas de pinzas.

<b>Productos procesados con válvulas de pinzas</b>	
Café	Yogur
Azúcar	Quesos en forma procesada y blanda
Sal	Helados
Harina	Postres aireados
Grasas	Margarina y otros productos para untar
Almidones	Carne
Espicias, condimentos, salsas	Patatas fritas
Arroz	Salsas y geles para alimentos para mascotas
Granos, nueces y semillas	Leche de vaca, leche condensada, fórmula para bebés, etc.
Mezcla para pasteles e ingredientes para hornear	Vino
Frutas y verduras	Cerveza, Cerveza
Jarabes	Bebidas gaseosas
Estabilizantes y emulsionantes	Chocolate
Confitería	Refrescos, Zumos, Batidos
Mezclas de masa y recubrimiento	Licores
Gelatina	Agua potable

Colza	Papilla
Aceites	Avena
Cereal	

Fuente: [6] (Flix Instrumentación, 2023)

### Construcción

En este campo la cantidad de materiales abrasivos como arena, grava, vidrio, calcio, carbonato, cemento y concreto no permiten el uso de válvulas comunes como de compuesta o de bolas ya pueden sufrir desgastes prematuros y obstrucción o bloqueo con estos medios lo cual no es una función agradable ni bienvenidas para las industrias ni plantas de procesos de construcción o minas.



**Figura 1.9.** Válvula de pinzas en la construcción.

Fuente: [7] (AKO, 2024)

De modo que las válvulas de pinzas son la mejor opción de muchos proyectos de ingeniería para el control de estos medios, brindando confiabilidad y resistencia a la abrasión para suspensión y el transporte de materiales de construcción a granel además tiene la ventaja ante cualquier otra válvula de que no tiene puntos muertos y con una función de autolimpieza.

**Tabla 1.2** Manejo y capacidad de válvulas de pinzas en la construcción.

Materiales de construcción procesados por válvula de pinzas	
Agregados grava piedra	Cal hidratada
Hormigón cemento	Material de desecho
Lodos abrasivos	Minerales
Arena, barro	Arcilla, mortero seco

Fuente: [8] (EQUIPO DE INGENIEROS FUVALVE, 2020)

## *Agricultura*

En el campo de la agricultura las válvulas de pinzas están siendo usadas en procesos de siembra eficiente con precisión para el esparcimiento de fertilizantes y semillas, calculando y dispersando la cantidad optima, con la finalidad de que el suelo se sobrefertilice, como ya se ha dicho anteriormente esta válvula es la solución perfecto para el cierre con material a granel alimentada por gravedad, también hacen una combinación eficiente con silos y tolvas para almacenamiento y vaciado de granos como maíz, trigo, lodos y alimentos para animales. También el manguito de goma flexible puede soportar el manejo de medios agresivos, químicos y ácidos. Fuente: (AKO, 2024)



**Figura 1.10.** Dosificación de semillas y abono en la agricultura por válvulas de pinzas

Fuente: (AKO, 2024)

## *Farmacéutica*

Debido a su cualidad asépticas, y estériles son usadas en la industria farmacéutica y el sector de sanidad siendo compatibles con esterilizaciones in situ o sin necesidad de desmontar previamente, esto quiere decir que son fáciles de limpiar esterilizar y desinfectar.



**Figura 1.11.** Proceso farmacéutico con válvula de pinzas

Fuente: (AKO, 2024)

### *Tratamiento de agua residuales*

En este ámbito las válvulas de manguito son usadas con mayor frecuencia para la protección de bombas de cavidad progresiva, para ser más concretos se la usa como válvula de alivio, esta se encuentra normalmente cerrada y solo se abre cuando la bomba este sobre presurizada, es decir cuando existe un bloqueo aguas abajo y la presión de la bomba aumenta la válvula se abre entonces el medio como lodos de aguas residuales es empujada aliviando la presión de la bomba, una vez que es eliminando el bloqueo la presión de la línea es reanudada y el sistema sigue su trabajo normal con la válvula cerrada de nuevo a su presión establecida. Fuente: (AKO, 2024)



**Figura 1.12.** Tratamiento de aguas residuales

Fuente: (AKO, 2023)

### *Procesamiento de fibra de vidrio*

En esta industria el uso de componentes abrasivos y elementos con bordes afilados son muy

comunes de modo que los componentes que los transportan deben ser muy resistentes especialmente las válvulas que juegan un papel importante en el control y dosificación de estos materiales.

Es aquí en donde se utiliza los manguitos de goma los cuales están diseñados para trabajar en estos ambientes además de su capacidad de cerrarse y abrirse con tiempos de apagado súper rápidos y siendo una premisa importante que no tienen problemas de obstrucción o bloqueo por el medio que transportan siendo autolimpiadle. Fuente: (AKO, 2024)



**Figura 1.13.** Transporte de fibras de vidrio

Fuente: (AKO, 2024)

#### *Transporte al vacío*

La bomba del vacío genera una succión en una tubería generando el transporte por arrastre, una vez que se haya retirado el vacío las válvulas de pinzas son usadas al final del proceso para vaciado llenado de bolsas o contenedores del producto. Para usar las válvulas en el transporte por vacío de  $-0.1 \text{ bar}$  esta debe estar complementada con una unidad de control y contrarreste el vacío en la tubería. Fuente: (AKO, 2024)



**Figura 1.14.** Transporte al vacío

Fuente: (AKO, 2024)

#### *Cirugía y procedimientos médicos*

Las "pinch valves" también se utilizan en algún proceso de cirugía y otros procedimientos médicos. Pueden emplearse para controlar el flujo de gases o sustancias líquidas durante operaciones o procedimientos invasivos, como cirugía laparoscópica, endoscopia, cateterización y otros procedimientos intervencionistas.

Hay empresa que producen bolsas de colostomía empezó el uso de válvula de pinzas en su entorno médico, las bolsas recogen los desechos que pasan por el cuerpo humano y está unida al extremo del intestino grueso durante la cirugía



**Figura 1.15.** Procesos médicos

Fuente: (AKO, 2024)

En cuanto a los avances recientes en el campo de las "pinch valves" de uso médico, es posible que se hayan realizado investigaciones y desarrollos para mejorar su precisión, durabilidad, facilidad de uso y seguridad. Además, es posible que se estén explorando nuevos materiales y métodos de fabricación para optimizar el rendimiento de estas válvulas en aplicaciones médicas.

Equipos médicos: Las "pinch valves" se utilizan en equipos médicos para controlar el flujo de gases o sustancias líquidas. Por ejemplo, pueden encontrarse en dispositivos de infusión, sistemas de administración de medicamentos, equipos de diálisis, sistemas de ventilación, sistemas de drenaje y otros equipos de fluidoterapia.



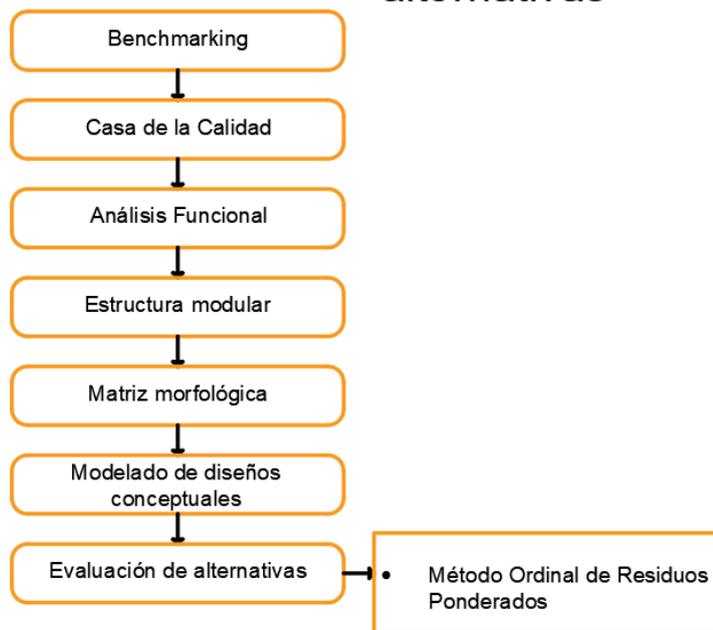
**Figura 1.16.** Pinch Valve de un solo uso

Fuente: [9] (Avantor Fluid Handling, 2024)

## 2 METODOLOGÍA

La metodología actual se enfoca en la creación y elección de opciones de diseño para una válvula de pinza, detallando su mecanismo de activación mediante la exposición de una serie de pasos y herramientas empleadas para alcanzar los objetivos establecidos.

## Etapas de desarrollo y selección de alternativas



**Figura 2.1.** Etapas de Desarrollo y selección de alternativas

Fuente: (Propia)

## 2.1 Determinación de especificaciones técnicas

### Consideraciones

La identificación de las especificaciones técnicas para el diseño de una válvula de pinzas se realizará a través de la investigación de modelos existentes. Se incorporarán criterios y recomendaciones obtenidos de modelos en la industria de válvulas y normativas internacionales en el diseño de sistemas de control de fluidos. Es esencial destacar que, en el proceso de diseño, se parte del supuesto de que ya existe un diseño previo de la pinch valve. No obstante, es posible que este diseño previo no haya detallado su aplicación específica en todos los contextos de uso.

En consecuencia, dentro de la categoría de "diseño propio" según la metodología de la casa de la calidad, conforme a la propuesta de (Riba en 2002), el diseño de la pinch valve se ajustará a los criterios y requisitos expresados por los usuarios y expertos en la materia. Esto garantizará

que la válvula cumpla con los estándares de calidad y rendimiento necesarios en diversas aplicaciones industriales y comerciales.

## **Casa de la calidad**

Dentro del proceso de desarrollo de la función de calidad QFD (Despliegue de la Función de Calidad), la casa de la calidad emerge como una valiosa herramienta que nos ayuda a planificar el diseño del producto de una manera colaborativa. En este enfoque, se involucran las partes interesadas, que incluyen la voz de los usuarios, en este caso, profesionales en el campo médico, junto con la voz del ingeniero que desempeña un papel crucial al traducir las necesidades, sugerencias y deseos recopilados en especificaciones técnicas. [10] (Carles Riba Romeva, 2002)

Especificaciones: Una vez conocido el contexto de funcionamiento de una válvula de pinzas, y sus diversas funciones y aplicaciones se enlistan las consideraciones que deben tomar en cuenta, dichas consideraciones las aportan usuarios de la válvula y diseñador.

### Voz del usuario

- Que se limpie solo
- Que sea sencillo de usar
- Que controle el paso de flujo
- Que no esté en contacto con el fluido
- Que sea apto para el campo médico

### Voz del ingeniero

- Autolimpiables
- Complejidad
- Regulación eficiente del flujo
- Aislamiento del sistema de control
- Estándares de seguridad ante la contaminación del medio

### Casa de la calidad

Se incluye como figura en Anexos 1

## Conclusiones de la casa de la calidad

La evolución de la casa de la calidad ha representado un paso crucial para adquirir información esencial que orientará el diseño conceptual de la pinch valve. Mediante este procedimiento, hemos obtenido datos significativos y consideraciones fundamentales que nos posibilitarán establecer las especificaciones técnicas que el diseño ha de cumplir para satisfacer las necesidades de los usuarios y asegurar su rendimiento eficaz.

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas que deben ser cumplidas por el diseño conceptual de una pinch valve:

*Autolimpiable:* La válvula debe tener un diseño interior que minimice la acumulación de residuos. Esto puede incluir superficies lisas y pulidas que eviten la adhesión de partículas o la formación de depósitos y sedimentos.

*Complejidad:* En cuanto se refiere a la complejidad de la pieza esta debe considerar los siguientes elementos: ensamblaje o montaje sencillo, aplicación mantenimiento básico, pocas piezas móviles, fijación sencilla de piezas de la válvula.

*Regulación precisa de flujo:* Es necesario que la válvula tenga en cuenta las siguientes consideraciones: un rango de regulación, actuación rápida, control preciso, baja caída de presión.

*Aislamiento del medio controlado:* Como principal característica de esta especificación técnica es que la válvula tenga una separación física de su sistema de control del flujo o mecanismo de actuación u otras partes de la válvula, con la finalidad de minimizar la contaminación.

*Cumplimiento de estándares médicos:* Es primordial que las partes que se encuentre en contacto con el fluido estén fabricadas de un material bajo normas médicas, superficies autolimpiables y fácil desmontaje.

Especificaciones técnicas

**Tabla 2.1.** Especificaciones técnicas

<b>Empresa Cliente:</b> N/A	<b>Producto:</b> Válvula de pinzas	Fecha Inicial: 02/09/2023
<b>Diseñadores:</b> • Jordy Criollo		Última revisión: 02/09/2023
		Página 1
<b>Especificaciones</b>		

Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	02/09/2023	C	R	Accionamiento y montaje rápido de la válvula para el control preciso del fluido.
		C	R	Válvula de control de fluidos biológicos que mantenga un margen de presión en el fluido biológico ya que pueden degradarse al estar sometidas a ciertas presiones.
		C	R	Mínimo riesgo biológico y contaminación entre el fluido y la válvula
Movimientos	02/09/2023	D	R	Estructura articulada para fácil instalación
Fuerzas	02/09/2023	D	R	Carga justa aplicada al manguito de goma para una su regulación del paso del flujo de 0 a 100% de su capacidad.
Mantenimiento	02/09/2023	D	D	Complejidad sencilla para el fácil montaje, pocas piezas y mantenimiento de sus partes.

Fuente: (Propia)

## 2.2 Análisis funcional

Este análisis es un medio esencial en el diseño de productos y sistemas, ya que ayuda a definir claramente las funciones primarias y secundarias del resultado final o producto. Esto es fundamental para comprender cómo un producto debe desempeñar su tarea principal y cómo las funciones secundarias contribuyen a lograr ese propósito principal. Aquí, aplicaremos el análisis funcional a una válvula de pinzas:

### Nivel 0: Función Primaria o Global

- **Función Principal:** La función primaria de una válvula de pinzas es regular el flujo de medio a través de un conducto o tubo de goma flexible controlando el flujo de manera efectiva, permitiendo su apertura y cierre según sea necesario.



**Figura 2.2** Nivel 0 función principal

Fuente: (Propia)

### Nivel 1: Módulos y Funciones Secundarias

- **Función de Control:** se encarga de las funciones secundarias relacionadas con el control de la válvula. Incluye:
  - **Actuación:** la válvula debe tener un mecanismo de actuación (manual, neumático, eléctrico, mecánico) para abrir y cerrar.
  - **Dosificación de flujo:** Se refiere a la capacidad de regular el flujo dentro en un rango apertura o paso.

### Nivel 2: Detalles de Funciones Secundarias dentro de los Módulos

Módulo de montaje:

- **Instalación y ensamblaje:** mecanismo articulado por pasadores, y elementos de sujeción para fijar la válvula en el lugar deseado de la tubería flexible.

- Bordes de sujeción: minimiza la complejidad de montaje.

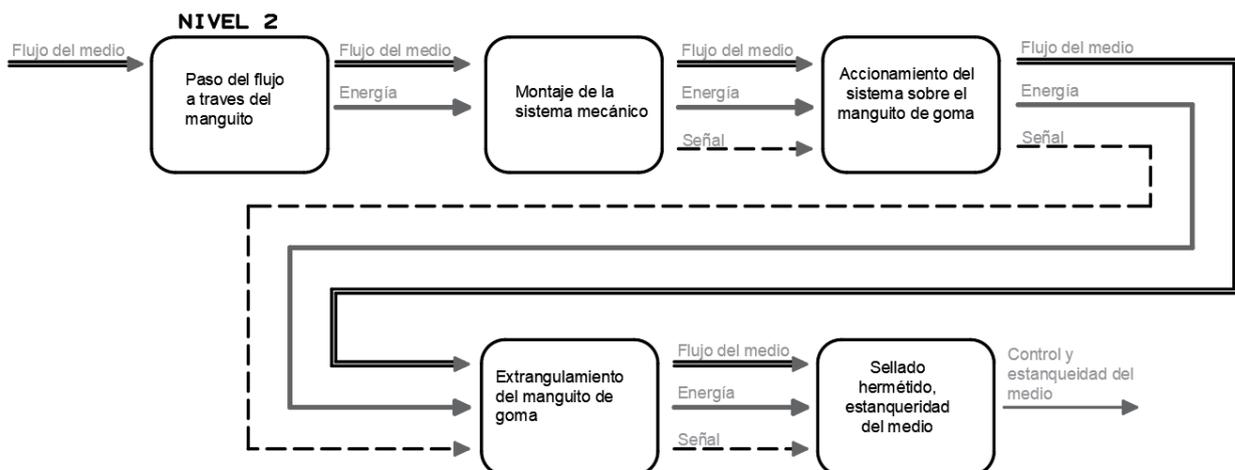
Módulo de Control:

- Actuación (Apertura y Cierre):
  - Mecanismo de accionamiento manual: diseño que permite a un operador abrir y cerrar manualmente la válvula.
  - Actuator eléctrico, hidráulico o neumático, implementación de un actuator que permite la apertura y el cierre controlado de la válvula de forma automática.
- Control de Flujo:
  - Ajuste del caudal: función que permite regular la cantidad de fluido que pasa a través de la válvula.



**Figura 2.3. Nivel 1: Módulos y Funciones Secundarias**

Fuente: (Propia)



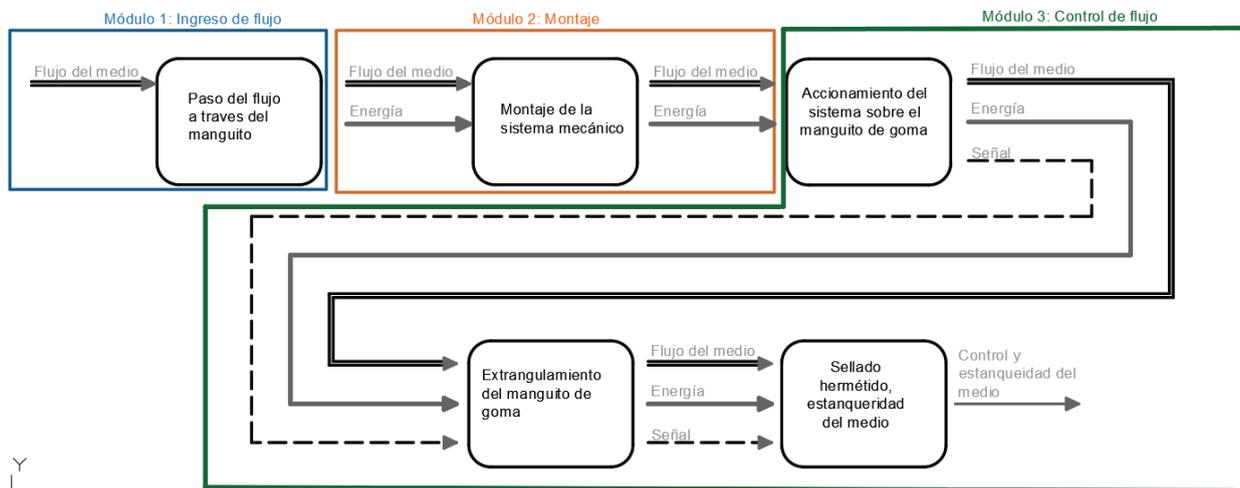
**Figura 2.4. Nivel 2: Detalles de Funciones Secundarias**

Fuente: (Propia)

## Estructura Modular

Con respecto a la estructura se organiza en bloques constitutivos denominados módulos con la

finalidad de obtener la composición del diseño de la válvula de pinzas que consta de varias partes o módulos intercambiables que permiten un mantenimiento más sencillo y la posibilidad de reemplazar componentes individuales sin tener que cambiar toda la válvula, a través del desglose de subfunciones.



**Figura 2.5. Estructura Modular**

Fuente: (Propia)

## 2.3 Soluciones módulos

En este paso vamos a presentar las posibles soluciones para cada subfunción de los respectivos módulos funcionales.

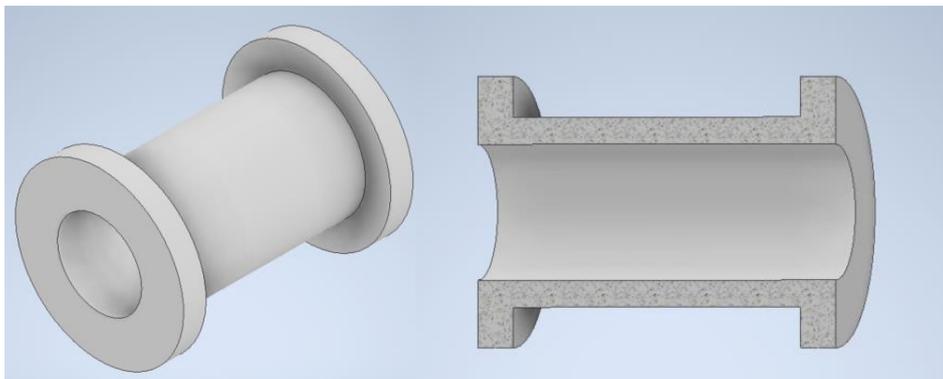
### Módulo 1: Paso o ingreso del flujo

Función:

- Paso del flujo

Alternativa (B1)

Manguito de goma



**Figura 2.6. Alternativa (B1) Modulo 1**

Fuente: (Propia)

Ventajas:

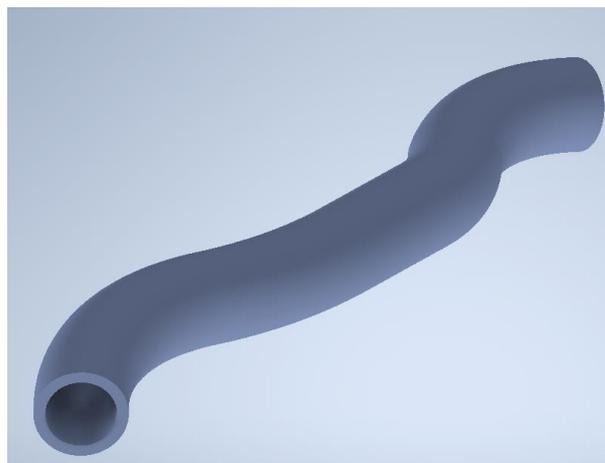
- Sellado Hermético
- Flexibilidad de Diseño
- Control Preciso del Flujo
- Deformación flexible alto ciclaje de vida útil.
- Mantenimiento y Reemplazo Sencillo
- Resistencia a la Fatiga

Desventajas:

- Contaminación con el medio exterior
- Posibles fugas en acoples o extremos bridados
- Alto costo de fabricación

Alternativa (B2)

Tubería flexible



**Figura 2.7.** Alternativa (B2) Tubería flexible

Fuente: (Propia)

Ventajas:

- Sin estructura o carcasa de la válvula
- Autolimpiables
- Riesgo de contaminación nulo
- Flexible
- No forma parte de la válvula
- Bajo costo
- Posibilidad de control en cualquier punto de la tubería

Desventajas:

- Mayor mantenimiento y control de estado de tubería
- Fatiga concentrada si se usa en un solo punto de la tubería

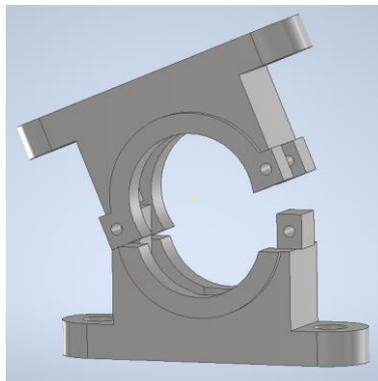
## Módulo 2: Montaje del sistema mecánico de estrangulación

Función:

- Montaje y ensamblaje de la carcasa

Alternativa (C1)

Pasadores



**Figura 2.8.** Alternativa (C1). Carcasa con pasadores

Fuente: (Propia)

Ventajas:

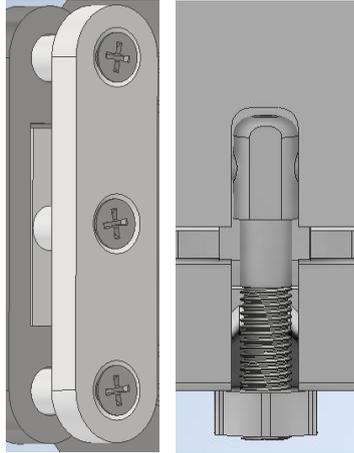
- Montaje y desmontaje fácil
- Diseño sencillo
- Bajo costo
- Mantenimiento y Reemplazo Sencillo

Desventajas:

- Menor rigidez
- Limitación para cargas pesadas
- Diseño bajo tolerancias de ajuste

Alternativa (C2)

Sujeción con elementos normalizados



**Figura 2.9.** Alternativa (C2). Sujeción con elementos normalizados

Fuente: (Propia)

Ventajas:

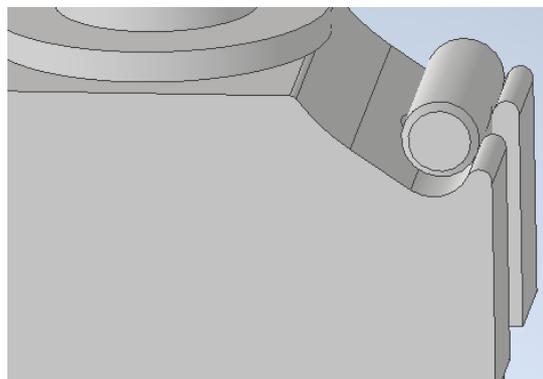
- Diseño fijo y sólido
- Diseño sencillo
- Diseño ajustable y sustitutivo por partes

Desventajas:

- Ensamble demoroso
- Ensamble costoso
- Pérdida de tensión o ajuste por vibración

Alternativa (C3)

Bordes de sujeción



**Figura 2.10.** Alternativa (C3). Bordes de sujeción

Fuente: (Propia)

Ventajas:

- Diseño sencillo

- Diseño versátil
- Montaje y desmontaje rápido
- Sin necesidad de mantenimiento
- Bajo costo

Desventajas:

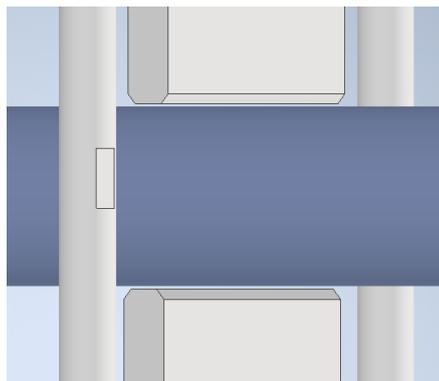
- Funcionalidad solo bajo tensión
- Baja fijación

Función:

- Montaje y ensamblaje de mordazas

Alternativa (D1)

Mordaza cara plana



**Figura 2.11.** Alternativa (D1). Mordazas planas

Fuente: (Propia)

Ventajas:

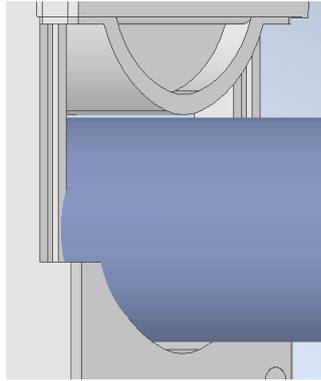
- Diseño sencillo
- Buena superficie de contacto
- Sujeción buena en piezas planas o cuadradas
- Bajo costo

Desventajas:

- Menos versátil en piezas redondas o tubulares
- Puntos de presión concentrados

Alternativa (D2)

Mordazas redondeadas



**Figura 2.12.** Alternativa (D2) Mordazas redondeadas

Fuente: (Propia)

Ventajas:

- Diseño adaptable a formas tubulares
- Diseño a soportar mayor carga que cara plana (cúpula)
- Mejor fijación y sujeción en piezas tubulares

Desventajas:

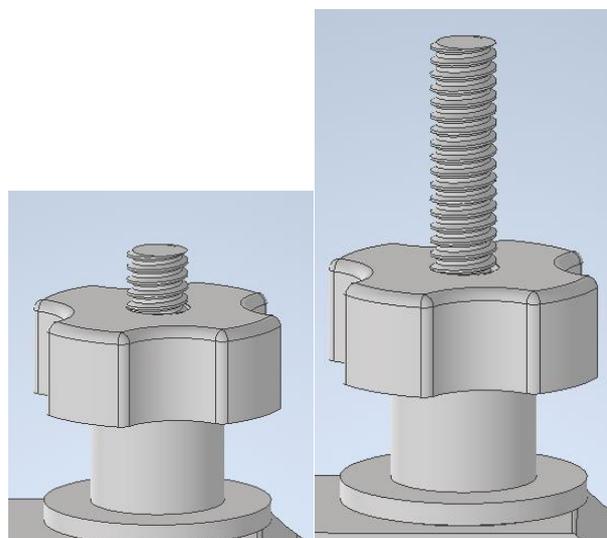
- Limitaciones en superficies de caras planas
- Mayor complejidad de diseño
- Mayor costo

Función:

- Montaje de ajuste y regulación del caudal

Alternativa (E1)

Volante fijo y husillo ascendente



**Figura 2.13.** Alternativa (E1). Volante fijo y husillo ascendente

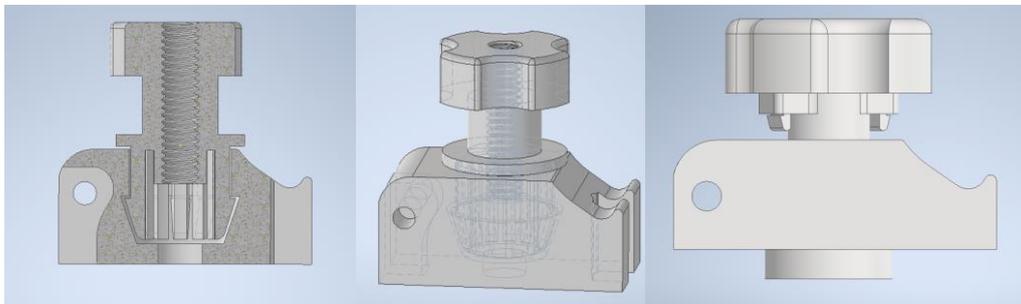
Fuente: (Propia)

Ventajas:

- Volante con un solo grado de libertad (giro)
- Mejor regulación del caudal
- Diseño sencillo y eficiente
- Bajo costo
- Simplifica diseño de estrangulamiento del maguito
- Perno pasante con un solo grado de libertad (mov. Axial)

Desventajas:

- Fabricación y ensamblaje compleja

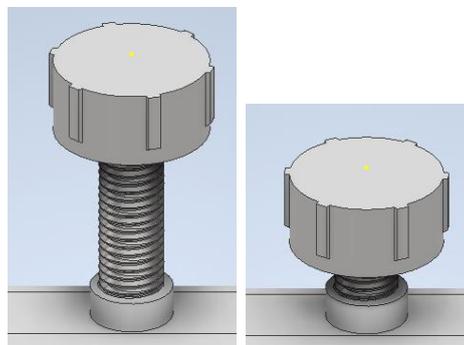


**Figura 2.14.** Volante vista sección transversal.

Fuente: (Propia)

Alternativa (E2)

Husillo y volante ascendente



**Figura 2.15.** Alternativa (E2). Husillo y volante ascendente

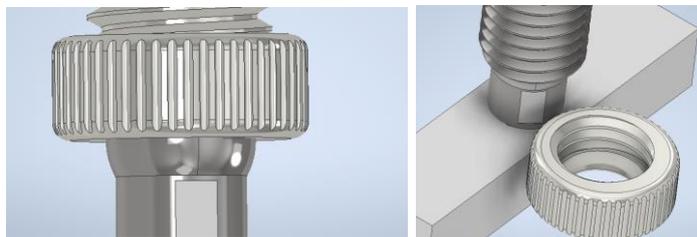
Fuente: (Propia)

Ventajas:

- Diseño de volante sencillo
- Caudal regulable

Desventajas:

- Fabricación y ensamblaje compleja
- Volante con dos grados de libertad (giro y vertical)
- Perno dos grados (giro y axial)
- Complicación en mecanismo de cambio el movimiento de giro a axial sin giro para mordazas (Rótula)



**Figura 2.16.** Vista rótula de usillo ascendente

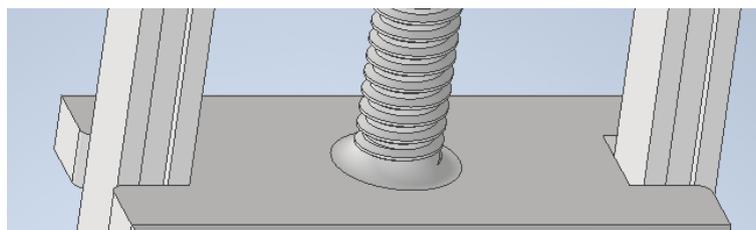
Fuente: (Propia)

Función:

- Montaje línea de aplicación de carga sobre el manguito

Alternativa (F1)

Carril-viga intermedia



**Figura 2.17.** Alternativa (F1). Carril-viga intermedia

Fuente: (Propia)

Ventajas:

- Diseño sencillo
- Minimiza la fricción
- Diseño eficiente
- Mínimo mantenimiento
- Menor uso de material y carcasa

Desventajas:

- Mayor esbeltez en la estructura

Alternativa (F2)

Carril sección cuadrada



**Figura 2.18.** Alternativa (F2). Carril sección cuadrada

Fuente: (Propia)

Ventajas:

- Diseño sencillo
- Mínimo mantenimiento
- Diseño más robusto

Desventajas:

- Mayor fricción al desplazarse la mordaza
- Dependiente a una de carcasa
- Diseño con mayor uso de material al fabricar

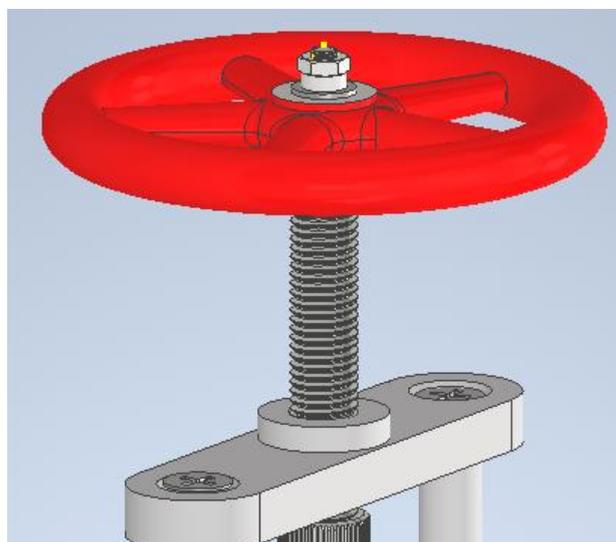
### Módulo 3: Control del flujo en el mecanismo de estrangulación

**Función:**

- Accionamiento actuador sobre el manguito de goma

Solución (G1)

Accionamiento mecánico



Fuente: (Propia)

#### Ventajas

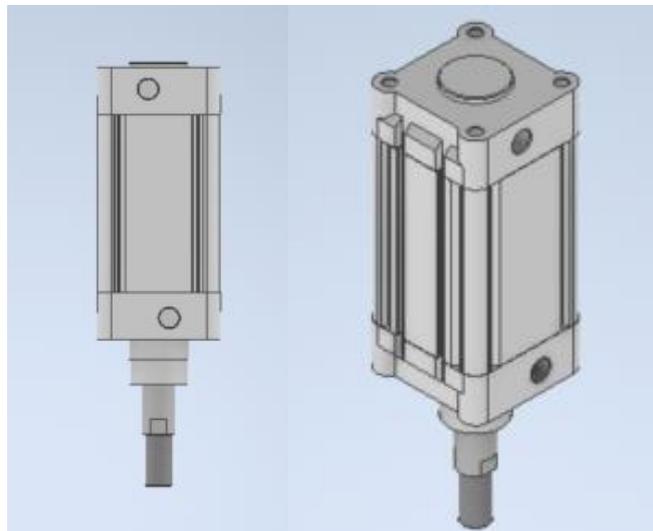
- Simplicidad del diseño
- Bajo costo
- Regulable el paso del flujo

#### Desventajas

- Accionamiento lento

#### Solución (G2)

Accionamiento neumático



**Figura 2.19.** Solución (G2). Accionamiento neumático

Fuente: (Propia)

#### Ventajas:

- Accionamiento Rápida
- Sistema Semiautomático

#### Desventajas:

- Baja precisión
- Alto costo
- Sistema complejo
- Mantenimiento del cilindro

#### Solución (G3)

Accionamiento eléctrico



**Figura 2.20.** Solución (G3). Accionamiento eléctrico

Fuente: (Propia)

Ventajas:

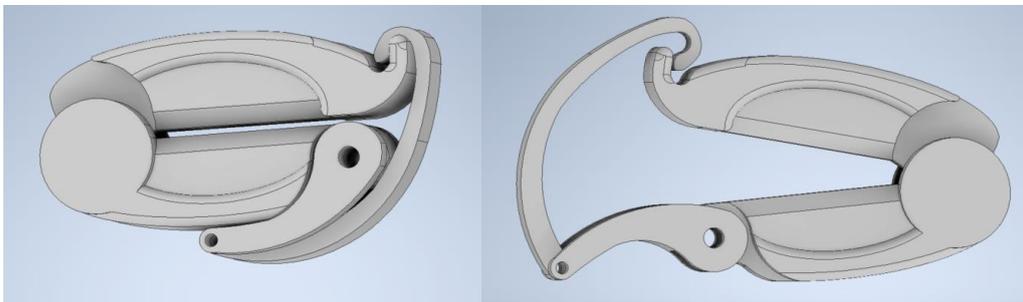
- Accionamiento Rápida
- Sistema Semiautomático
- Buena presión

Desventajas:

- Alto costo
- Sistema complejo
- Mantenimiento del costoso
- Sistema de control independiente

Solución (G4)

Accionamiento Manual



**Figura 2.21.** Solución (G4). Accionamiento Manual

Fuente: (Propia)

Ventajas:

- Simplicidad del sistema

- Bajo costo
- Accionamiento manual y sencillo
- Accionamiento rápido

Desventajas:

- Aplicaciones pequeñas
- Acción en trabajos menores
- Nula precisión: solo abierta y cerrada

## 2.4 Alternativas de solución

### Matriz morfológica

Se trata de un enfoque que facilita la fusión de ideas individuales para crear conceptos de alcance más amplio, en la siguiente tabla se detallan las vías que se siguieron para generar posibles soluciones alternativas. Es importante destacar que no es imperativo considerar todas las posibles combinaciones, sino más bien centrarse en aquellas en las que haya una correspondencia efectiva en su composición.

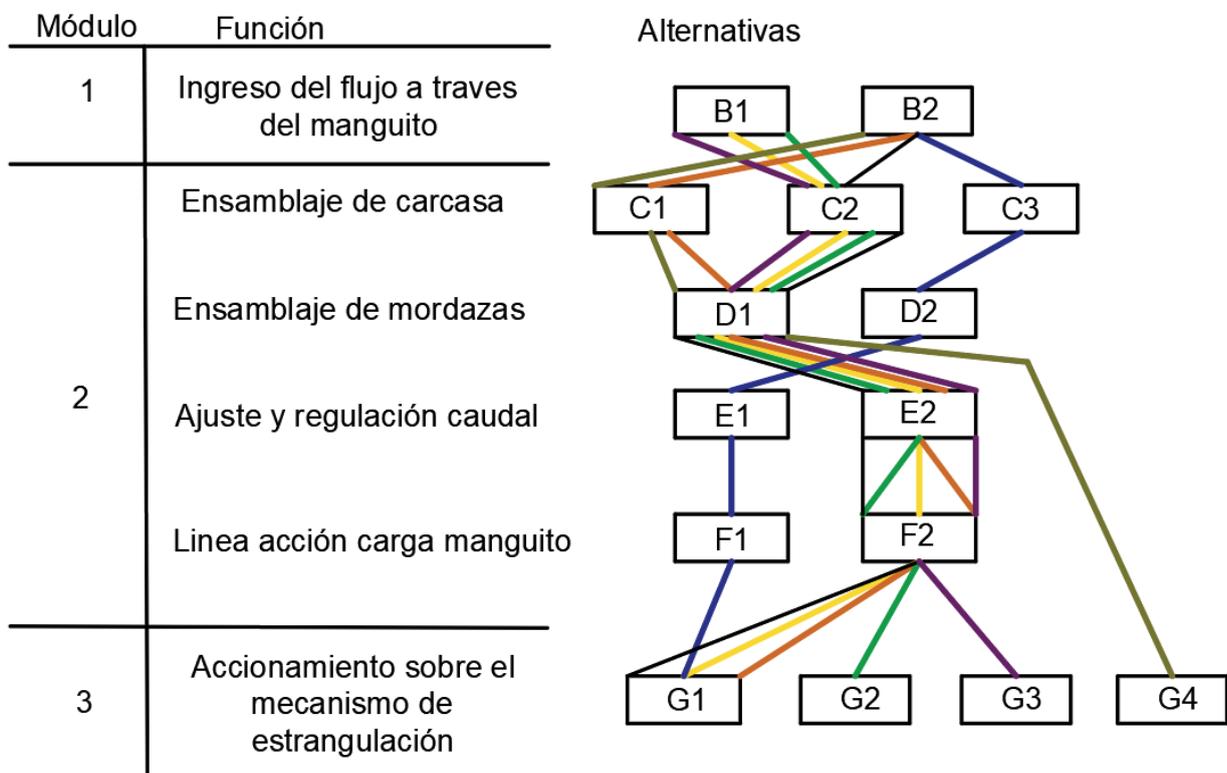


Figura 2.22. Matriz morfológica

Fuente: (Propia)

Alternativa A1

Alternativa A2

Alternativa A3

Alternativa A4

Alternativa A5

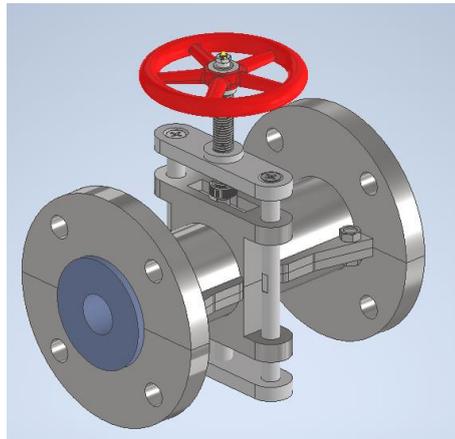
Alternativa A6

Alternativa A7

**Figura 2.23.** Color líneas alternativas

Fuente: (Propia)

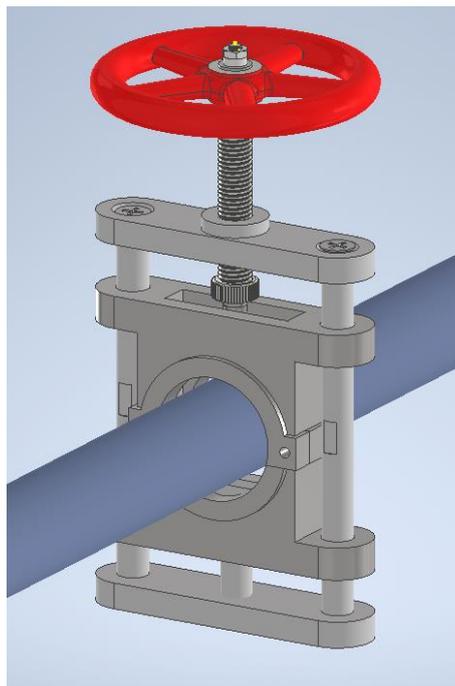
Alternativa A1



**Figura 2.24.** Alternativa A1

Fuente: (Propia)

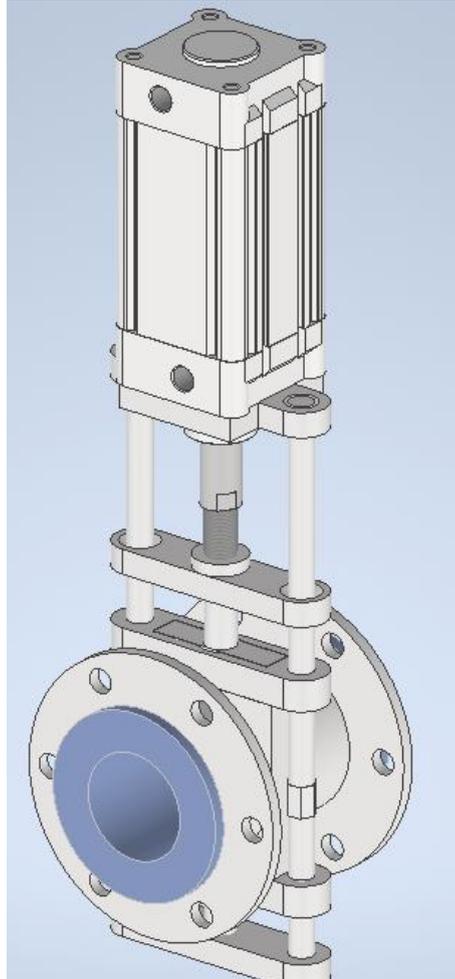
Alternativa A2



**Figura 2.25.** Alternativa A2

Fuente: (Propia)

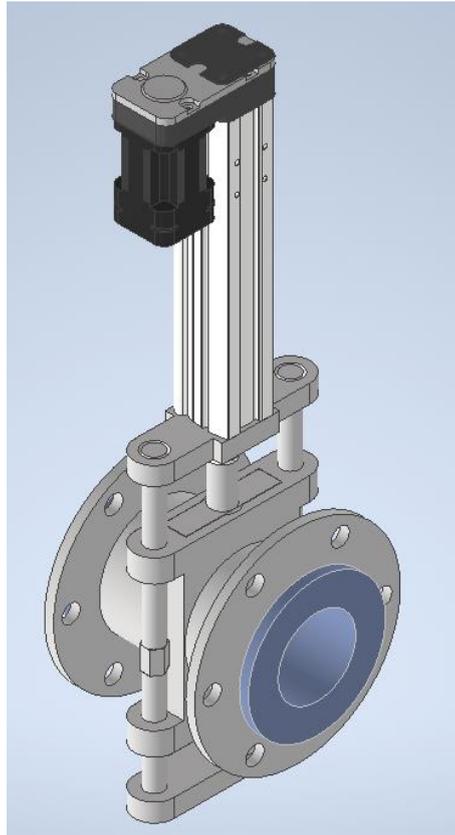
Alternativa A3



**Figura 2.26.** Alternativa A3

Fuente: (Propia)

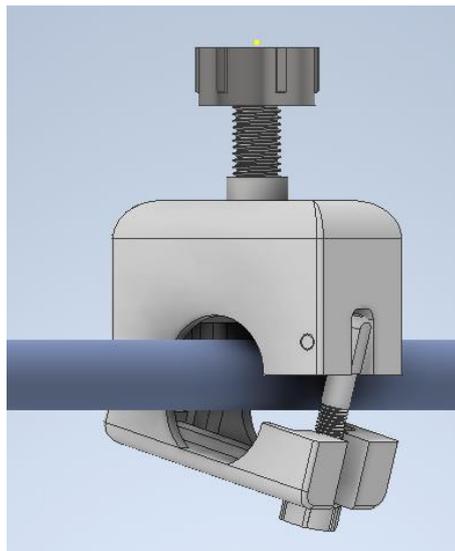
Alternativa A4



**Figura 2.27.** Alternativa A4

Fuente: (Propia)

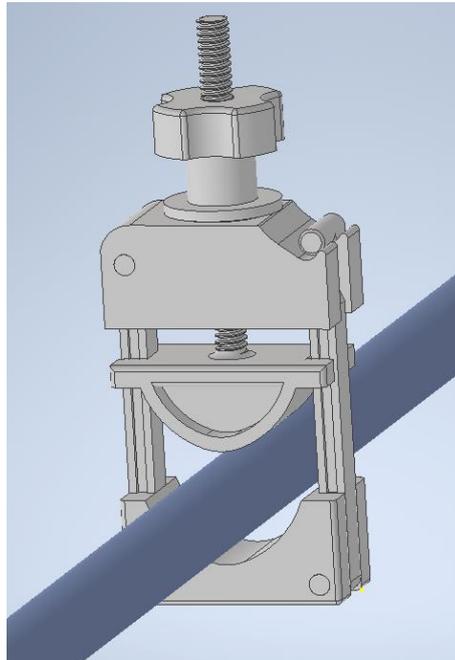
Alternativa A5



**Figura 2.28.** Alternativa A5

Fuente: (Propia)

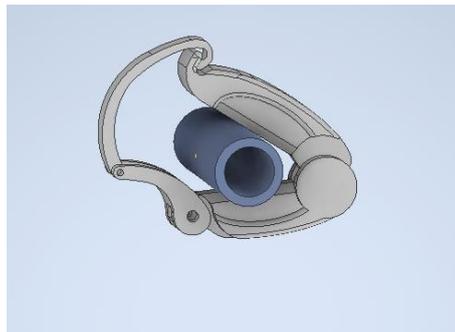
Alternativa A6



**Figura 2.29.** Alternativa A6

Fuente: (Propia)

Alternativa A7



**Figura 2.30.** Alternativa A7

Fuente: (Propia)

## 2.5 Estudio y elección de alternativas

### Selección soluciones por criterios ponderados

➤ *Evaluación módulo 1*

Criterios de valoración:

- Precio: Es importante debido principalmente a su finalidad ser de un solo uso o en lo posible usarla un par de veces, de modo que no necesita ser costosa, sin embargo, los diseños permiten reusar sin que haya una posible contaminación del fluido biológico.
- Adaptabilidad: El diseño de este módulo debe tener la capacidad de adaptarse a las condiciones reales de trabajo de modo que pueden encontrarse con diversos tamaños de tuberías (sistema de control) en el área médica siendo necesario y óptimo que se incluya o no un manguito de goma, y el control se haga directamente en la tubería flexible por donde pasa el fluido biológico.
- Limpieza: Es relevante por el motivo de evitar contaminación o acumulación de residuos. La autolimpieza se refiere a la capacidad de la válvula para eliminar de manera efectiva cualquier residuo o partícula que pueda quedar atrapada en el manguito de goma o la tubería flexible.
- Precisión: Es importante poder controlar el paso del fluido biológico de manera precisa siendo necesaria en algunos procesos tener cierta cantidad o volumen de fluido.
- Accesible: Que esté disponible en el mercado sin la necesidad ni dificultad de diseñar un manguito de goma o tubería flexible que se puede ensamblar el diseño y que sea funcional.

1. Evaluación de cada criterio

**Tabla 2.2.** Evaluación de cada criterio

Limpieza>Adaptabilidad>Precisión>Precio>Accesible							
Criterio	Precio	Adaptabilidad	Limpieza	Precisión	Accesible	$\Sigma+1$	pondera
Precio		1	0	0,5	1	3,5	0,21
Adaptabilidad	1		0,5	1	1	4,5	0,26
Limpieza	1	1		1	1	5	0,29
Precisión	1	1	0		1	4	0,24
Accesible	1	0,5	0	0,5		3	0,18
suma						17	1,00

Fuente: (Propia)

2. Evaluación de precio

**Tabla 2.3.** Evaluación del peso específico del precio en el Módulo 1

Alternativa A7>Alternativa A6>Alternativa A5 >Alternativa A2 >Alternativa A1 >Alternativa A3 >Alternativa A4									
Precio	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	$\Sigma+1$	pondera

Alternativa A1		0	1	1	0	0	0	3	0,09
Alternativa A2	1		1	1	0,5	0,5	1	6	0,19
Alternativa A3	0	0		1	0	0	0	2	0,06
Alternativa A4	0	0	0,5		0	0	0	1,5	0,05
Alternativa A5	1	1	1	1		0,5	0,5	6	0,19
Alternativa A6	1	1	1	1	1		0,5	6,5	0,20
Alternativa A7	1	1	1	1	1	1		7	0,22
							suma	32	1,00

Fuente: (Propia)

### 3. Evaluación de Adaptabilidad

**Tabla 2.4.** Evaluación del peso específico de la Adaptabilidad en el Módulo 1

Alternativa A6>Alternativa A5=Alternativa A2 >Alternativa A7 >Alternativa A1 >Alternativa A3 >Alternativa A4									
Adaptabilidad	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	$\Sigma+1$	pondera
Alternativa A1		0	1	1	0	0	0	3	0,10
Alternativa A2	1		1	1	0,5	0,5	1	6	0,20
Alternativa A3	0	0		1	0	0	0	2	0,07
Alternativa A4	0	0	0,5		0	0	0	1,5	0,05
Alternativa A5	1	0,5	1	1		0,5	1	6	0,20
Alternativa A6	1	1	1	1	1		1	7	0,24
Alternativa A7	1	0	1	1	0	0		4	0,14
							suma	29,5	1,00

Fuente: (Propia)

### 4. Evaluación limpieza

**Tabla 2.5.** Evaluación del peso específico de la limpieza en el Módulo 1

Alternativa A6>Alternativa A5>Alternativa A2=Alternativa A7 >Alternativa A4 >Alternativa A1 >Alternativa A3									
Limpieza	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	$\Sigma+1$	pondera
Alternativa A1		0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	3,5	0,10
Alternativa A2	1		1	1	0,5	0,5	0,5	5,5	0,16
Alternativa A3	0,5	0,5		0,5	0	0	0	2,5	0,07
Alternativa A4	0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	0,5	4	0,12
Alternativa A5	1	1	1	1		0,5	0,5	6	0,18
Alternativa A6	1	1	1	1	1		1	7	0,21
Alternativa A7	1	0,5	1	1	0,5	0,5		5,5	0,16
							suma	34	1,00

Fuente: (Propia)

### 5. Evaluación del peso específico del criterio de precisión

**Tabla 2.6.** Evaluación precisión

Alternativa A6>Alternativa A5=Alternativa A2=Alternativa A1 >Alternativa A3=Alternativa A4 >Alternativa A7									
Precisión	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	Σ+1	pondera
Alternativa A1		0,5	1	1	0,5	0,5	1	5,5	0,20
Alternativa A2	0,5		1	1	0,5	0,5	1	5,5	0,20
Alternativa A3	0	0		0,5	0	0	0	1,5	0,05
Alternativa A4	0	0	0,5		0	0	0	1,5	0,05
Alternativa A5	0,5	0,5	1	1		0,5	1	5,5	0,20
Alternativa A6	1	1	1	1	1		1	7	0,25
Alternativa A7	0	0	0	0	0	0		1	0,04
							suma	27,5	1,00

Fuente: (Propia)

6. Evaluación accesible.

**Tabla 2.7.** Evaluación accesible

Alternativa A6>Alternativa A5>Alternativa A2>Alternativa A7 >Alternativa A1 >Alternativa A3 >Alternativa A4									
Accesible	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	Σ+1	pondera
Alternativa A1		0,5	0,5	0,5	0	0	0	2,5	0,09
Alternativa A2	1		1	1	0,5	0,5	0,5	5,5	0,20
Alternativa A3	0	0		0,5	0	0	0	1,5	0,05
Alternativa A4	0	0	0,5		0	0	0	1,5	0,05
Alternativa A5	1	1	1	1		0,5	0,5	6	0,21
Alternativa A6	1	1	1	1	1		0,5	6,5	0,23
Alternativa A7	0,5	1	1	1	0	0		4,5	0,16
							suma	28	1,00

Fuente: (Propia)

7. Tabla de conclusiones

**Tabla 2.8.**Tabla de conclusiones Módulo 1

Conclusión	Precio	Adaptabilidad	Limpieza	Precisión	Accesible	Σ	prioridad
Alternativa A1	0,02	0,03	0,03	0,05	0,02	0,14	0,118
Alternativa A2	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,22	0,188
Alternativa A3	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,07	0,064
Alternativa A4	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,08	0,068
Alternativa A5	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,23	0,195
Alternativa A6	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04	0,27	0,226

<b>Alternativa A7</b>	0,05	0,04	0,05	0,01	0,03	0,17	0,141
-----------------------	------	------	------	------	------	------	-------

Fuente: (Propia)

Después de aplicar el método de criterios ponderados, se determina que la mejor alternativa es la A6, seguida por las alternativas A5 y A2 en segundo y tercer lugar, respectivamente.

➤ *Evaluación de los criterios para la selección del módulo 2*

Los criterios de evaluación que se consideraron más influyentes fueron:

- Precio: Es importante debido a que el diseño debe ser liviano minimizando precios de manufactura y gastos relacionados con su diseño, sin olvidar que debe ser funcional.
- Adaptabilidad: El diseño debe tener la capacidad de poder adaptarse a las actividades en el campo médico de modo que necesita tener un enfoque de instrumento o herramienta de apoyo sin caer en ámbitos de ensamblajes tediosos o demorosos.
- Ensamblado: Siendo el criterio más relevante debido a la facilidad que debe tener nuestro diseño para acoplarse a los tiempos y prioridades en el ámbito médico
- Ajuste: Es importante considerar que no solo tenga un ensamblado rápido, además es necesario un sistema de control que permita dar el ajuste requerido.
- Robustez: Es primordial que el diseño deba ser capaz de aguantar las condiciones de trabajo, soportando cargas que puedan fatigar el diseño.

1. Evaluación cada criterio

**Tabla 2.9.** Evaluación del peso específico de cada criterio Módulo 2

Ajuste>Robustez>Adaptabilidad>Ensamblado>Precio							
Criterio	Precio	Adaptabilidad	Ensamblado	Ajuste	Robustez	Σ+1	pondera
<b>Precio</b>		0	0	0	0	1	0,08
<b>Adaptabilidad</b>	1		0,5	0	1	3,5	0,29
<b>Ensamblado</b>	1	0,5		0	0	2,5	0,21
<b>Ajuste</b>	1	1	1		1	5	0,42
<b>Robustez</b>	0,5	1	1	0,5		4	0,33
					suma	12	1,00

Fuente: (Propia)

Se realizó la evaluación de cada criterio como el presentado en las tablas de evaluación del módulo 1 frente a cada alternativa siendo el resultado como prioritarios las siguientes alternativas dadas en la siguiente tabla. Las tablas resultado de cada evaluación se adjuntó en el apartado de anexos 1 siendo las tablas 9.1 al 9.5.

## 2. Tabla de conclusiones

**Tabla 2.10.** Tabla de conclusiones Módulo 2

Conclusión	Precio	Adaptabilidad	Ensamblado	Ajuste	Robustez	$\Sigma$	prioridad
Alternativa A1	0,01	0,03	0,02	0,08	0,06	0,19	0,14
Alternativa A2	0,02	0,06	0,03	0,08	0,06	0,24	0,18
Alternativa A3	0,01	0,02	0,02	0,03	0,06	0,13	0,10
Alternativa A4	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,14	0,10
Alternativa A5	0,02	0,06	0,04	0,08	0,04	0,23	0,17
Alternativa A6	0,02	0,07	0,05	0,10	0,05	0,28	0,21
Alternativa A7	0,02	0,04	0,04	0,01	0,01	0,12	0,09

Fuente: (Propia)

Según la aplicación del método de criterios ponderados se concluye que la alternativa A6 es la primera opción, seguido de la alternativa A2, A5.

### ➤ *Evaluación de los criterios para la selección del módulo 3*

Los criterios de evaluación que se consideraron más influyentes incluyen:

- Precio: Su importancia radica en la necesidad de reducir los gastos asociados a la adquisición de partes de la válvula importadas con la finalidad de controlar el flujo.
- Precisión (en el control del flujo): El flujo adecuado a través de una pinch valve permite optimizar la producción al garantizar que los materiales fluyan a la velocidad y el volumen necesarios para cumplir con los objetivos del procedimiento realizado.
- Ajuste: La trazabilidad en un sistema de control es muy importante sobre todo en el manejo de fluido biológicos, evitando la sobre acumulación y subidas de presión pudiendo dañar los componentes del fluido.
- Controlable: Un sistema de control ya sea manual o semiautomático debe ajustarse a las necesidades del ambiente para el que fue diseñado, de tal modo será eficiente y útil sin importar su complejidad.
- Complejidad: Se toma en cuenta la dificultad o complejidad del sistema de control con la finalidad de mantener el margen de eficiencia y calidad para un elemento de control diseñado en base a estándares médicos ajustándose a su capacidad de regular en el menor tiempo posible.

Una vez definidos estos criterios clave, procedemos a través de los siguientes pasos:

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

**Tabla 2.11.** Evaluación del peso específico de cada criterio Módulo 3

Ajuste>Robustez>Adaptabilidad>Ensamblado>Precio							
Criterio	Precio	Precisión	Ajuste	Controlable	Complejidad	$\Sigma+1$	pondera
Precio		0	0	0	0	1	0,08
Precisión	1		0,5	0	1	3,5	0,28
Ajuste	1	0,5		0,5	0	3	0,24
Controlable	1	1	1		1	5	0,40
Complejidad	0	0	0	0,5		1,5	0,12
					suma	12,5	1,00

Fuente: (Propia)

El resultado de las alternativas prioritarias está dado en la siguiente tabla 2.12. Las tablas resultado de cada evaluación se adjuntó en el aparatado de anexos 1 siendo las tablas 9.6 al 9.10.

2. Tabla de conclusiones

**Tabla 2.12.** Tabla de conclusiones Módulo 3

Conclusión	Precio	Precisión	Ajuste	Controlable	Complejidad	$\Sigma$	prioridad
Alternativa A1	0,01	0,03	0,02	0,07	0,02	0,15	0,14
Alternativa A2	0,02	0,06	0,04	0,07	0,02	0,20	0,18
Alternativa A3	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,09	0,08
Alternativa A4	0,00	0,01	0,02	0,04	0,02	0,10	0,09
Alternativa A5	0,02	0,06	0,05	0,07	0,01	0,21	0,19
Alternativa A6	0,02	0,07	0,06	0,09	0,02	0,25	0,22
Alternativa A7	0,02	0,04	0,04	0,01	0,00	0,12	0,10

Fuente: (Propia)

Al aplicar el método de criterios ponderados, se llega a la conclusión de que la alternativa A6 es la preferida, seguida por las alternativas A5 y A2.

### 3. CÁLCULOS

#### 3.1 Experimentación

A continuación, se va a detallar la experimentación que se realizó para poder conocer la fuerza necesaria que se debe realizar para deformar la tubería flexible silicona del grado médico de diámetro 3/8 in.



**Figura 3.1** Herramientas experimento deformación manguito

Fuente: (Propia)

Se utiliza las siguientes herramientas

- 1 prensa manual tipo C (opcional de 8 in): Necesaria para sujeción de un extremo de la pinza.
- 1 prensa manual tipo C de 4 in (opcional): Necesaria para sujeción en el extremo libre de la pinza además de acción de peso para cerrar la pinza.
- 1 tubería flexible de silicona de grado medico: Necesaria para realizar la de prueba deformación.
- 1 calibrador pie de rey: Para tomar las medidas necesarias.
- Balanza electrónica: Determinar el peso de la prensa manual tipo C



**Figura 3.2.** Peso de prensa manual tipo C

Fuente: (Propia)



**Figura 3.3.** Montaje experimento

Fuente: (Propia)

*Fig. 1 Sujeción de un extremo de la pinza con prensa manual de 8 in.*



**Figura 3.4.** Montaje experimento peso 1

Fuente: (Propia)

*Fig. 2 Sujeción y aplicación de peso de 0.404 kg del otro extremo de la pinza*

Como se puede ver en la Fig. 22 se observa que no es suficiente el peso de la pinza y la prensa manual de 0.404 kg para ello colocamos una botella de un líquido conocido que es el aceite de cocina el cual tiene un volumen exacto de 900 ml se cocolo encima de la prensa manual lo más simétrico posible como se puede observar en la siguiente foto, además se consideró la distancia más cercana al apoyo o punto de giro de la pinza, en el cual se aplique la mínima distancia necesaria para que en manguito de goma quede completamente sellado, se hizo pruebas de presión soplando un extremo del tubo.



**Figura 3.5.** Montaje experimento peso 2

Fuente: (Propia)

*Fig. 3*



**Figura 3.6.** Estrangulación de manguito flexible experimento

Fuente: (Propia)

*Fig. 4*

Considerando que la presión arterial máxima en el cuerpo se conoce como presión arterial sistólica. Es el valor más alto alcanzado durante cada ciclo cardíaco cuando el corazón está bombeando sangre. La presión arterial sistólica se mide en milímetros de mercurio [ $mmHg$ ]. En condiciones normales, la presión arterial sistólica típicamente varía en el rango de 90 a 120 [ $mmHg$ ] en adultos sanos. Valores superiores a 120 [ $mmHg$ ] pueden indicar hipertensión y riesgo para enfermedades cardiovasculares y otros problemas de salud.

También considerando que la presión máxima generada al soplar se conoce como la presión pulmonar máxima o la presión inspiratoria máxima. La medición de esta presión es a menudo utilizada en la consideración de la función pulmonar y se expresa en centímetros de agua [ $cmH_2O$ ] o en kilopascales [ $kPa$ ]. En personas sanas, la presión inspiratoria máxima puede

variar, pero valores típicos oscilan entre 60 y 120 cmH2O. Sin embargo, estos valores pueden variar considerablemente y están influenciados por factores como la edad, el estado de salud general y la condición física.

$$\text{Presión pulmonar} = 120 \text{ cm H}_2\text{O} \times \frac{0.735 \text{ mmHg}}{1 \text{ cm H}_2\text{O}} \approx 88,2 \text{ mmHg}$$

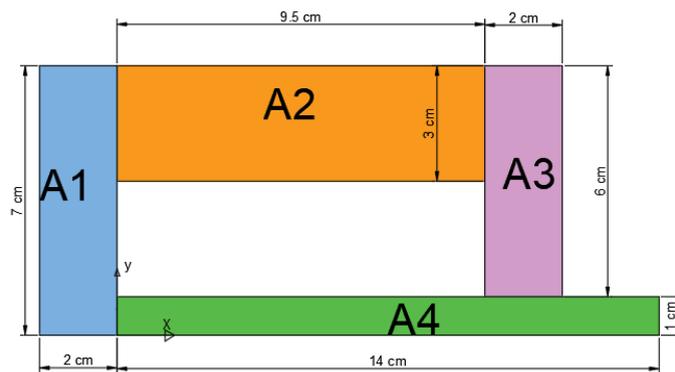
Suponiendo que se realizó todas las consideraciones se obtiene una relación cercana:

$$\text{Relación} = 88.272\text{mmHg}/120\text{mmHg} \approx 0.736$$

De modo que si soplamos en el extremo del tubo flexible y verificamos que no existe fuga podemos considerar aceptable el experimento y que va a funcionar a condiciones de trabajo bajo la presión arterial máxima asintótica. [11] (GoRed, 2018)

### 3.2 Determinación de carga para sellar la tubería flexible de silicona médica.

Por motivos de cálculos simplificaremos la forma exacta de la prensa manual para obtener su centro de masa.



**Figura 3.7.** Representación de prensa manual

Fuente: (Propia)

$$x_1 = \frac{-2}{2} = -1 \text{ cm}$$

$$A_1 = (7)(2) \Rightarrow \boxed{A_1 = 14 \text{ cm}^2}$$

$$x_1 A_1 = (1)(14) \Rightarrow \boxed{x_1 A_1 = 14 \text{ cm}^3}$$

$$y_1 = \frac{7}{2} \Rightarrow \boxed{y_1 = 3.5 \text{ cm}}$$

$$y_1 A_1 = (3.5)(14) \Rightarrow \boxed{y_1 A_1 = 49 \text{ cm}^3}$$

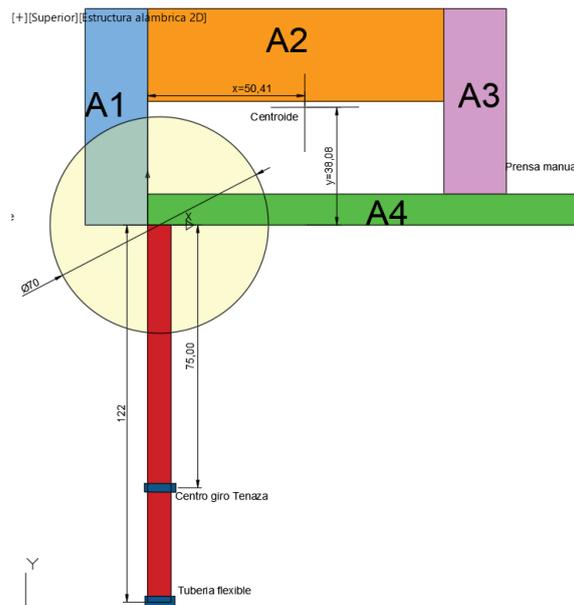
**Tabla 3.1.** Centro de masa prensa manual.

Elemento	$x_i$	$A_i$	$x_i A_i$	$y_i$	$y_i A_i$
1	-1	14	-14	3,5	49
2	4,75	28,5	135,375	5,5	156,75
3	10,5	12	126	4	48
4	7	14	98	0,5	7
		$\sum A_i = 68,5$	$\sum x_i A_i = 345,375$		$\sum y_i A_i = 260,75$

Fuente: (Propia)

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i A_i}{\sum A_i} \Rightarrow \bar{x} = \frac{345,375}{68,5} \Rightarrow \boxed{\bar{x} = 5,04197 \text{ cm}}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i A_i}{\sum A_i} \Rightarrow \bar{y} = \frac{260,75}{68,5} \Rightarrow \boxed{\bar{y} = 3,8065 \text{ cm}}$$



**Figura 3.8.** Diagrama centro de masa, peso 2 y pinza.

Fuente: (Propia)

Debido a que la pinza se encuentra empotrada en un extremo por la sujeción de la prensa manual de 8 in en la parte inferior y por el mecanismo de la pinza que tiene 1 grado de libertad y gira alrededor del centro de giro de la pinza consideramos los momentos verticales, y pesos en la dirección fuera del plano del diagrama anterior, al realizar un DLC (diagrama de cuerpo libre de la barra se tiene las siguientes reacciones, momentos, y fuerzas. Tomado en cuenta que para este nuevo DLC reconsideramos de nuevo el sistema de coordenadas  $x$ ,  $y$  independiente del

anterior aclarando que  $y$  en este caso en la dirección afuera de la página del anterior diagrama.

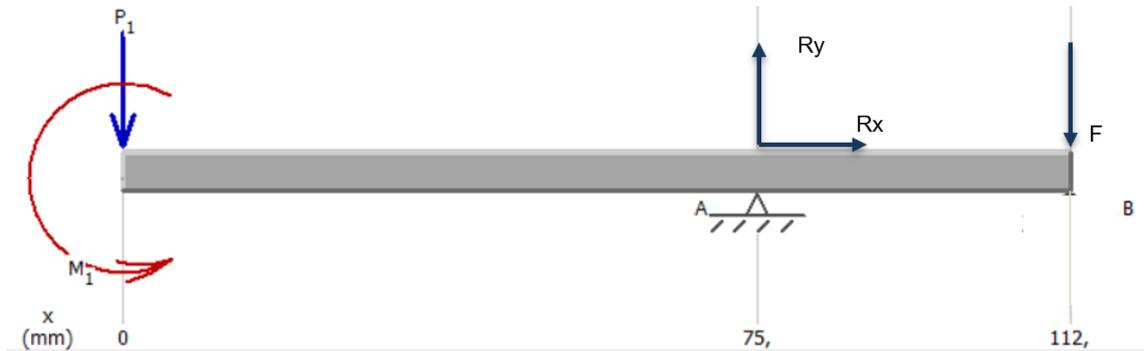


Figura 3.9. DCL fuerzas en pinza.

Fuente: (Propia)

Sumatorio de carga en el eje  $x$  y  $y$ :

$$\sum F_X = 0 \Rightarrow \boxed{R_X = 0}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_Y - P_1 - F = 0$$

$$R_Y = +P_1 + F$$

$$R_Y = (P_p + P_{aceite}) + F$$

$$R_Y = (m_p + m_{aceite}) * g + F$$

$$R_Y = (0.404 \text{ kg} + V_{aceite} \rho_{aceite}) * g + F$$

$$R_Y = \left( 0.404 \text{ kg} + 0.0009 \text{ m}^3 * 930 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * g + F$$

$$R_Y = (0.404 \text{ kg} + 0.828 \text{ kg}) * g + F$$

$$R_Y = (1.232 \text{ kg}) * g + F$$

$$R_Y = 12.0859 \text{ N} + F$$

Sumatorio de momentos alrededor de B:

$$\sum M_B = 0$$

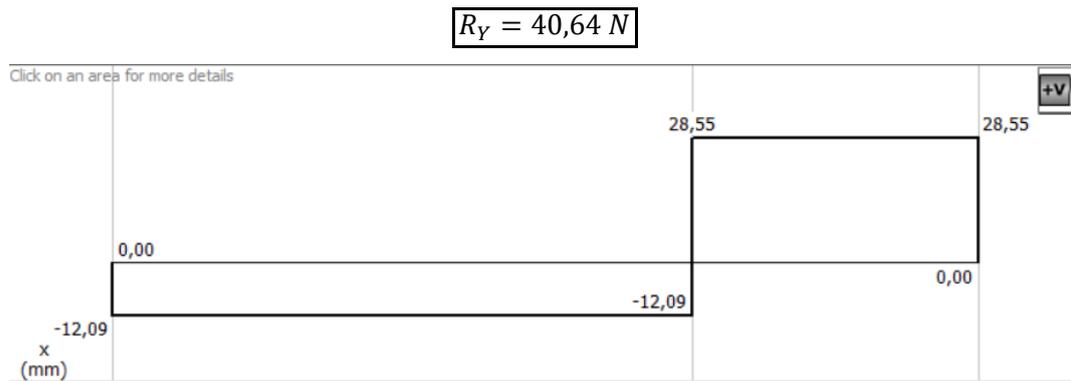
$$M_1 + P_1 * (85) - F * (37) = 0$$

$$150.86 \text{ Nmm} + (12,085 \text{ N}) * (75 \text{ mm}) - F * (37 \text{ mm}) = 0$$

$$M_1 + P_1 * (75) - F * (37) = 0$$

Resultado:

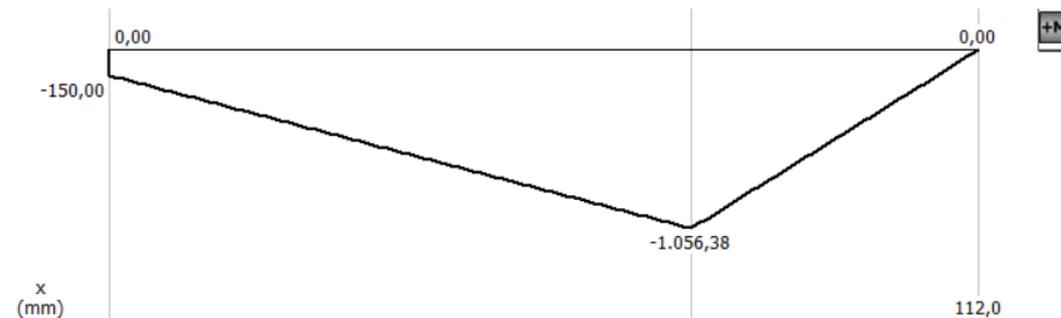
$$\boxed{F = 28,55 \text{ N}}$$



**Figura 3.10.** Diagrama de carga en pinza.

Fuente: (Propia)

El diagrama de momentos es el siguiente.



**Figura 3.11** Diagrama de momento es pinza

Fuente: (Propia)

### Esfuerzo normal de contacto entre la tenaza y la tubería flexible de silicona.

Como paso final debemos sacar el esfuerzo normal que ejerce la superficie que entra en contacto de la manguera flexible de goma con las pinzas de la tenaza para ello una vez obtenido la fuerza necesaria para la deformación de sellado  $F$ , definimos el área de contacto en la tenaza de estudio.



**Figura 3.12** Área de contacto pinza y manguito de goma

Fuente: (Propia)

Área de contacto

$$A = e * l = 8,5 \text{ mm} * 16 \text{ mm} = 136 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo normal para deformar el manguito y sellar el flujo

$$\sigma_N = \frac{F}{A} = 0,209926 \text{ MPa}$$

Debido a que el material de las pinzas tiene una resistencia a la fluencia alta, en comparación con la resistencia de la tubería flexible de la silicona, las pinzas son consideradas como rígidas sin deformación, ya que el principal objetivo es encontrar el esfuerzo normal necesaria para deformar la tubería flexible de goma, siendo esta de:

$$\sigma_N = 0,21 \text{ MPa.}$$

Ahora como podemos comprobar que nuestro experimento se haya realizado de manera adecuada y que el valor encontrado de F sea el correcto para poder realizar los siguientes cálculos estructurales de nuestro diseño de la Pinch Valve. Para ello se ha optado en realizar una simulación de elementos finitos con el objetivo de caracterizar el error porcentual de nuestro resultado experimental.

### 3.3 Modelo geométrico 3D (manguera flexible y pinzas de tenazas)

Para la tubería flexible se obtienen las dimensiones de su diámetro y espesor:

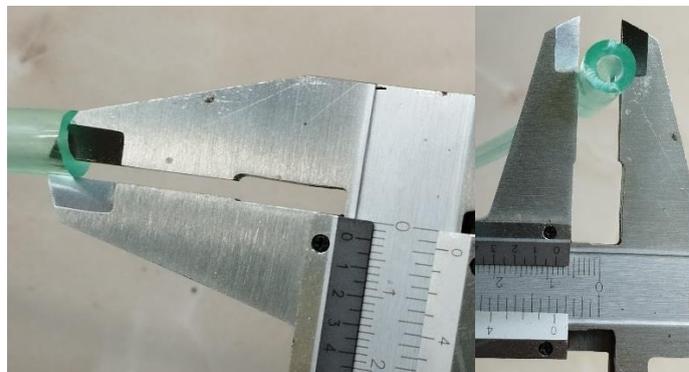


Figura 3.13. Área sección transversal manguito

Fuente: (Propia)

Las dimensiones tubería flexible son:

$$d_t = 8,4 \text{ mm}$$

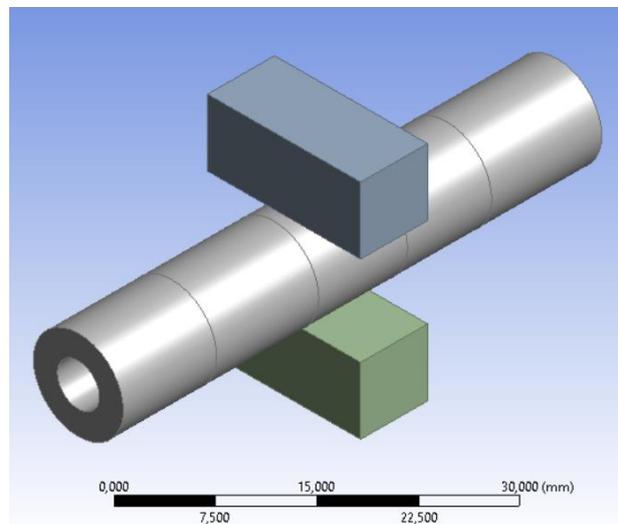
$$e_t = 2,5 \text{ m}$$

Y el espesor de las pinzas es de 3,3 mm, el largo de 16 mm

$$l = 16 \text{ mm}$$

$$e_p = 7 \text{ m}$$

De modo que se obtiene el siguiente diseño de la tubería flexible y las pinzas.



**Figura 3.14.** Diseño del manguito de goma y las pinzas

Fuente: (Propia)

## Configuración del material

### Material Hiperelástico

Al analizar el comportamiento de un caucho de silicona, es esencial tener en cuenta que se trata de un material hiperelástico. A diferencia de los metales, la caracterización de estos materiales implica considerar una variedad de propiedades adicionales para simular y anticipar su comportamiento, especialmente debido a su naturaleza elástica no lineal. El aumento en la utilización de ciertos materiales en ingeniería a veces conduce a equivocaciones en la selección y aprovechamiento de sus propiedades, lo que resulta en un desconocimiento de sus condiciones de trabajo y sus efectos. Se hace necesario mejorar los métodos de selección para

aplicaciones prácticas en ingeniería.

En programas de análisis por elementos finitos, se enfrentan situaciones estáticas que involucran cargas constantes y deformaciones, siguiendo la ley de Hooke. No obstante, para abordar materiales específicos, es necesario recurrir a modelos no lineales. Se han desarrollado diversos modelos teóricos, como *Mooney – Rivlin*, *Neo – Hookean*, *Yeoh* u *Ogden*, para anticipar el comportamiento de estos materiales a través de ensayos mecánicos que involucran distintos estados tensionales. Este trabajo se centrará en el modelo Ogden debido a su eficacia en situaciones de compresión y deformaciones que alcanzan hasta el 600%. [12] (PABLO LORENZO, 2017)

Para la evaluación del material, se ha optado por el método Ogden, un modelo centrado en deformaciones. En este enfoque, la densidad de energía libre se define como:

Densidad de energía libre

$$w = \frac{2\mu_n}{\alpha_n} (\lambda_1^{\alpha_n} + \lambda_2^{\alpha_n} + \lambda_3^{\alpha_n} - 3) + K_m$$

**Ecuación 3.1.** Densidad de energía libre.

Módulo de elasticidad:

$$\mu_o = \frac{\mu_i \alpha_i}{2}$$

**Ecuación 3.2.** Módulo de elasticidad

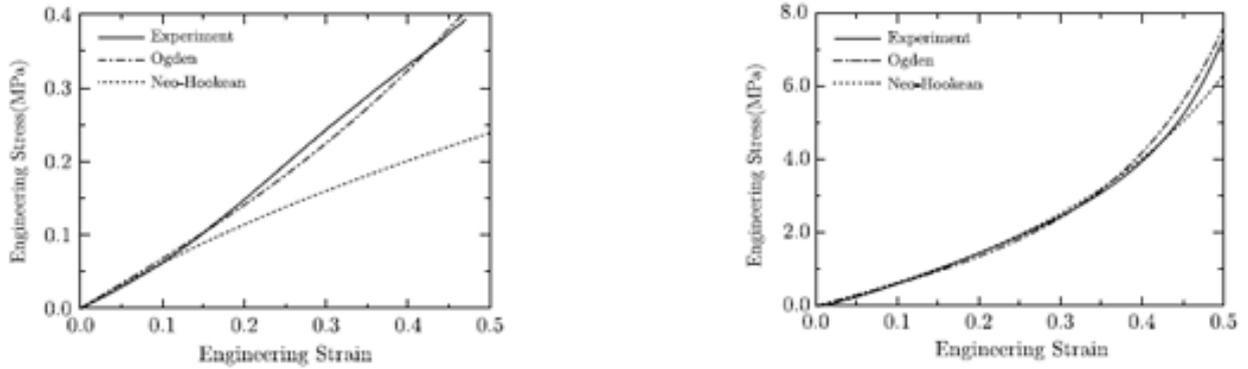
Módulo de rigidez:

$$K_o = \frac{2}{d_i}$$

**Ecuación 3.3.** Módulo de rigidez

Fuente: [12] (PABLO LORENZO, 2017)

Este enfoque en la ecuación refleja la energía asociada con la deformación, donde los parámetros  $\alpha_n$  y  $\mu_n$  son esenciales para ajustar el modelo a las características específicas del material. El término adicional ( $\lambda$ ) en la ecuación aborda los cambios volumétricos. Estas constantes, fundamentales para el modelo, se determinan a través de pruebas experimentales, se evidencia que el modelo Ogden presenta una adaptación más precisa en comparación con el modelo Hookeano, especialmente en pruebas de tracción. [12] (PABLO LORENZO, 2017)



**Figura 3.15** Curva esfuerzo vs deformación material hiperelástico

Fuente: [12] (PABLO LORENZO, 2017)

Para definir los parámetros de Mooney-Rivlin para el método Ogden en el caso del caucho de silicona, es necesario tener datos experimentales de ensayos mecánicos que incluyan diferentes estados tensionales. Estos datos se utilizarán para ajustar los parámetros del modelo Ogden.

El modelo Mooney-Rivlin de 2 parámetros es necesario definir parámetros C01, C10 y D1, para ellos se resolvió el modelo en el mismo ANSYS obteniendo los siguientes resultados. [13] (Jayone Lee, 2012)

Properties of Outline Row 4: Elastomer Sample (Ogden)				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Uniaxial Test Data	Tabular		
5	Biaxial Test Data	Tabular		
6	Has Lateral Strain	No		
7	Scale	1		
8	Offset	0	Pa	
9	Shear Test Data	Tabular		
10	Has Lateral Strain	No		
11	Scale	1		
12	Offset	0	Pa	
13	Volumetric Test Data	Tabular		
14	Scale	1		
15	Offset	0	Pa	
16	Mooney-Rivlin 2 Parameter			
17	Material Constant C10	29324	Pa	
18	Material Constant C01	50926	Pa	
19	Incompressibility Parameter D1	4,0223E-06	Pa^-1	

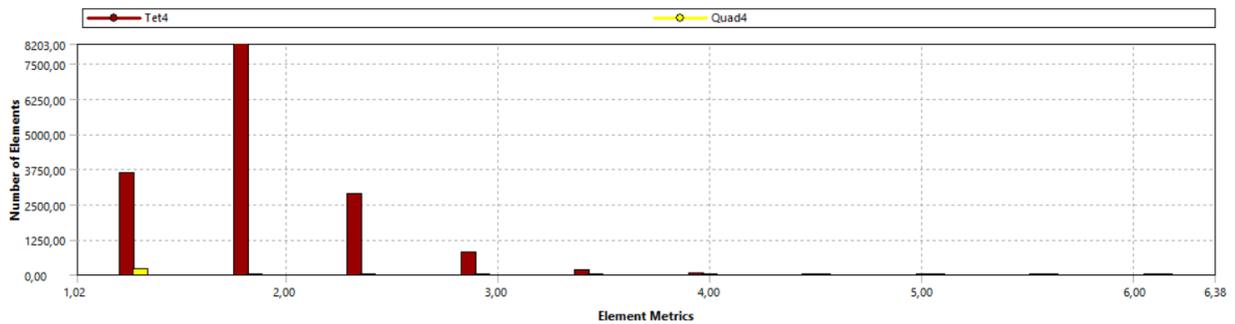
**Figura 3.16** Configuración parámetros material hiperelástico Ansys.

Fuente: (Propia)

## Mallado

La calidad de la malla en análisis estructurales se evalúa mediante diversas métricas, como la densidad de nodos, distribución, suavidad, esquinamiento y la importante relación de aspecto. Esta última mide la proporción entre la longitud y el diámetro de los elementos de la malla, siendo un aspecto crítico para evaluar la deformación de los elementos. Un alto aspect ratio, indicativo de una gran deformación, puede comprometer la precisión de los cálculos. Se sugiere mantener

el aspect ratio por debajo de 5 para un mallado óptimo, si bien es esencial considerar el tipo de análisis y la geometría del modelo. [14] (Sim Scale, 2022)

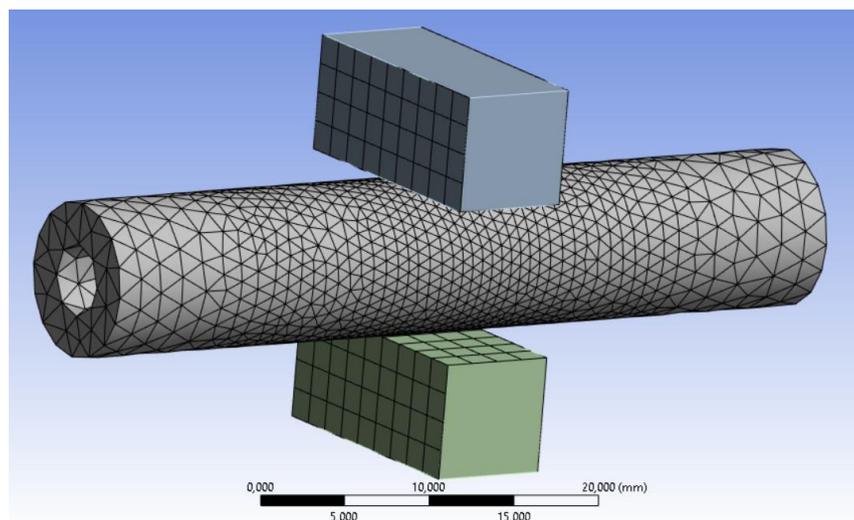


**Figura 3.17** Aspecto de radio mallado inferior a 5.

Fuente: (Propia)

Se ha corroborado que los elementos métricos del mallado se mantienen por debajo del valor de 5, lo que respalda la confiabilidad de la simulación.

Resultados del mallado:

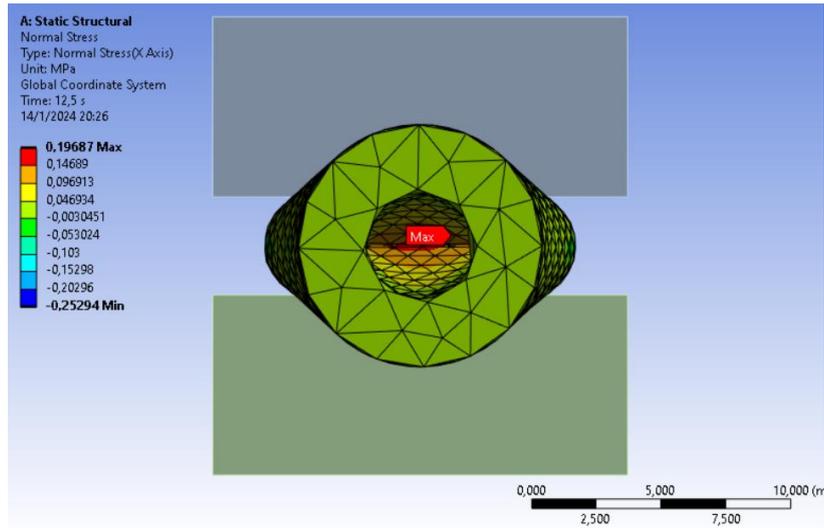


**Figura 3.18.** Mallado manguito de goma y pinzas

Fuente: (Propia)

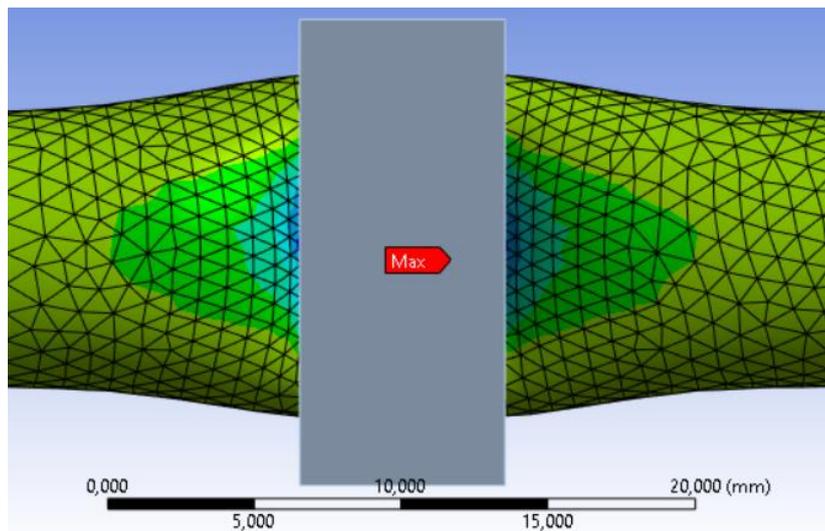
### Resultados de la simulación esfuerzo normal:

A continuación, se presenta el comportamiento que se obtuvo al simular la deformación del manguito de goma o tubería flexible, también se puede observar los esfuerzos máximos normales siendo de color rojo la zona con mayor magnitud, estos valores también son apreciables por la platea de colores del lado izquierdo, siendo más intenso la zona del medio del manguito.



**Figura 3.19.** Deformación por esfuerzo normal manguito de goma Ansys.

Fuente: (Propia)



**Figura 3.20.** Vista superior deformación por esfuerzo normal manguito de goma Ansys.

Fuente: (Propia)

A continuación se presenta una gráfica de esfuerzos resultado del análisis en Ansys, observando el Esfuerzo normal vs Tiempo de modo que al alcanzar un tiempo máximo de 12.5 segundos el esfuerzo máximo es de 0.19 MPa, el medio es de 0 MPa y el mínimo es de -0.253 MPa el cual también es representativo y hace referencia a la zona de color azul en la gráfica anterior siendo comúnmente el esfuerzo de tensión necesario para deformar o estirar el tubo flexible hasta poder empatar o sellar su área interna e impedir el paso del flujo a través de este.

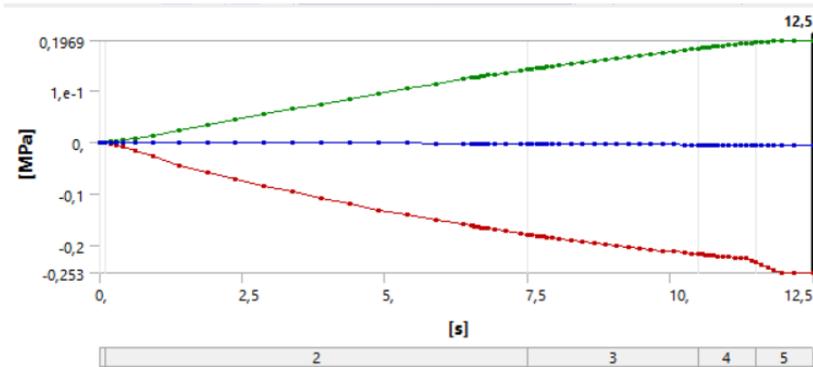


Figura 3.21 Esfuerzo vs tiempo deformación de manguito de goma

Fuente: (Propia)

Una vez compilada la simulación se puede observar que el fuerza normal máximo

$$\sigma_{N \text{ sim}} = 0,1969 \text{ MPa}$$

Ahora podemos verificar el error relativo entre el valor del esfuerzo normal simulado en ANSYS vs el valor experimental, de esta manera poder asegurarse de que los resultados obtenidos a través de simulaciones reflejen la realidad y puedan utilizarse con confianza para tomar decisiones o realizar predicciones.

Error relativo:

$$e = \frac{|\sigma_N - \sigma_{N \text{ sim}}|}{\sigma_N} \times 100$$

$$e = \frac{|0,21 \text{ MPa} - 0,1969 \text{ MPa}|}{0,21 \text{ MPa}} \times 100$$

$$e = 6,19\%$$

De modo que los resultados son satisfactorios.

### 3.4 Cálculo estático estructural de la alternativa

#### Determinación del diámetro mínimo del perno o diámetro medio (dm) del perno para la carga aplicada

Debido a que se va la válvula va a ser diseñada en base a un diámetro mencionado se han realizado los cálculos en base a esas dimensiones, pero en el ámbito medico pueden existir numerosas aplicaciones y para estas son necesarias otros tamaños de la tubería flexible de modo que vamos a considerar la posibilidad de que la válvula trabaje bajo otros diámetros y espesores, para ello se ha optado por trabajar con un factor de seguridad que englobe estos factores indicados, tomando en cuenta que físicamente la válvula puede trabajar con un diámetro máximo de manguera de 39 mm y el analizado es de 9 mm se va a considerar un factor de

seguridad de  $n = 6$ , considerando que en el diseño debe robusto capaz de soportar una manguera de diámetro superior al máximo.

*Factor de seguridad*

$$n = 6$$

*Esfuerzo máximo a la fluencia de Filamento ASA*

$$\sigma_y = 47,1 \text{ MPa}$$

*Fuerza ejercida por la tubería flexible (experimento)*

$$F = 28,55 \text{ N}$$

*Diámetro medio estimado*

$$d_{m1} = \sqrt{\frac{4 \times F}{\pi \times \sigma_y}} * 1000 * n$$
$$d_{m1} = \left( \sqrt{\frac{4 \times 28,55 \text{ [N]}}{\pi \times 47,1 \text{ [MPa]}}} \right) [m] * \frac{1000 \text{ [mm]}}{1 \text{ [m]}} * 6$$
$$\boxed{d_{m1} = 5,2710 \text{ [mm]}}$$

El diámetro medio del perno para la válvula es de aproximadamente

$$d_{m1} = 5,2710 \text{ [mm]}.$$

Una vez encontrado el diámetro medio del perno principal de nuestra válvula y recordando que estas deben ser piezas normalizadas, optamos por diseñar bajo la norma ASME B 1.1.

- **Diseño de la rosca según ASME B 1.1**

Según la norma ASME B 1,1 se escogió las dimensiones de la geometría de la rosca a utilizar, a continuación, se muestra el perfil básico para roscas y tornillos UN (Unified) y UNR ("Unified National (Special) External Thread")



Fuente: [13] (ASME, 2004)

Tomando en cuenta la importancia de las tolerancias que bajo la norma ASME B1.1 se debe considerar en cuenta en la selección tanto del diámetro menor ya sean (mínimo o máximo), y diámetro mayor ya sea (mínimo o máximo) cada uno bajo el diseño de perno o la rosca que se va a ir seleccionando conforme se explica a continuación.

**Table C-1 Limits of Size for Standard Series (UN/UNR) Threads, mm (Cont'd)**

Nominal Size and Threads/in.	Series Designation	Metric Equivalents		Allowance	Major Diameter			Pitch Diameter and Functional Diameter [Notes (4), (5)]			UNR Minor Diameter, Max. [Note (6)] (Ref.)	Internal [Note (1)]			Major Diameter, Min.				
		Dia.	Pitch		Class	Max. [Note (2)]	Min. [Note (3)]	Tolerance	Pitch Diameter and Functional Diameter [Notes (4), (5)]			Minor Diameter		Tolerance					
									Max.	Min.		Min.	Max.						
8-36 or 0.164-36	UNF	4.1656	0.7056	2A	0.0203	4.1453	4.0056	...	3.6881	3.6170	0.0711	3.3045	2B	3.4036	3.6068	3.7084	3.7998	0.0914	4.1656
				3A	0.0000	4.1656	4.0259	...	3.7084	3.6551	0.0533	3.3249	3B	3.4036	3.5966	3.7084	3.7770	0.0686	4.1656
10-24 or 0.190-24	UNC	4.8260	1.0583	2A	0.0254	4.8006	4.6177	...	4.1123	4.0284	0.0838	3.5408	2B	3.6830	3.9370	4.1377	4.2469	0.1092	4.8260
				3A	0.0000	4.8260	4.6431	...	4.1377	4.0742	0.0635	3.5662	3B	3.6830	3.9497	4.1377	4.2189	0.0813	4.8260
10-32 or 0.190-32	UNF	4.8260	0.7938	2A	0.0229	4.8031	4.6507	...	4.2875	4.2113	0.0762	3.8583	2B	3.9624	4.1656	4.3104	4.4094	0.0991	4.8260
				3A	0.0000	4.8260	4.6736	...	4.3104	4.2520	0.0584	3.8811	3B	3.9624	4.1681	4.3104	4.3840	0.0737	4.8260
12-24 or 0.216-24	UNC	5.4864	1.0583	2A	0.0254	5.4610	5.2781	...	4.7727	4.6863	0.0864	4.2012	2B	4.3434	4.5974	4.7981	4.9098	0.1118	5.4864
				3A	0.0000	5.4864	5.3035	...	4.7981	4.7320	0.0660	4.2266	3B	4.3434	4.5898	4.7981	4.8819	0.0838	5.4864
12-28 or 0.216-28	UNF	5.4864	0.9071	2A	0.0254	5.4610	5.2959	...	4.8717	4.7904	0.0813	4.3815	2B	4.4958	4.7244	4.8971	5.0038	0.1067	5.4864
				3A	0.0000	5.4864	5.3213	...	4.8971	4.8362	0.0610	4.4069	3B	4.4958	4.7168	4.8971	4.9759	0.0787	5.4864
12-32 or 0.216-32	UNEF	5.4864	0.7938	2A	0.0254	5.4610	5.3086	...	4.9454	4.8641	0.0813	4.5161	2B	4.6228	4.8260	4.9708	5.0749	0.1041	5.4864
				3A	0.0000	5.4864	5.3340	...	4.9708	4.9098	0.0610	4.5415	3B	4.6228	4.8133	4.9708	5.0495	0.0787	5.4864
1/4-20 or 0.2500-20	UNC	6.3500	1.2700	1A	0.0279	6.3221	6.0122	...	5.4966	5.3543	0.1422	4.8108	1B	4.9784	5.2578	5.5245	5.7099	0.1854	6.3500
				2A	0.0279	6.3221	6.1163	6.0122	5.4966	5.4026	0.0940	4.8108	2B	4.9784	5.2578	5.5245	5.6490	0.1245	6.3500
				3A	0.0000	6.3500	6.1443	...	5.5245	5.4534	0.0711	4.8387	3B	4.9784	5.2502	5.5245	5.6159	0.0914	6.3500

Figura 3.24. Selección de diámetros internos, externo ASME B1.1

Fuente: [13] (ASME, 2004)

Una vez definido el diámetro medio del perno en el cálculo anterior se puede observar subrayado en color violeta un valor de:

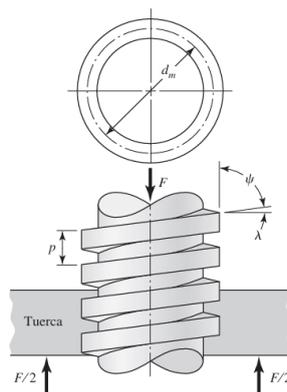


Figura 3.25. Consideración diámetro medio

Fuente: [14] (Budynas & Keith Nisbett, n.d.)

$d_m = 5,4966$  [mm] siendo el más cercano al calculado de manera que el perno se va a definir bajo las siguientes especificaciones:

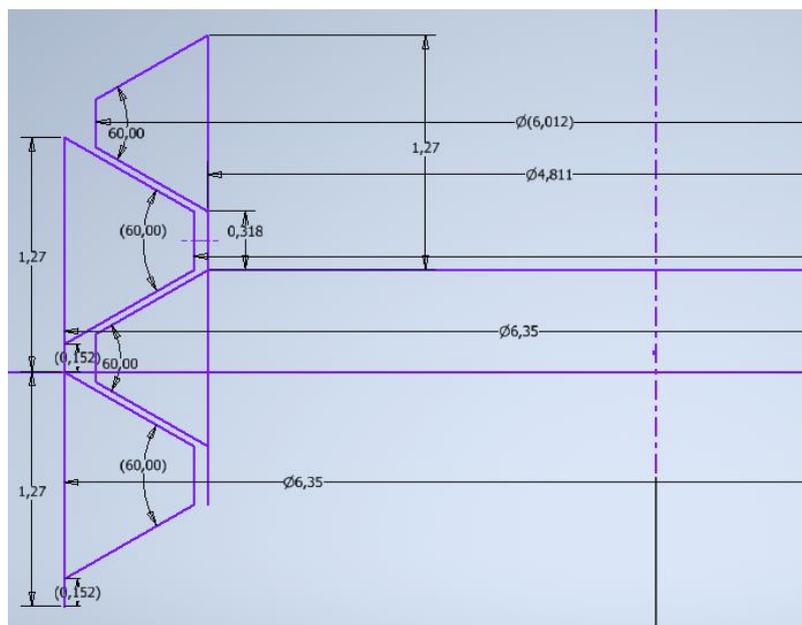
$$1/4 - 20 \text{ pitch } 1,27 \text{ mm}$$

Siendo de ¼ de pulgada de diámetro y 20 roscas por pulgada

**Tabla 3.2.** Diámetros en milímetros de perno y rosca potencia.

Externo [mm]		Interno [mm]	
Diámetro Mayor	Diámetro Menor (dr)	Diámetro Mayor	Diámetro Menor
6,0122	4,8108	6,35	4,9784

Fuente: (Propia)



**Figura 3.26.** Boceto ajuste entre diámetro externo e interno de perno y roca

Fuente: (Propia)

Una vez definido las dimensiones necesarias para el tornillo de potencia también podemos calcular esfuerzos y comprobar si van a trabajar adecuadamente bajo la carga que van a realizar de modo que se puede determinar todo un análisis de esfuerzos a continuación se van a determinar algunos cálculos respecto a este.

### Tornillo para transmitir potencia- Análisis de esfuerzos

Datos:

$$F = 28,55 [N]$$

$$d_m = 5,4966 [mm]$$

$$2\alpha = 60^\circ \rightarrow \alpha = 30^\circ = 1,1547[rad]$$

$$f = 0,08$$

$$l = 1,27 [mm]$$

Diámetro de collarín  $d_c = 12,5 \text{ mm}$

Factor de fricción entre supf. en contacto  $f = 0,08$

- **Par torsión para bajar la carga:**

$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + f l} \right)$$

**Ecuación 3.4.** Par torsión para bajar carga  
Fuente: [14] (Budynas & Keith Nisbett, n.d.)

$$T_L = \frac{28,55 \text{ [N]} \times 5,4966 \text{ [mm]}}{2} \left( \frac{\pi \times 0,08 \times 5,4966 \text{ [mm]} - 1,27 \text{ [mm]}}{\pi \times 5,4966 \text{ [mm]} + 0,08 \times 1,27 \text{ [mm]}} \right)$$

$$\boxed{T_L = 14,77 \text{ [Nmm]}}$$

- **Par torsión para subir la carga:**

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m \sec(\alpha)}{\pi d_m - f l \sec(\alpha)} \right)$$

**Ecuación 3.5.** Par torsión para subir carga  
Fuente: [14] (Budynas & Keith Nisbett, n.d.)

$$\boxed{T_R = 27,38 \text{ [Nmm]}}$$

- **Auto bloqueante:**

$$\pi \times f \times d_m > l$$

$$1,38 > 1,27$$

$$\boxed{\therefore \text{si cumple}}$$

## Esfuerzos nominales en el cuerpo de la rosca

- **Esfuerzo de corte por torsión en el cuerpo:**

Diámetro de la raíz del perno:  $d_r = 4,811 \text{ mm}$ .

$$\tau = \frac{16 T_R}{\pi d_r^3}$$

**Ecuación 3.6.** Esfuerzo de corte por torsión en el cuerpo  
Fuente: [14] (Budynas & Keith Nisbett, n.d.)

$$\tau = \frac{16 \times 27,38 \text{ [Nmm]}}{\pi \times 4,811 \text{ [mm]}}$$

$$\boxed{\tau = 1,25 \text{ [MPa]}}$$

- **Esfuerzo axial en el cuerpo del perno**

$$\sigma = -\frac{F}{A} = -\frac{4F}{\pi d_r^2}$$

$$\boxed{\sigma = -1,570 \text{ [MPa]}}$$

### Esfuerzos nominales en la rosca

- **Carga de aplastamiento o apoyo**

$$\sigma_B = -\frac{2F}{\pi d_m n_t p}$$

Se tiene que:

$F = 0,38 F$  Algunos ensayos evidencian que el primer hilo en contacto tiene la capacidad de soportar una carga equivalente al 0,38 de la fuerza aplicada (F).

$n_t$ : número de hilos trabajando

$p = l$  paso de la rosca

En el proceso de sustituir 0.38F por F y al asignar  $n_t$  como 1, se determinará el nivel máximo de esfuerzos en la interacción entre la rosca y la tuerca.

$$\sigma_B = -\frac{2 \times 0,38 * 28,55 \text{ [N]}}{\pi(5,49\text{mm}) * 1 * 1,27[\text{mm}]}$$

$$\boxed{\sigma_B = -0,98 \text{ [MPa]}}$$

- **Esfuerzo de flexión en la raíz de la rosca:**

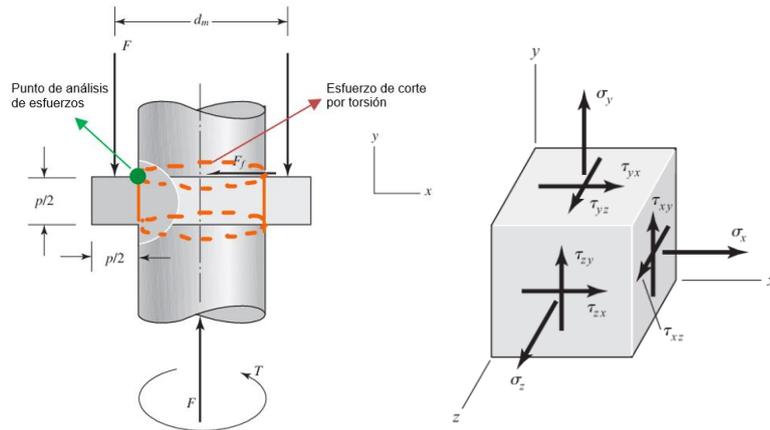
$$\sigma_b = \frac{6F}{\pi d_r n_t p}$$

$$\sigma_b = \frac{6 * 0,38 * F}{\pi d_r * 1 * p}$$

$$\boxed{\sigma_b = 2,6702 \text{ MPa}}$$

- **Esfuerzo de von Mises  $\sigma'$  en la parte superior del plano de la raíz:**

En la región mencionada, no hay presencia de esfuerzo cortante transversal debido a la flexión, ya que solo la fuerza axial contribuye a la carga. Se observa exclusivamente un esfuerzo cortante circunferencial en el extremo de la sección transversal de la raíz de la rosca en el plano yz.



**Figura 3.27.** Esfuerzos normales y cortantes en el extremo transversal raíz de la rosca

Fuente: [14] (Budynas & Keith Nisbett, n.d.)

Cuando la fuerza  $F$  se aplica en el diámetro medio  $d_m$  de la rosca en el punto de análisis de esfuerzos de color verde se obtiene un esfuerzo normal  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  recordamos que  $\sigma_x$  es el esfuerzo de flexión en la raíz de la rosca  $\sigma_x = \sigma_b = 2,67702$  [MPa], también que el esfuerzo  $\sigma_y$  es igual al esfuerzo axial en el cuerpo del perno  $\sigma_y = \sigma = -1,570$  [MPa], y finalmente el esfuerzo de corte por torsión en el cuerpo  $\tau_{yz} = \tau = 1,25$  [MPa].

Usando la ecuación de esfuerzo de von Mises se obtiene que:

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{\frac{1}{2}}$$

**Ecuación 3.7.** Esfuerzo equivalente de Von Mises

Fuente: [14] (Budynas & Keith Nisbett, n.d.)

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (2,67702 - (-1,57))^2 + (-1,57 - 0)^2 + (0 - 2,67702)^2 + 6(0^2 + 1,25^2 + 0^2) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\boxed{\sigma' = 4,30 \text{ MPa}}$$

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

$$n = \frac{47,1 \text{ MPa}}{4,30 \text{ MPa}}$$

$$\boxed{n = 10,95}$$

Este análisis confirma que las roscas específicamente diseñadas para resistir los esfuerzos generados por la fuerza de aplicación en la deformación de la tubería flexible no muestran indicios de alcanzar el límite de falla, según el criterio de deformación plástica de von Mises. Este resultado es significativo, ya que proporciona un margen de seguridad aceptable para el funcionamiento de la válvula, considerando las variaciones en tamaños y espesores de la tubería

flexible de silicona con la cual operará.

- **Esfuerzos equivalentes de Von Mises en la raíz de la rosca determinado por simulación en elementos finitos Ansys.**

En adición se ha realizado la simulación del cálculo de esfuerzos equivalentes de von Mises sobre la raíz de la rosca del perno y se obtuvo los siguientes resultados.

Mallado:

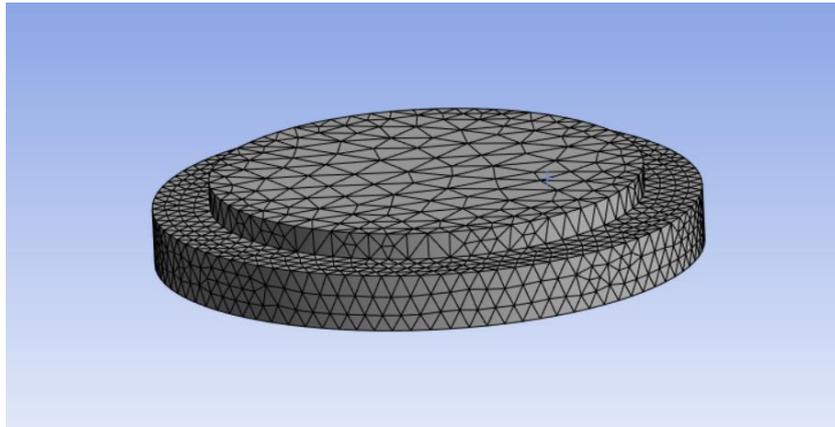


Figura 3.28. Simulación a carga de una rosca en Ansys

Fuente: (Propia)

Esfuerzos Equi. de Von Mises vs Tiempo en la raíz de la rosca:

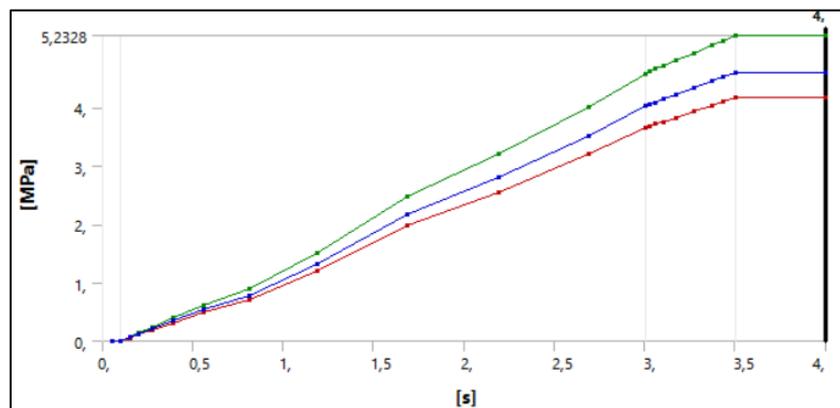
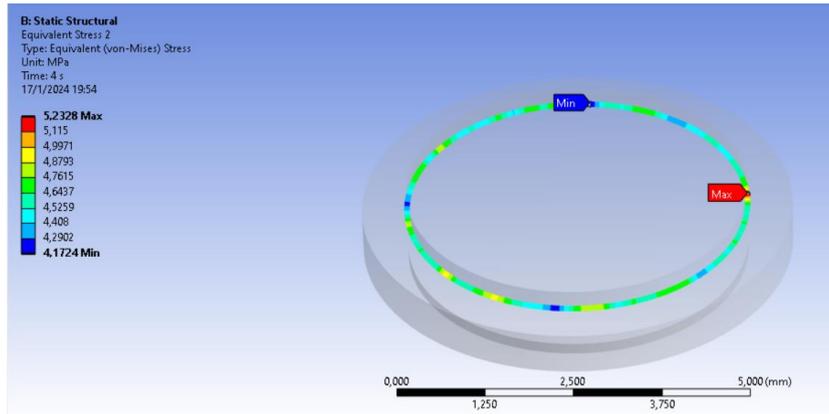


Figura 3.29. Esfuerzos de una rosca bajo carga de trabajo

Fuente: (Propia)



**Figura 3.30.** Esfuerzos equivalentes de Von Mises en la sección crítica rosca.

Fuente: (Propia)

Al realizar el análisis de esfuerzos equivalentes de von mises en la raíz de la rosca. Al comparar los dos resultados tanto el teórico como el de la simulación se puede observar que se encuentran en correlación y el factor de seguridad determinado es aceptable, de modo que trabajara muy bien bajo realizar con la carga indicada.

- **Carga Crítica de Pandeo**

También se puede realizar el cálculo carga crítica de pandeo debido a esfuerzos de compresión en el perno y para ello se le trata como una columna pequeña circular de diámetro  $dm$



**Figura 3.31.** Longitud de perno análisis de pandeo

Fuente: (Propia)

$$\frac{F_{crit}}{A} = S_y - \left( \frac{S_y l}{2\pi k} \right)^2 * \frac{1}{CE}$$

**Ecuación 3.8.** Carga Crítica de Pandeo  
Fuente: [14] (Budynas & Keith Nisbett, n.d.)

Siendo:

$l = 68 \text{ mm}$  Longitud total de la rosca

$C = 4$  Condiciones de extremo de columna

$k = 0.5$  Factor de pandeo

$E = 2,08 \text{ GPa}$  Módulo de Young del filamento ASA.

$S_y = 47,1 \text{ MPa}$  Esfuerzo ultimo a la fluencia del filamento ASA.

$$\frac{F_{crit}}{A} = 47,09 \text{ [MPa]}$$

$$F_{crit} = A * 47,09$$

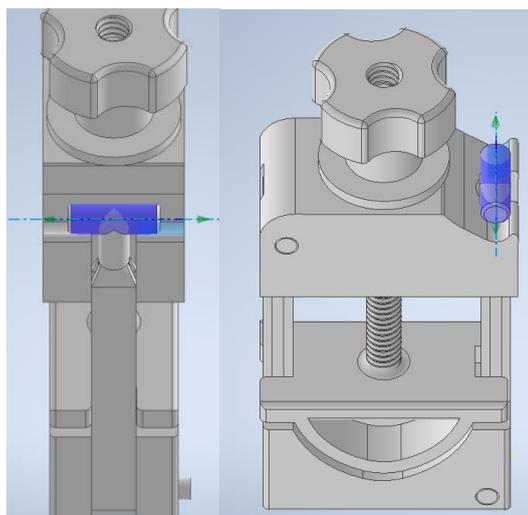
$$F_{crit} = \frac{\pi * d_m^2}{4} * 47,09$$

$$F_{crit} = 2,37E - 5 \text{ m}^2 * 47,09 \text{ MPa}$$

$$F_{crit} = 1,11 \text{ [kN]}$$

Como resultado, se obtuvo la carga crítica de la flexión inestable, si se aplica una fuerza superior a la calculada la pieza entrara en flexión inestable, ya que no se considera la fuerza ejercida por el manguito de goma mucho menor.

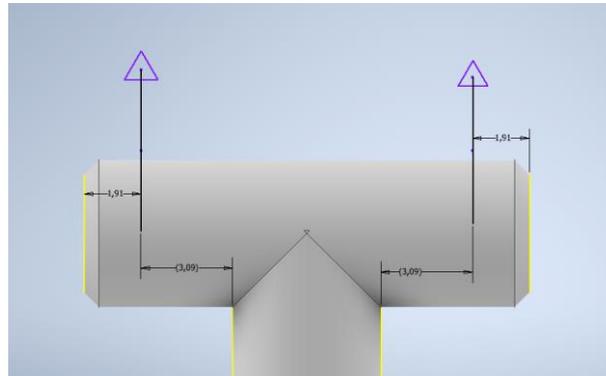
### Análisis de esfuerzos normales en zona crítica de la sección T de brazo



**Figura 3.32.** Sección T de la válvula evaluación de esfuerzos.

Fuente: (Propia)

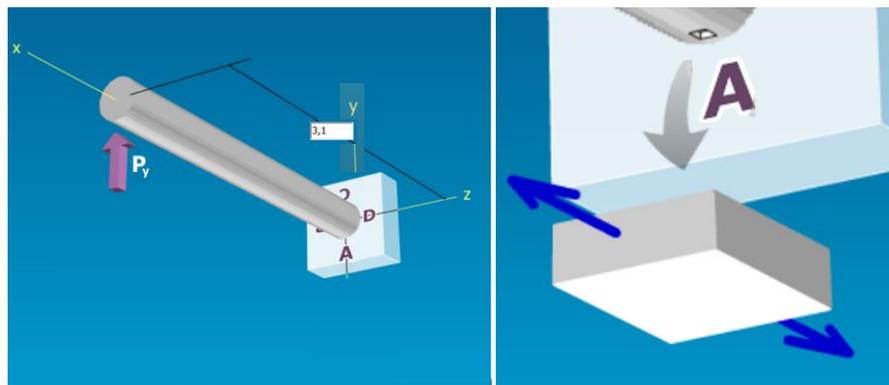
Al observar la sección T se puede observar que la sección crítica es la unión de su sección horizontal y vertical como se puede ver en la siguiente figura y por tal motivo se realizara el cálculo de esfuerzos en esa zona.



**Figura 3.33.** Consideración de cargas puntuales en la sección T

Fuente: (Propia)

Esta sección se la puede representar de la siguiente manera



**Figura 3.34.** Esfuerzos críticos en sección del punto A

Fuente: (Propia)

Esta sección se la puede representar de la siguiente manera

Siendo:

$$P_y = 7,1 \text{ N}$$

Debido a la distribución del esfuerzo normal debido al momento alrededor del eje Z, con una magnitud del esfuerzo de:

$$\sigma_x = \frac{M_z c}{I}$$

En donde:

$M_z$ : Momento alrededor al eje z

$d$  : Diámetro de la viga circular  $d = 5 \text{ mm}$

$c$  : Distancia al eje neutro de la viga circular

$I$  : Inercia de una viga circular

$$I = \frac{\pi * d^4}{64}$$

$$I = \frac{\pi * 5^4}{64}$$

$$I = 30,7 \text{ mm}^4$$

Entonces:

$$\sigma_x = \frac{(7,1 [N] * 3,1 [mm]) * (2,5 [mm])}{30,7 [mm^4]}$$

$$\sigma_x = 1,794 [MPa]$$

$$\sigma_y = 0 [MPa]$$

$$\sigma_y = 0 [MPa]$$

Al realizar el análisis de esfuerzos normales de la sección T del brazo de la válvula en Ansys se obtuvo los siguientes resultados:

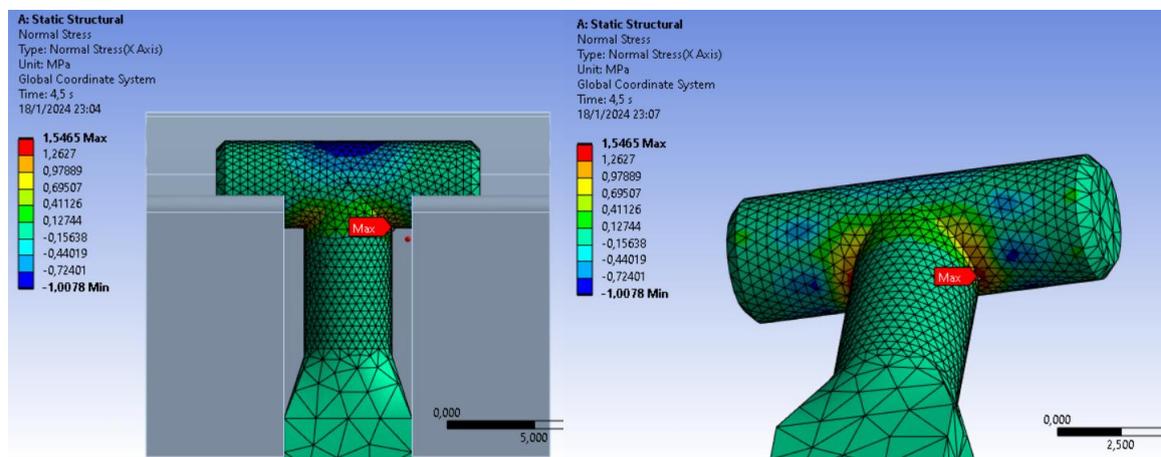


Figura 3.35. Análisis de esfuerzos sección T Ansys.

Fuente: (Propia)

Un esfuerzo equivalente en la misma zona relativa a la que se estimó el esfuerzo máximo siendo este de  $1.54 \text{ MPa}$  con un error relativo de:

$$e = 14\%$$

## Análisis del esfuerzo cortante máximo en los pasadores

A continuación, se tiene el análisis de esfuerzos cortantes en los pasadores de la válvula, en donde el esfuerzo cortante viene dado por:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Tenemos:

$F$ : Fuerza aplicada en una sección del pasador recordando que la fuerza para deformar la tubería flexible es de 28,55 N, de modo que en una sección del pasador va a estar actuando  $\frac{1}{2}$  de la fuerza que actúa en cada brazo es decir  $F = \frac{28,55}{4}$  [N].

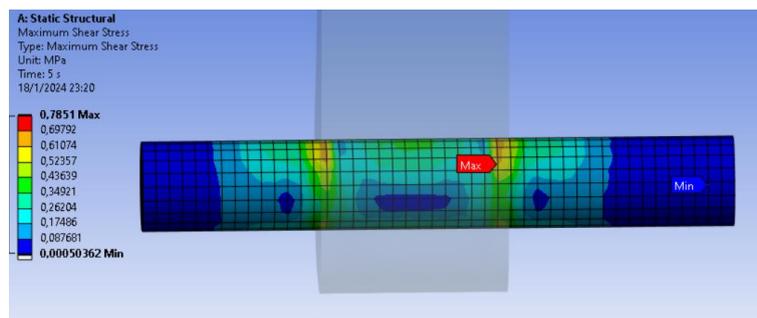
$A$ : Es el área de la sección transversal circular del pasador.

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{\frac{28,55}{4} [N]}{\pi * \frac{(3,5e - 3)^2}{4} [m^2]}$$

$$\tau = 0.741 [MPa]$$

Al realizar el análisis de esfuerzos cortantes de pasadores del brazo de la válvula en Ansys se obtuvo los siguientes resultados:



**Figura 3.36.** Análisis de esfuerzo cortante en pasadores

Fuente: (Propia)

De igual manera a los anteriores cálculos estos no superar los esfuerzos de tensión última del material, calculando el factor de seguridad en base al esfuerzo córtate máximo tenemos que:

$$n = \frac{S_{Sy}}{\tau}$$

$$n = \frac{0.57S_y}{\tau}$$

$$n = \frac{0.57 * (47MPa)}{0.741 MPa}$$

$$n = 36$$

Siendo suficiente para la deformación de manguito de goma, tomando en cuenta que también puede estar sometido a secciones de tubería flexible con mayor sección de área.

## **4. DISEÑO DE DETALLE**

Se va a realizar el plano de conjunto y el plano de taller para cada una de las piezas que involucran la solución virtual elegida con anterioridad.

### **4.1 Plano de conjunto**

El plano de conjunto se encuentra en el Anexo 1 con sus respectivos ajustes.

### **4.2 Plano de taller**

El plano de taller de cada una de las piezas se encuentra en el Anexo 2 con sus respectivos ajustes.

## **5. PROTOTIPO**

Parámetros de construcción del prototipo en impresión 3D

### **5.1 Metodología**

A continuación, se describe la metodología aplicada para la construcción del prototipo funcional, en base a recomendaciones de uso de manufactura aditiva establecidos por ASTM 52910:2018. El software a utilizar en la impresión fue el FlashPrint5, este programa nos brinda la posibilidad diseñar parámetros de impresión de manera intuitiva y gráfica para posteriormente generar y descargar el código G. Dentro de la secuencia a seguir se realizará un diagrama de flujo que resuma el procedimiento realizado desde la creación del modelo. STL de alta calidad por parte de Autodesk Inventor Professional, pasando por la configuración del material, parámetros de relleno, estructura, base. Con la finalidad de optimizar la impresión en el menor tiempo posible sin descuidar la calidad y propiedades estructurales de cada pieza, para su posterior funcionalidad.

### **5.2 Impresora 3D**

La impresora a utilizarse es de la marca FlashForge modelo Creator 3 Pro, como se puede observar en la imagen



**Figura 5.1.** Impresora 3D Creator 3 Pro

Fuente: (Propia)

Equipment Parameter	
Printer Name	Creator 3 Pro
Number of Extruder	2, independent
Printing Technology	Fused Filament Fabrication(FFF)
Touch Screen	4.3-inch color IPS Touch Screen
Build Volume	300x250x200mm
Layer Height	0.05 - 0.4mm
Printing Accuracy	±0.2mm
Positioning Accuracy	Z axis: 0.0025mm; XY axis: 0.011mm
Printing Filament	PLA/ABS/PETG/PA/PC/HIPS/ASA/PLA-CF/ PETG-CF/PACF/WOOD filament
Filament Diameter	1.75mm (±0.07mm)
Extruder Diameter	0.4mm
Printing Speed	10-150 mm/s
Software	FlashPrint
Supported Format	Input: 3MF/STL/OBJ/FPP/BMP/PNG/JPG/JPEG Output: GX/G
Operation System	Win XP/Vista/7/8/10, Mac OS, Linux
Printer Size	627x485x615mm
Net Weight	40Kg
Connectivity	USB Stick, Wi-Fi, Ethernet

**Figura 5.2.** Especificaciones técnicas Impresora Creator 3 Pro

Fuente: [15] (FLASHFORGE, 2023)

## Material

El material usado es el ASA (Acronitrilo-estireno-acrilato) con propiedades similares a los plásticos ABS, con excelentes propiedades mecánicas lo que resulta en gran medida resistente a durabilidad, solidez, y sobre todo resistente al impacto. Además, este filamento es conocido por ser seguro para aplicaciones tanto alimenticias, porque son plásticos que no se ablandan o se deforman a los 60 y 70°. A continuación, se presenta las propiedades del filamento ASA, necesarias para el estudio de parámetros mecánicos que fueron calculados en la sección anterior. El valor del costo promedio en el mercado del filamento es de aproximadamente 30\$.

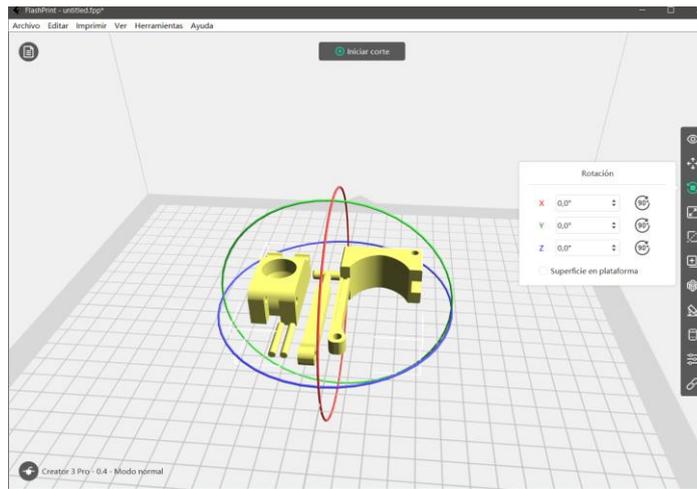
PHYSICAL	CONDITIONS	TEST METHOD	TYPICAL VALUE
Density		ASTM D792	1.05 g/cm <sup>3</sup>
Melt volume-Flow Rate (MVR)		ASTM D1238	12 g/10 min
Molding Shrinkage-Flow	3.20 mm	ASTM D955	0.40 to 0.70 %
<b>MECHANICAL</b>			
Tensile modulus	3.20 mm	ASTM D638	2080 MPa
Tensile Strength	Yield, 3.20 mm	ASTM D638	47.1 MPa
Tensile Elongation	Yield, 3.20 mm	ASTM D638	> 6.0%
	Break, 3.20 mm	ASTM D638	25%
Flexural Modulus	3.20 mm	ASTM D790	2210 MPa
Flexural Strength	3.20 mm	ASTM D790	75.5 MPa
<b>IMPACT</b>			
Notched Impact Strength	23 °C, 3.20 mm	ASTM D256	180 L/m
<b>THERMAL</b>			
Heat Deflection Temperature		ASTM D648	
	0.45 MPa, Unannealed, 6.40 mm		96.0 °C
	1.8 MPa, Unannealed, 6.40 mm		86.0 °C
Vicat Softening Temperature		ASTM D1525	95.0 °C
<b>HARDNESS</b>			
Rockwell Hardness (R-Scale)		ASTM D785	103
<b>FLAMMABILITY</b>			
Flame Rating	1.6 mm	UL 94	HB
	3.1 mm	UL 94	HB

**Figura 5.3.** Propiedades filamento ASA

Fuente: [16] (Intelligy, 2023)

## Software

El software usado para realizar la codificación del código G de las piezas fue el FlashPrint5, dentro del programa se puede importar geometrías en archivos stl, a continuación, se presenta el programa

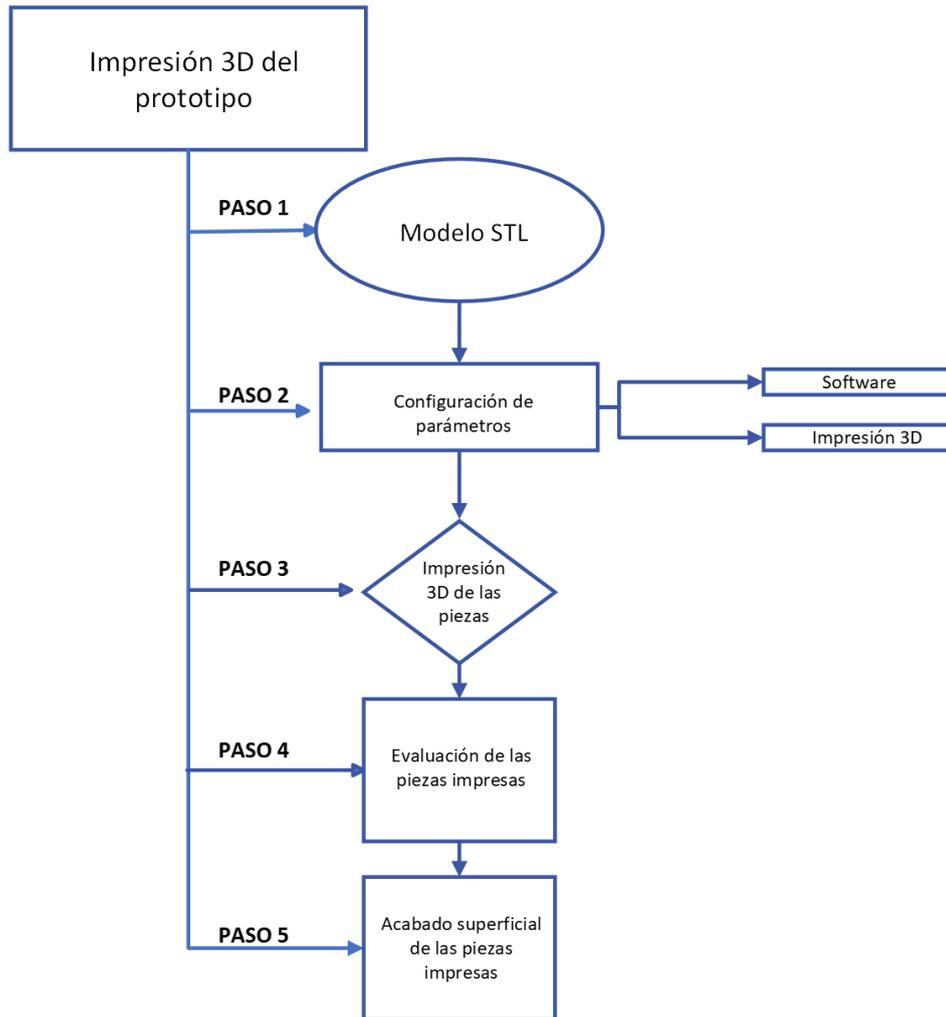


**Figura 5.4.** Software FlashPrint 5

Fuente: (Propia)

### **5.3 Metodología para la impresión del prototipo**

En la siguiente figura se presenta la metodología que se empleó a seguir para obtener la impresión 3D de cada pieza.

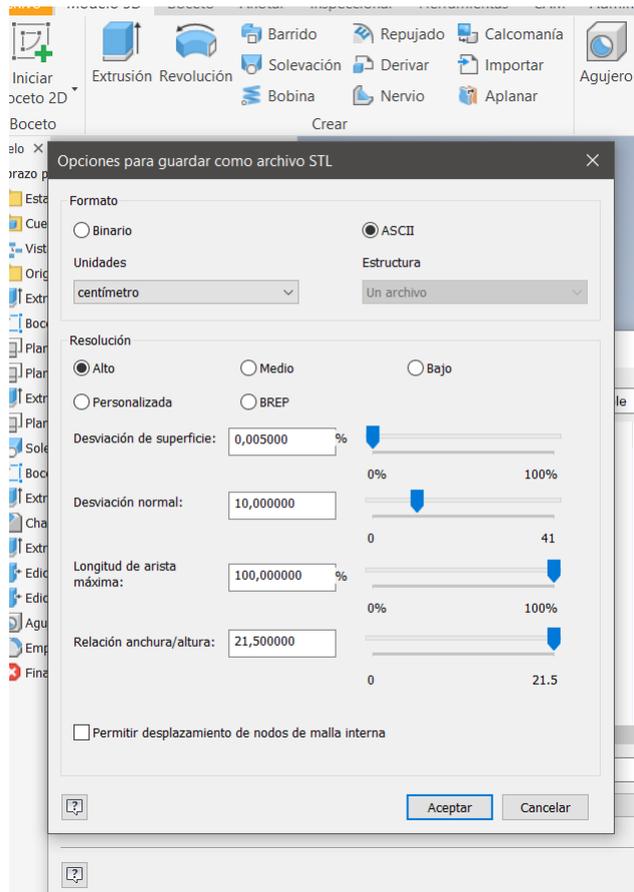


**Figura 5.5.** Metodología impresión 3D

Fuente: (Propia)

○ **Paso 1: Modelo (stl)**

Una vez que se ha parametrizado las piezas en el programa de dibujo 3D Inventor se procede a exportar las piezas a archivos archivo.stl, para esto se ingresa a la pestaña de guardar como y se selecciona archivos stl una vez puesto el nombre damos clic en Opciones para guardar Archivo stl y seleccionamos la siguiente configuración, de preferencia en formato ASCII, unidades en milímetros para luego no sobre escalar en el programa de FlashPrint5, y de alta calidad, esto permite que el archivo conserve detalles y tolerancias pequeñas.



**Figura 5.6.** Configuración alta calidad archivo STL

Fuente: (Propia)

Una vez obtenido las piezas en la extensión necesaria, procedemos a organizar cada pieza para identificar la cantidad de piezas.

**Tabla 5.1** Piezas prototipo

<b><i>Pieza</i></b>	<b>Cantidad</b>
<i>Volante</i>	1
<i>Brazo</i>	1
<i>Mordaza superior</i>	1
<i>Mordaza inferior</i>	1
<i>Pasadores</i>	2
<b><i>Total</i></b>	<b>6</b>

Fuente: (Propia)

Para identificar cada pieza se las codificó de la siguiente manera:  
 XX\_00\_YYY

Donde:

XX: Corresponde a las siglas de la pieza

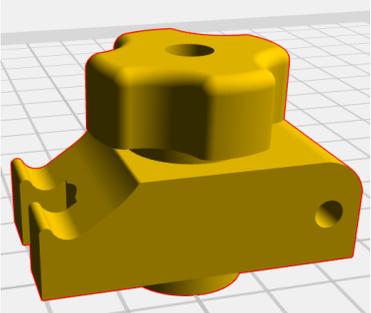
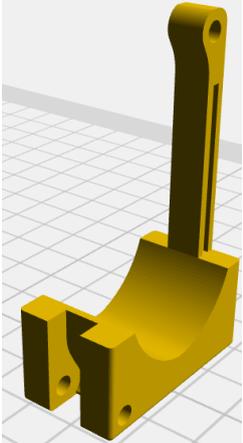
00: El número de piezas

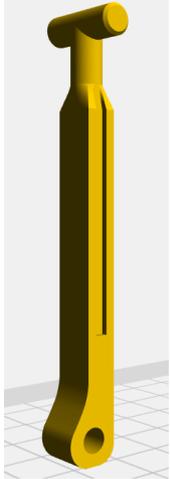
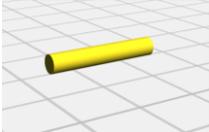
YYY: EL material o filamento usado en la impresión de la pieza

Por ejemplo, tenemos el volante de la válvula, el cual fue impreso en el material ASA. Y su codificación será la siguiente:

VO\_01\_ASA

**Tabla 5.2. Codificación piezas de prototipo**

N° de pieza	Nombre Pieza	Pieza
1	Volante Código: VO_01_ASA	 <p>Fuente: (Propia)</p>
1	Mordaza inferior Código: MI_01_ASA	 <p>Fuente: (Propia)</p>

1	Mordaza Superior Código: MS_01_ASA	 Fuente: (Propia)
1	Brazo Código: BR_01_ASA	 Fuente: (Propia)
2	Pasador Código: PA_01_ASA	 Fuente: (Propia)

Fuente: (Propia)

○ **Paso 2: Configuración de parámetros**

Según la ASTM 52910:2018, los siguientes parámetros son considerados para tener un buen resultado y eficiente proceso optimizando recursos y energía.

- Temperatura de la boquilla y mesa de impresora
- Tiempo de fabricación
- Relleno
- Soportes
- Capas superficiales de acabado

Los parámetros presentados anteriormente se los configura en las siguientes zonas:

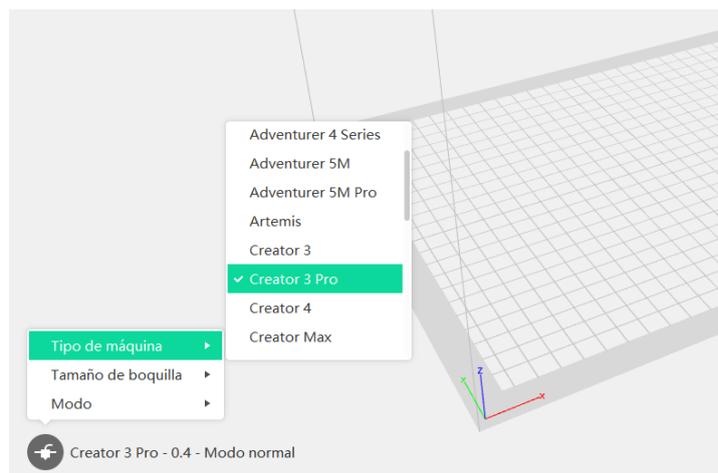
**Tabla 5.3. Parámetros de configuración**

<b>Zonas de configuración</b>	<b>Parámetros</b>
<i>Software e impresora 3D</i>	Temperaturas, mesa y boquillas
<i>Software</i>	Tiempo de fabricación
	Relleno
	Soportes
<i>Pieza</i>	Acabado superficial

Fuente: (Propia)

### Software

Una vez que se haya abierto el programa lo primero que se debe hacer es la configuración de la impresora como se puede observar en la siguiente figura, escogemos la impresora Creator 3Pro



**Figura 5.7. Selección impresora software**

Fuente: (Propia)

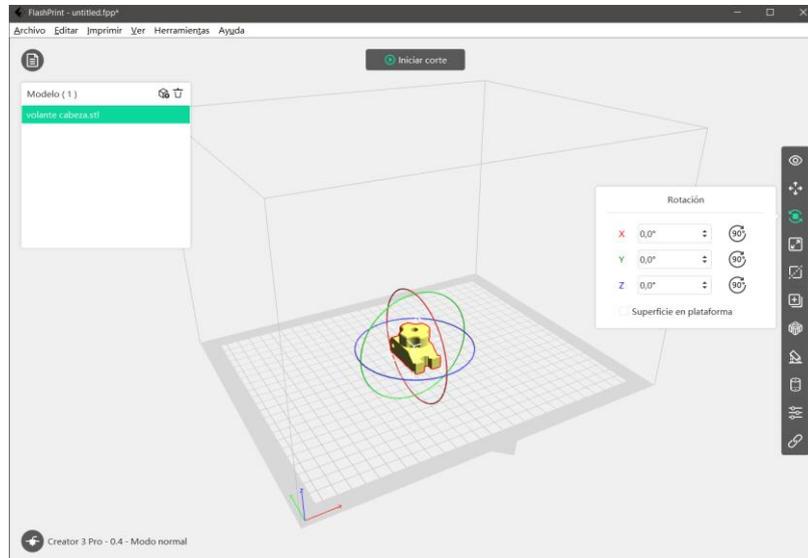
A continuación, elegimos el tamaño de la boquilla el cual debe de ser de 0.4 mm, y en modo de impresión en este caso vamos a seleccionar Normal.



**Figura 5.8. Selección tamaño boquilla**

Fuente: (Propia)

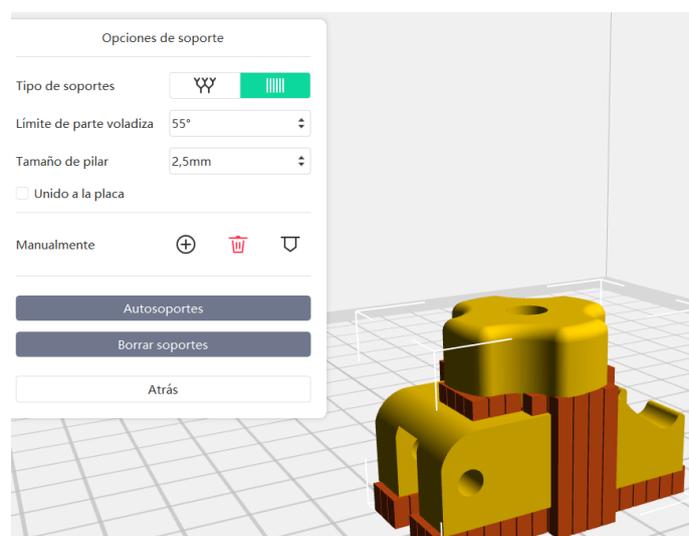
Paso siguiente vamos a importar el archivo de la pieza en formato stl, y verificamos que la pieza sea la correcta, en las opciones verticales de la derecha podemos encontrar, herramientas de rotación, movimiento de la pieza, escalar pieza, duplicar pieza, auto distribuir piezas, soporte de piezas.



**Figura 5.9.** Importar geometrías stl

Fuente: (Propia)

Una vez que hayamos rotado y ubicado la pieza en el lugar que deseamos o sea conveniente, procedemos a colocar los soportes esto ayuda a que la impresión tenga estabilidad y caras que estén en voladizo tengan un soporte y no haya distorsión en la impresión. Para este caso elegimos el tipo de soporte tipo: columna, el tamaño del pilar de 2.5 mm, y aplastamos en autosoportes, esto creará soportes en dónde el programa crea conveniente con la finalidad de estabilizar la impresión y no exista distorsión en las piezas.



**Figura 5.10.** Colocar autosoportes estructura.

Fuente: (Propia)

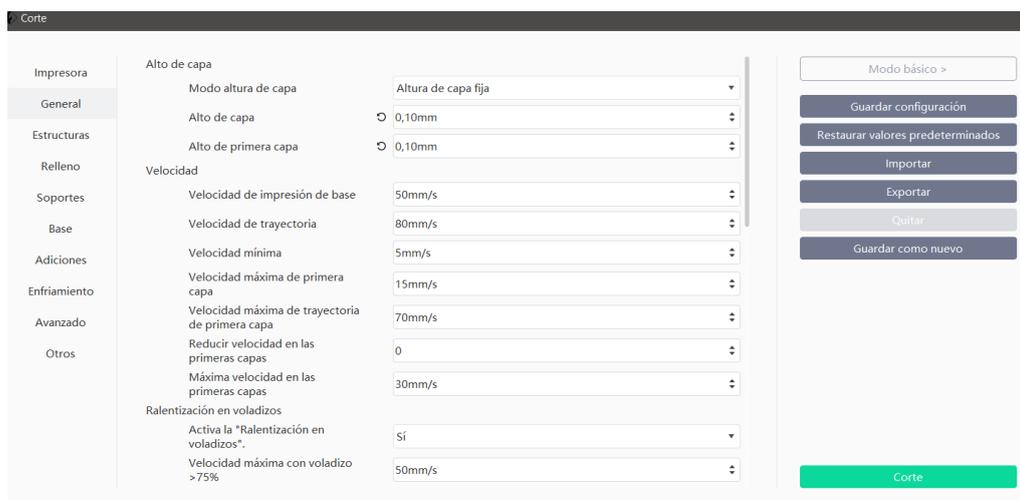
Paso siguiente damos en iniciar corte, dentro de esta ventana encontraremos parámetros de impresora, para este caso se ha configurado de la siguiente manera eligiendo, el material Filamento ASA cómo parámetro principal, puesto que el programa configura los parámetros automáticamente y se encuentra ya en una configuración estándar



**Figura 5.11.** Conf. Parámetros impresora

Fuente: (Propia)

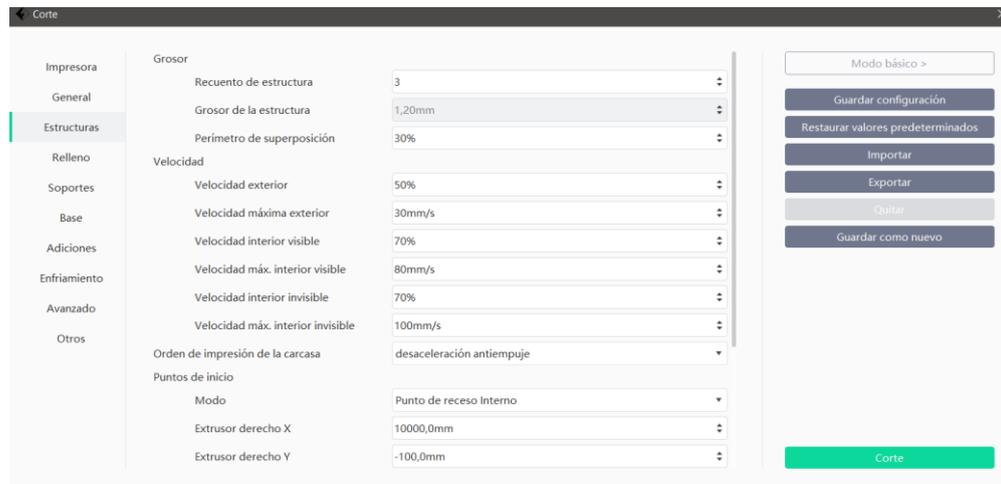
En el siguiente parámetro General se procede a configurar el alto de capa, siendo el más indicado para este caso de 0.1 mm cómo se puede observar en la siguiente figura, los parámetros de velocidad están configurados de acuerdo con el fabricante y no los moveremos en este caso.



**Figura 5.12.** Configuración altura de capa

Fuente: (Propia)

En el siguiente parámetro de configuración Estructura configuraremos el recuento de estructura cómo se observa en la siguiente gráfica.



**Figura 5.13.** Configuración estructura modelo impresión

Fuente: (Propia)

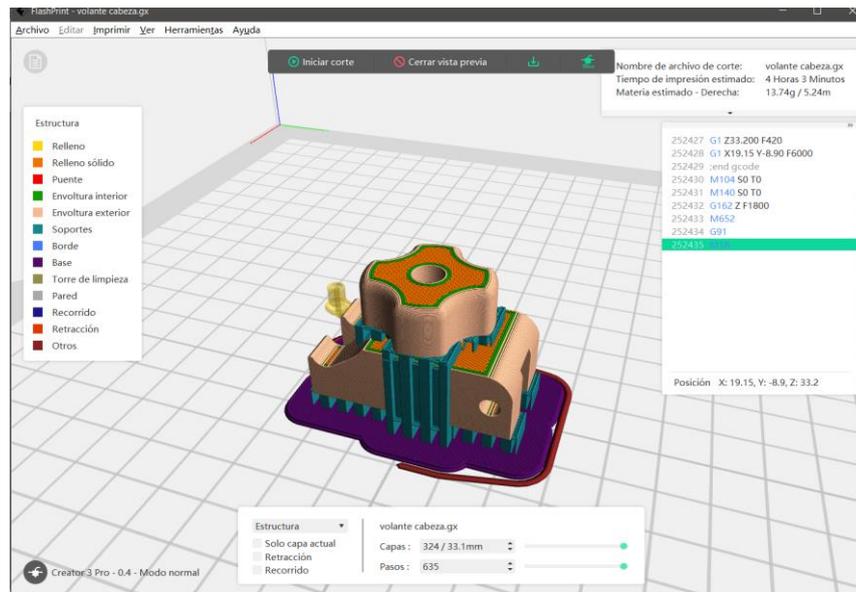
En el relleno se utilizará una densidad del 20%, con los siguientes capas sólidas: 3, y una densidad de patrón hexagonal con la finalidad de rellenar la estructura interna y que exista menos volumen hueco, recordando que los parámetros calculados toma secciones transversales con áreas sólidas, de modo que es recomendable rellenar de esta manera, sin embargo por parámetros de optimización de la impresora 3D, y tiempo de impresión no podemos hacer un relleno 100% porque tardaría mucho tiempo y gasto, configurando de la siguiente manera, de la misma manera los parámetros de velocidad se los deja por defecto.



**Figura 5.14.** Configuración relleno impresión

Fuente: (Propia)

Una vez finalizado los parámetros de configuración de la impresión, se obtiene el código g y una representación gráfica de la trayectoria que va a seguir la boquilla de la impresora cómo se puede observar en la siguiente figura, además nos da un tiempo estimado de impresión en este caso es de 4 horas, también la cantidad de material estimado en la impresión en este caso es de 5.24 m de filamento ASA.

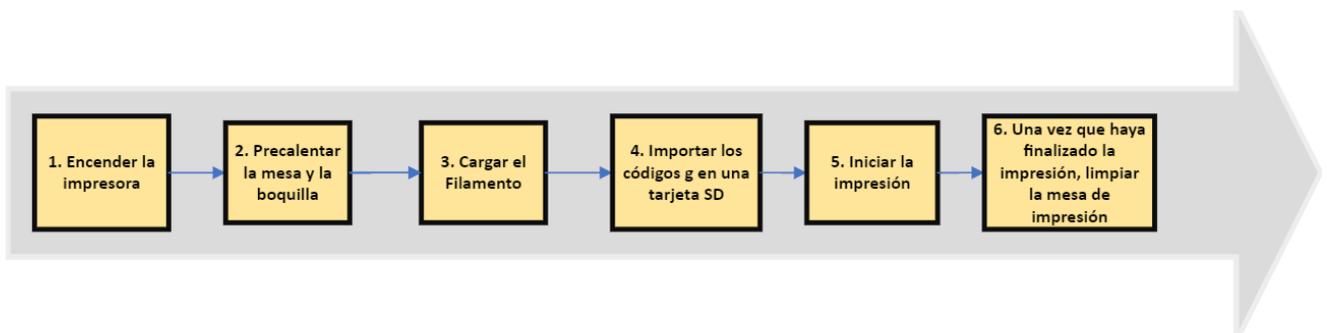


**Figura 5.15.** Generación del código g y trayectoria visual del prototipo

Fuente: (Propia)

### ○ Paso 3: Impresión 3D

Una vez configurados los parámetros en el programa FlashPrint5 se prepara la impresora para iniciar el proceso de impresión a continuación se muestra el resumen la secuencia a seguir para ejecutar el proceso de impresión



**Figura 5.16.** Procedimiento de impresión

Fuente: (Propia)

La temperatura de la boquilla y la mesa de la impresora FlashForge se testeó en:

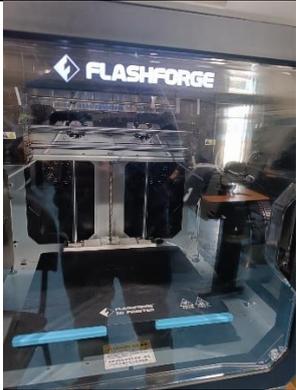
**Tabla 5.4** Temperatura de mesa y boquilla

Impresora 3D	Temperatura
Mesa	110C°
Boquilla extrusora derecho	248 C°/250C°

Fuente: (Propia)

Una vez que la impresora ha alcanzado estas temperaturas tanto en la mesa como en la boquilla se procede cargar las piezas, desde un flash memory o tarjeta SD en código g,

**Tabla 5.5.** Procedimiento de impresión

Secuencia	Descripción	Figura
1	Se enciende la impresora, mediante el botón encendido posterior de verificar que se encuentre conectada a la red eléctrica.	 Fuente: (Propia)
2	La impresora precalienta la boquilla y la mesa en las temperaturas mencionadas	 Fuente: (Propia)

3	Se carga el filamento la parte lateral de la impresora, esta procederá a la cargar automática del mismo al ser colocado dentro del orificio del extrusor	 <p>Fuente: (Propia)</p>
4	Las piezas imprimir deberán ser importadas mediante un flash a la impresora, una vez importada se podrá verificar su nombre y forma como en la foto de la derecha.	 <p>Fuente: (Propia)</p>
5	Inicio de la impresión, esta impresora cuenta como un panel táctil, y una pantalla en el cual se puede observar parámetros y avances de la impresión.	 <p>Fuente: (Propia)</p>
6	Una vez finalizada la impresión se procede a despegar las piezas. En la primera imagen la pieza se encuentra sobre la mesa de impresión en este caso el material no dejó residuos sobre la mesa finalizando el despegue de las piezas cómo se puede observar en la segunda fotografía.	 <p>Fuente: (Propia)</p>  <p>Fuente: (Propia)</p>

--	--	--

○ **Paso 4: Evaluación de las piezas impresas**

Una vez que ha finalizado la impresión de las piezas se procedo a su respectiva evaluación dando como resultado las siguientes observaciones:

**Tabla 5.6.** Evaluación de piezas impresas

Nombre Pieza	Observación	Pieza
Volante Código: VO_01_ASA	Sin novedad, acorde al diseño.	 Fuente: (Propia)
Mordaza inferior Código: MI_01_ASA	Sin novedad acorde al diseño	 Fuente: (Propia)
Mordaza Superior Código: MS_01_ASA	Sin novedad acorde al diseño	 Fuente: (Propia)

Brazo Código: BR_01_ASA	Sin novedad acorde al diseño	 Fuente: (Propia)
Pasador Código: PA_01_ASA	Sin novedad acorde al diseño	 Fuente: (Propia)

Fuente: (Propia)

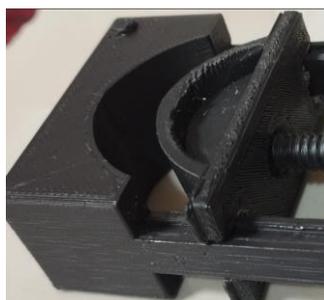
○ **Paso 5: Acabado superficial de las piezas impresas**

Como resultado de la impresión los acabados superficiales quedan en base a las configuraciones de los parámetros antes de generar el código g, a continuación, se presenta las superficies de algunas de las piezas impresas, como se puede observar al ser un elemento manufacturado por tecnología aditiva van a tener un coeficiente de rugosidad que se puede observar en las imágenes, pero como estas son muy pequeñas y las piezas de buen precisión por capacidad de la impresora, son aceptables incluso al realizar el ensamblaje son completamente funcionales como se puede observar las figuras de Anexos 1.



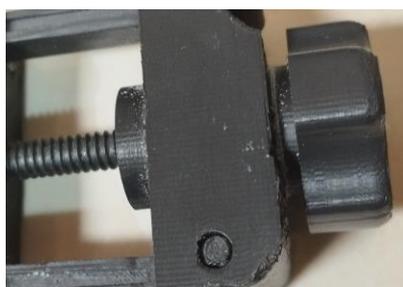
**Figura 5.17.** Pieza despegada de mesa impresora 3D

Fuente: (Propia)



**Figura 5.18.** Pieza limpia de soportes y ensamblada.

Fuente: (Propia)



**Figura 5.19.** Detalles de superficie de volante y mordaza superior válvula

Fuente: (Propia)

## 6 Presupuesto y análisis económico del prototipo

Una vez que se realizó el diseño de detalle y se ha obtenido el prototipo funcional de la válvula de pinzas, se procede a realizar el análisis de costos para la fabricación del prototipo.

Para la obtención de las geometrías STL una vez definido los parámetros mínimos que deben tener las piezas para realizar un óptimo trabajo se considera que debe tener un costo máximo presentado en la tabla 6.1. Este valor es para la obtención de parámetros de las piezas CAD no necesariamente se sumará este total de costo por unidad de pieza, ya que a través del diseño del prototipo se podrán hacer cualquier cantidad de piezas necesarias, para ellos es necesario un estudio aparte del punto de equilibrio y determinar a partir de cuantas unidades vendidas compensará este costo, sin embargo, para la obtención del prototipo se lo va a tomar en cuenta.

**Tabla 6.1.** Costo por producción ingeniería, diseño CAD

Costo diseño prototipo 3D			
Detalle	\$/h	h	total \$
Costo de diseñador mecánico 3D	8	12	<b>96</b>

Fuente: (Propia)

A partir de la obtención del modelado de las piezas 3D, el operador de la impresión definirá los parámetros necesarios de cada pieza tanto de relleno, estructura, base, soportes, etc. Los cuales definirán la cantidad de material en gramos y el tiempo en horas que tardaría la impresora seleccionada en terminar cada pieza. En la siguiente Tabla 6.2. se indica estas características de cada pieza, para posteriormente realizar un análisis de costos.

**Tabla 6.2.** Tiempo de fabricación [h] y peso [kg] de cada pieza impresa

Tiempo de fabricación de piezas impresas		
Pieza Código	Pesgo [kg]	Tiempo [h]
VO_01_ASA	0,01671	5,23
MI_01_ASA	0,01191	3,23
MS_01_ASA	0,00944	3,61
BR_01_ASA	0,00401	0,93
PA_01_ASA	0,00093	0,18
<b>Total</b>	<b>0,043</b>	<b>13,18</b>

Fuente: (Propia)

Una vez determinado el tiempo total de impresión de todas las piezas es posible realizar el cálculo del costo promedio del consumo de energía eléctrica mientras dure la impresión de todas las piezas de prototipo, este resultado se muestra en la Tabla 6.3 y se lo realizo obteniendo datos reales como se muestran.

**Tabla 6.3.** Consumo de energía eléctrica durante la impresión

Costo energía impresora 3D	
Coste electricidad [\$/kWh]	0,15
Consumo promedio impresora 3D [KW]	0,5
Coste electricidad por hora	0,075
<b>Electricidad [\$]</b>	<b>0,9885</b>

Fuente: (Propia)

Para determinar el valor real de costo del prototipo no podemos dejar de lado el costo de uso de la impresora 3D, a pesar de que no es necesario comprar la maquina y tranquilamente es posible contratar una empresa que brinde este servicio, es necesario determinar siendo válido para llegar a un costo real de la obtención del prototipo. A continuación, en la Tabla 6.4. se determina un costo significativo de uso de la impresora 3D para la fabricación del prototipo en base a las horas de impresión que se determinó anteriormente.

**Tabla 6.4.** Costo por uso impresora 3D

Consideración uso impresora 3D	
Coste de la impresora [\$]	3000

Tiempo amortización [años]	1
Días de uso por año [días]	250
Horas de uso por día [h]	8
Coste amortización [\$/h]	1,5
<b>Coste por amortización [\\$]</b>	<b>19,77</b>

Fuente: (Propia)

Como se planteó en el procedimiento se debe realizar operaciones de preparación de la impresora, y también operaciones de supervisión y posproducción de modo que es necesario la colaboración de un operario, a continuación, en la Tabla 6.5 se toma en cuenta.

**Tabla 6.5.** Costo de pre y posproducción

Coste operario [\\$]	
Operador impresor 3D [\$/h]	10
Tiempo de preparación [h]	0,5
Tiempo de posproducción [h]	0,5
<b>Preparación [\\$]</b>	<b>5</b>
<b>Posproducción [\\$]</b>	<b>5</b>

Fuente: (Propia)

El costo del filamento ASA puede variar muy poco en el mercado, por lo general se encuentra a un precio de \$30 el kilogramo, y viene en su presentación de bobina tal como se mostro anteriormente, en la siguiente Tabla 6.6, se determinó el costo en base a los kg del prototipo.

**Tabla 6.6.** Costo de material por la impresión prototipo

Coste material [\\$]	
Costo material [\$/kg]	30
<b>Plástico [\\$]</b>	<b>1,29</b>

Fuente: (Propia)

En la siguiente Tabla 6.7 se muestra el valor total del costo de impresión del prototipo impreso, además se toma en cuenta un porcentaje de fallos al realizar la impresión por motivos de configuración de parámetros o variables que no se consideran durante la impresión siendo este de 10% en promedio, finalmente se tiene un total de \$35,25 el costo solo de impresión, sin embargo, el costo de diseño y cálculo también tiene su lugar en la obtención de prototipo siendo el valor real de \$131,25.

**Tabla 6.7.** Costo prototipo total

Coste prototipo [\\$]	
Subtotal costo impresión prototipo	33,96

Tasa de fallos en impresión %	10,00%
Coste fallos [\$]	3,2
Costo impresión por unidad [\$]	35,25
Costo Total prototipo [\$]	131,25

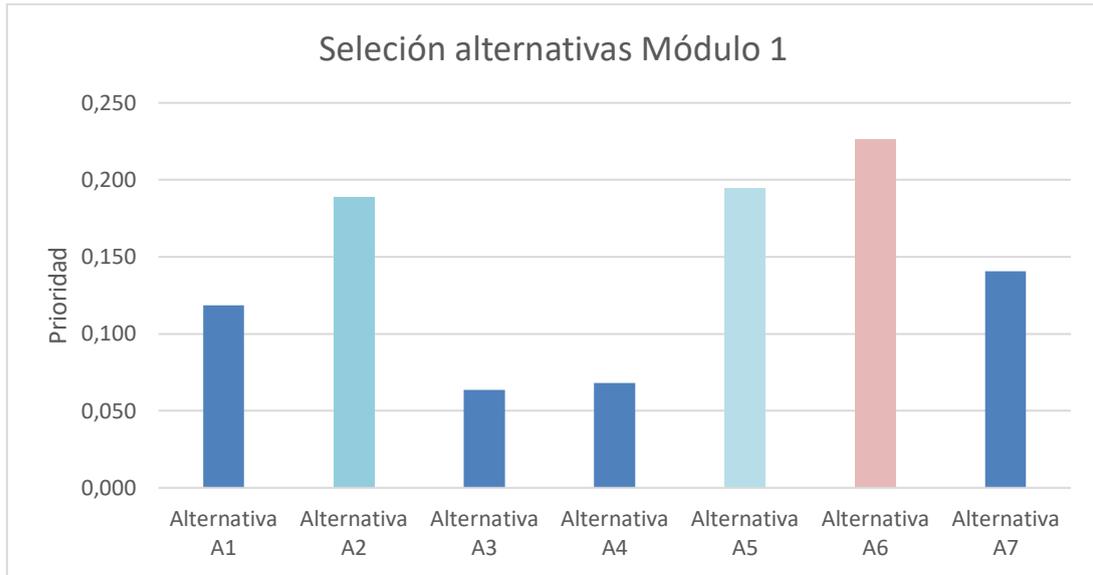
Fuente: (Propia)

## 7 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Resultados

A partir de las conclusiones derivadas del análisis de la Casa de la Calidad, se identificaron las especificaciones técnicas cruciales para el diseño conceptual. Estas incluyen la capacidad de ser autolimpiables, la gestión de la complejidad, el aislamiento del sistema de control y el cumplimiento de estándares de seguridad médica. Este proceso condujo al establecimiento de funciones primarias y módulos, generando así alternativas de diseño para cada función, como se detalla en la Figura 2.6. La evaluación de estas alternativas resultó en siete opciones, siendo la Alternativa A6 la de mayor prioridad, además las Alternativas A5 y A2 compartieron la misma prioridad.

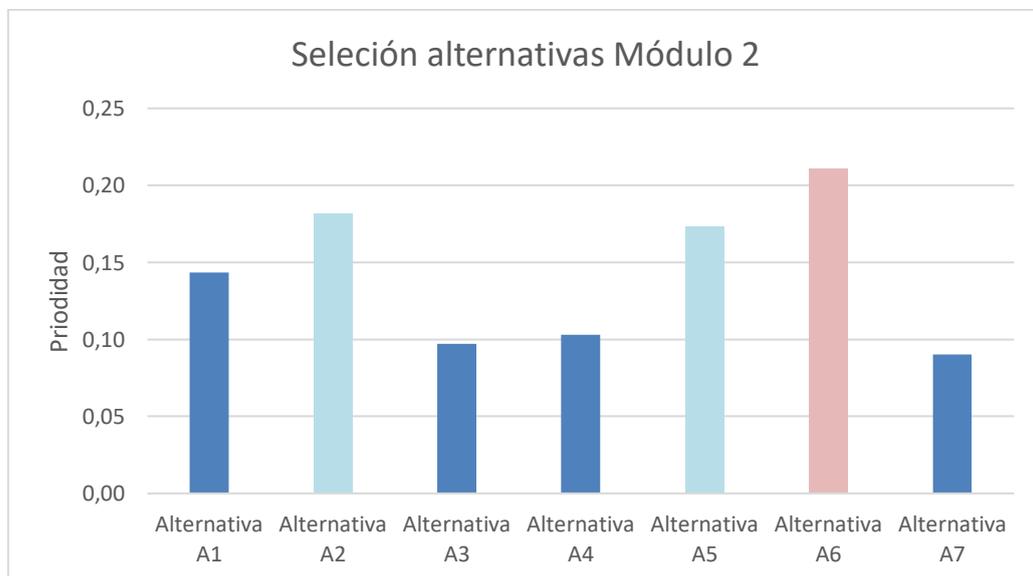
En el módulo 1, relacionado con el paso o ingreso del flujo, se concluyó que el sistema de la válvula acoplado a una tubería flexible, comúnmente utilizada en el ámbito médico, es preferible para evitar intervenciones que podrían aumentar el riesgo de contaminación. La Alternativa B2 es la mejor, donde la válvula actúa como un sistema de estrangulación externo adaptable a la tubería flexible, fue considerada más recomendable, ya que minimiza la posibilidad de contaminación y maximiza la eficiencia en el manejo de fluidos biológicos.



**Figura 7.1.** Alternativas prioritarias módulo 1

Fuente: (Propia)

En el módulo 2, referente al ensamblado del sistema de estrangulación, la Alternativa A6 destacó por su velocidad de ensamblado, menor cantidad de piezas y bordes de sujeción, lo que garantiza un rápido montaje, adaptabilidad y robustez, sin comprometer la precisión en el control del flujo.

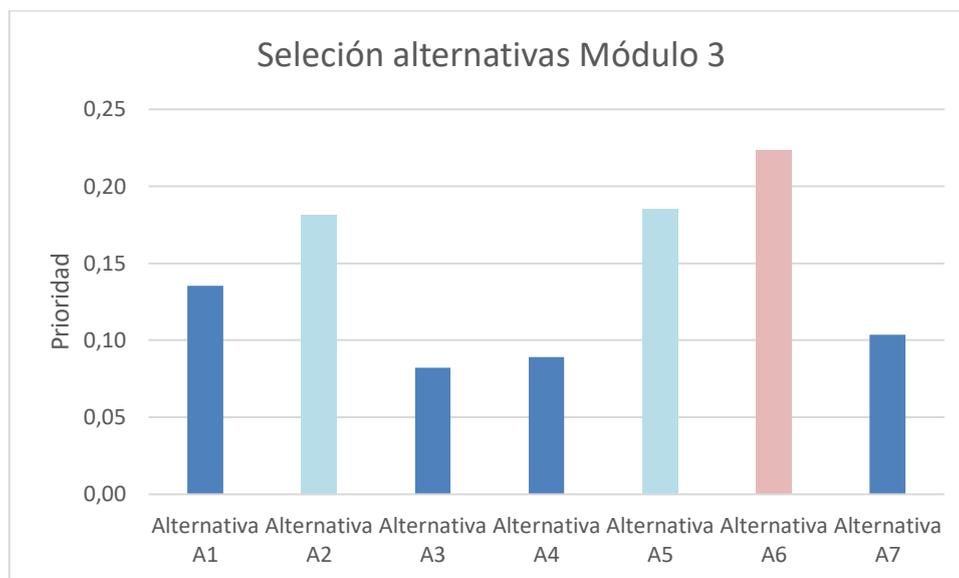


**Figura 7.2.** Alternativas prioritarias módulo 2

Fuente: (Propia)

En cuanto al módulo 3, relacionado con la solución de control, las Alternativas A6, A5 y A2 compartieron ponderaciones similares, destacándose por su control mecánico que ofrece mayor precisión, ajuste y controlabilidad, siendo más adecuadas para entornos médicos en comparación con sistemas neumáticos, eléctricos o manuales. Tal como se puede observar en

la siguiente Figura a partir de los resultados.



**Figura 7.3.** Alternativas prioritarias módulo 3

Fuente: (Propia)

En la determinación del esfuerzo normal de la tubería flexible, se comparó con los resultados de la simulación bajo condiciones óptimas de mallado y material hiperelástico adecuado, demostrando un esfuerzo de deformación de la silicona médica con un satisfactorio error relativo del 6.16%. Esto permitió determinar el diámetro mínimo del perno de potencia para soportar la carga de trabajo y deformar el manguito de goma sin dificultad, como se detalla en la sección 3.2 de Cálculos. Además, el análisis estructural verificó la seguridad de otras partes críticas. En la siguiente Tabla 6.1 se muestra el valor del error porcentual de los cálculos realizados confirme fue necesario por ejemplo al determinar el esfuerzo normal de deformación de una tubería flexible de silicona se obtuvo un valor teórico de 0.21 MPa, de igual manera una vez que se ha determinado los parámetros de simulación tomando en cuenta tanto el material hiperelástico, el mallado nos da como resultado un valor de 0.197MPa, finalmente calculando un error de 6.19% que se lo considero aceptable para derivar las otras especificaciones mínimas las piezas que conforman la válvula.

**Tabla 7.1.** Errores relativos valores esfuerzos teóricos vs simulados

DESCRIPCIÓN	Valor teórico calculado [MPa]	Valor simulación [MPa]	Error %
Esfuerzo normal deformación manguito	0,21	0,197	6,19
Esfuerzos equivalentes de Von Mises en la raíz de rosca	4,3	5,23	21,63
Esfuerzo en sección t del brazo válvula	1,794	1,54	14,16
Esfuerzo cortante máximo pasadores válvula	0,741	0,7851	5,95

Fuente: (Propia)

En cuanto a la impresión 3D de las piezas finales del prototipo, como se muestra en la tabla 5.6 y la figura 5.31, no presentó novedades significativas, obteniendo piezas robustas, consistentes y con buen acabado superficial. La funcionalidad del prototipo fue confirmada al observar cómo la mordaza superior de la válvula o la pieza MS\_01\_ASA enroscaban y trabajaban eficientemente con la pieza volante o VO\_01\_ASA, como se ilustra en la Figura 9.1 a 9.5 del Anexo 1 comprobando su funcionalidad y sellado del manguito de goma. Este resultado respalda la eficacia y confiabilidad del diseño propuesto.

Finalmente, el análisis de costos del prototipo revela que la fabricación del prototipo de la válvula de pinzas resulta económicamente viable en comparación con opciones disponibles en el mercado. Mientras que las válvulas similares disponibles comercialmente se cotizan a un costo significativamente más alto, el prototipo ofrece una alternativa más asequible sin comprometer la calidad y funcionalidad, el valor del prototipo viene a costar \$35,25 a diferencia de las válvulas de la misma función llegando a un precio de 2.5 veces más que la presentada en este proyecto.

## **7.2 Conclusiones**

- La fase de cálculos y simulaciones realizadas en el estudio arrojó resultados altamente satisfactorios, respaldando la viabilidad y eficacia del diseño propuesto para la válvula de pinzas. La implementación de análisis de elementos finitos permitió establecer las especificaciones mínimas necesarias para cada componente, considerando factores como la resistencia estructural y la deformación bajo condiciones óptimas.
- El estudio estático estructural evaluó posibles fallos o rupturas en cada componente, ofreciendo una visión detallada de la integridad y durabilidad del diseño. La simulación incluyó consideraciones realistas, como el uso de materiales hiperelásticos con modelos como los descritos: Ogden y otros que se ajustan muy bien al predecir comportamiento de la deformación de silicona pura de uso médico y la simulación del comportamiento de materiales plásticos como el filamento ASA muy similar a los plásticos ABS. Estos enfoques contribuyeron a una comprensión más completa y precisa de cómo la válvula respondería a situaciones del mundo real, especialmente en entornos médicos donde la sensibilidad y control del fluido tratado es de suma importancia.

- Los resultados obtenidos no solo respaldan la robustez del diseño propuesto, sino que también proporcionan información valiosa para la optimización continua del prototipo. La combinación de cálculos y simulaciones se revela como una herramienta esencial en la validación y refinamiento del diseño, ofreciendo una sólida base para la implementación práctica de la válvula de pinzas en aplicaciones futuras.
- Se realizó un análisis detallado de los costos asociados con la fabricación del prototipo, considerando factores como el diseño CAD, la impresión 3D, el consumo de energía, el costo de la impresora, la mano de obra y el material utilizado, en donde el análisis concluye que la fabricación del prototipo resulta económicamente viable, ofreciendo una alternativa más asequible en comparación con las válvulas disponibles en el mercado, sin descuidar las expectativas esperadas de control del fluido tratado.
- La metodología integral y los resultados obtenidos contribuyen significativamente al campo de estudio y desarrollo de dispositivos para el manejo de fluidos biológicos, especialmente aquellos de naturaleza sensible. El diseño y prototipo de la válvula de pinzas no solo demuestran su eficiencia en términos de costos sino también su aplicabilidad en campos médicos y otras industrias donde la accesibilidad y la eficiencia son cruciales.

### **7.3 Recomendaciones**

- Ajustar cuidadosamente los parámetros de impresión para cada pieza, considerando la función específica de cada una. La modificación del porcentaje de relleno debe ser adaptada según la robustez requerida, asegurando una respuesta funcional acorde a las cargas previstas.
- Evaluar la posibilidad de migrar el prototipo a técnicas de manufactura que eliminen volúmenes huecos, preservando la consistencia estructural. La transición a métodos que fusionen completamente el material puede aumentar la durabilidad y resistencia del prototipo, ya que al estar compuesto por capas tiene el inconveniente de sufrir rupturas por esfuerzos de torsión y cortante.

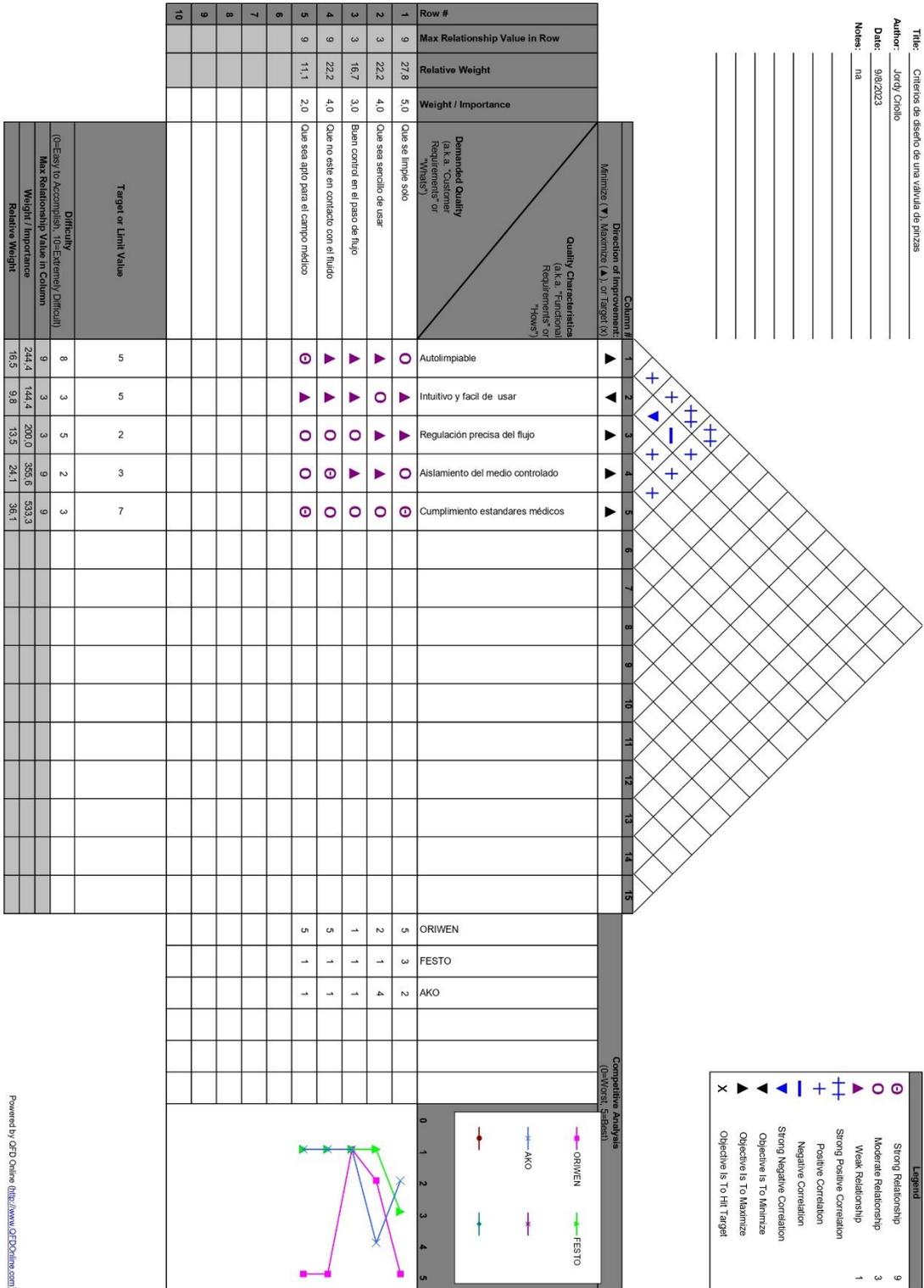
## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sivaranjith. (2018, March 7). pinch | Instrumentation and Control Engineering. Instrumentation and Control Engineering. <https://automationforum.co/basics-pinch-valves/pinch/>
- [2] FONTANERIAcaceres.es video. (2017, August 27). Como cortar el agua en tubería de polietileno, (estrangulador casero). <https://www.youtube.com/watch?v=DbKvj3uUHG>
- [3] Anup Kumar Dey. (2017, July 12). What is a Pinch Valve? Working, Types, Selection, and Advantages of a Pinch Valve (With PDF). What Is Piping. <https://whatispiping.com/pinch-valve/>
- [4] Rfvalve. (2019). Pinch Valves - High Performance | RFValves. Rfvalve.Com. <https://www.rfvalve.com/product-types/pinch-valves>
- [5] AKO. (2023, May). Pinch Valve Applications for Free Flow Valves Without Restriction. AKO UK Pinch Valves. <https://www.pinch-valves.com/pinch-valve-applications/>
- [6] Flix Instrumentación. (2023, January 23). Article headline. Mantenimiento Industrial. <https://www.flix-instrumentacion.com/blog/las-valvulas-en-la-industria-alimentaria>
- [7] AKO. (2024). AKO Válvula mecánica de manguito. Valvulas-de-Manguito.Es. <https://www.valvulas-de-manguito.es/productos/valvulas-de-manguito-mecanicas.html>
- [8] EQUIPO DE INGENIEROS FUVALVE. (2020, December 15). Válvulas resistentes a la abrasión - EQUIPO DE INGENIEROS FUVALVE. EQUIPO DE INGENIEROS FUVALVE. <https://www.fuvalve.com/es/abrasion-resistant-valves/>
- [9] Avantor Fluid Handling. (2024). [EN]VALVE 12V PINCH NC 1/32 X 3/32 1 \* 1 UN. VWR. <https://es.vwr.com/store/item/EU7110749/masterflex-solenoid-operated-pinch-valves-avantor>
- [10] Carles Riba Romeva. (2002). Diseño concurrente Carles Riba i Romeva.
- [11] GoRed. (2018, May 21). Comprender las lecturas de presión arterial. [www.goredforwomen.org](http://www.goredforwomen.org)
- [12] PABLO LORENZO. (2017). Modelamiento y estudio de metamateriales elastoméricos auxéticos y sus aplicaciones en ingeniería memoria. Pag. 9-10
- [13] Jayone Lee, B. K. (2012). A comparison among Neo-Hookean model, Mooney-Rivlin model, and Ogden model for rubber-like materials [ Technology, Inje University]. Vol 13 pag. 4. [https://www.researchgate.net/publication/257787347\\_A\\_Comparison\\_Among\\_Neo-Hookean\\_Model\\_Mooney-Rivlin\\_Model\\_and\\_Ogden\\_Model\\_for\\_Chloroprene\\_Rubber](https://www.researchgate.net/publication/257787347_A_Comparison_Among_Neo-Hookean_Model_Mooney-Rivlin_Model_and_Ogden_Model_for_Chloroprene_Rubber)
- [14] Sim Scale. (2022, September 12). Mesh Quality | Mesh Visualization Tips | SimScale. Aspect Radio. <https://www.simscale.com/docs/simulation-setup/meshing/mesh-quality/>
- [15] ASME. (2004). B1.1 Unified Inch Screw Threads. An american national standard, pag. 10, 11,100 <https://www.asme.org/>
- [16] Budynas, R. G., & Keith Nisbett, J. (n.d.). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición.
- [17] FLASHFORGE. (2023). This guide is only applicable to FLASHFORGE Creator 3 Pro 3D printer. [www.sz3dp.com](http://www.sz3dp.com)
- [18] Intelligy. (2023). ASA Filamento Termoplástico FDM.

# 9 ANEXOS

## 9.1 ANEXO I

Casa de la calidad



- Tablas evaluación de criterio ponderados del módulo 2 y 3

1. Evaluación del peso específico del criterio de precio

**Tabla 9.1.** Evaluación del peso específico del precio en el Módulo 2

Alternativa A7>Alternativa A6>Alternativa A5 >Alternativa A2 >Alternativa A1 >Alternativa A3 >Alternativa A4									
Precio	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	Σ+1	pondera
Alternativa A1		0	1	1	0	0	0	3	0,09
Alternativa A2	1		1	1	0,5	0,5	1	6	0,19
Alternativa A3	0	0		1	0	0	0	2	0,06
Alternativa A4	0	0	0,5		0	0	0	1,5	0,05
Alternativa A5	1	1	1	1		0,5	0,5	6	0,19
Alternativa A6	1	1	1	1	1		0,5	6,5	0,20
Alternativa A7	1	1	1	1	1	1		7	0,22
							suma	32	1,00

Fuente: (Propia)

2. Evaluación del peso específico del criterio de Adaptabilidad

**Tabla 9.2.** Evaluación del peso específico de la Adaptabilidad en el Módulo 2

Alternativa A6>Alternativa A5=Alternativa A2 >Alternativa A7 >Alternativa A1 >Alternativa A3 >Alternativa A4									
Adaptabilidad	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	Σ+1	pondera
Alternativa A1		0	1	1	0	0	0	3	0,10
Alternativa A2	1		1	1	0,5	0,5	1	6	0,20
Alternativa A3	0	0		1	0	0	0	2	0,07
Alternativa A4	0	0	0,5		0	0	0	1,5	0,05
Alternativa A5	1	0,5	1	1		0,5	1	6	0,20
Alternativa A6	1	1	1	1	1		1	7	0,24
Alternativa A7	1	0	1	1	0	0		4	0,14
							suma	29,5	1,00

Fuente: (Propia)

3. Evaluación del peso específico del criterio de limpieza

**Tabla 9.3.** Evaluación del peso específico de la Ensamblado en el Módulo 2

Alternativa A6>Alternativa A5>Alternativa A7>Alternativa A2 >Alternativa A4 =Alternativa A1=Alternativa A3									
Ensamblado	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	Σ+1	pondera
Alternativa A1		0,5	0,5	0,5	0	0	0	2,5	0,08
Alternativa A2	1		1	1	0,5	0	0	4,5	0,15
Alternativa A3	0,5	0,5		0,5	0	0	0	2,5	0,08
Alternativa A4	0,5	0,5	0,5		0	0	0	2,5	0,08
Alternativa A5	1	1	1	1		0,5	0,5	6	0,20

Alternativa A6	1	1	1	1	1		1	7	0,23
Alternativa A7	1	0,5	1	1	0,5	0,5		5,5	0,18
							suma	30,5	1,00

Fuente: (Propia)

#### 4. Evaluación del peso específico del criterio de ajuste

**Tabla 9.4.** Evaluación del peso específico del ajuste en el Módulo 2

Alternativa A6>Alternativa A5=Alternativa A2=Alternativa A1 >Alternativa A4>Alternativa A3 >Alternativa A7									
Ajuste	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	$\Sigma+1$	pondera
Alternativa A1		0,5	1	1	0,5	0,5	1	5,5	0,19
Alternativa A2	0,5		1	1	0,5	0,5	1	5,5	0,19
Alternativa A3	0	0		0	0	0	1	2	0,07
Alternativa A4	0	0	1		0	0	1	3	0,10
Alternativa A5	0,5	0,5	1	1		0,5	1	5,5	0,19
Alternativa A6	1	1	1	1	1		1	7	0,24
Alternativa A7	0	0	0	0	0	0		1	0,03
							suma	29,5	1,00

Fuente: (Propia)

#### 5. Evaluación del peso específico del criterio de accesible

**Tabla 9.5.** Evaluación del peso específico del criterio Robustez en el Módulo 2

Alternativa A1=Alternativa A2=Alternativa A3=Alternativa A4 >Alternativa A6 >Alternativa A5 >Alternativa A7									
Robustez	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	$\Sigma+1$	pondera
Alternativa A1		0,5	0,5	0,5	1	1	1	5,5	0,18
Alternativa A2	0,5		0,5	0,5	1	1	1	5,5	0,18
Alternativa A3	0,5	0,5		0,5	1	1	1	5,5	0,18
Alternativa A4	0,5	0,5	0,5		1	1	1	5,5	0,18
Alternativa A5	0,5	0,5	0	0		0,5	1	3,5	0,11
Alternativa A6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		1	4,5	0,15
Alternativa A7	0	0	0	0	0	0		1	0,03
							suma	31	1,00

Fuente: (Propia)

### Módulo 3

#### 1. Evaluación del peso específico del criterio de precio

**Tabla 9.6.** Evaluación del peso específico del Precio en el Módulo 3

Alternativa A7>Alternativa A6>Alternativa A5 >Alternativa A2 >Alternativa A1 >Alternativa A3 >Alternativa A4									
Precio	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	$\Sigma+1$	pondera

Alternativa A1		0	1	1	0	0	0	3	0,09
Alternativa A2	1		1	1	0,5	0,5	1	6	0,19
Alternativa A3	0	0		1	0	0	0	2	0,06
Alternativa A4	0	0	0,5		0	0	0	1,5	0,05
Alternativa A5	1	1	1	1		0,5	0,5	6	0,19
Alternativa A6	1	1	1	1	1		0,5	6,5	0,20
Alternativa A7	1	1	1	1	1	1		7	0,22
							suma	32	1,00

Fuente: (Propia)

## 2. Evaluación del peso específico del criterio de Precisión

**Tabla 9.7.** Evaluación del peso específico de la Precisión en el Módulo 3

Alternativa A6>Alternativa A5=Alternativa A2 >Alternativa A7 >Alternativa A1 >Alternativa A3 >Alternativa A4									
Precisión	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	$\Sigma+1$	pondera
Alternativa A1		0	1	1	0	0	0	3	0,10
Alternativa A2	1		1	1	0,5	0,5	1	6	0,20
Alternativa A3	0	0		1	0	0	0	2	0,07
Alternativa A4	0	0	0,5		0	0	0	1,5	0,05
Alternativa A5	1	0,5	1	1		0,5	1	6	0,20
Alternativa A6	1	1	1	1	1		1	7	0,24
Alternativa A7	1	0	1	1	0	0		4	0,14
							suma	29,5	1,00

Fuente: (Propia)

## 3. Evaluación del peso específico del criterio de Ajuste

**Tabla 9.8.** Evaluación del peso específico de la Ajuste en el Módulo 3

Alternativa A6>Alternativa A5>Alternativa A7>Alternativa A2 >Alternativa A4 =Alternativa A1=Alternativa A3									
Ajuste	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	$\Sigma+1$	pondera
Alternativa A1		0,5	0,5	0,5	0	0	0	2,5	0,08
Alternativa A2	1		1	1	0,5	0	0	4,5	0,15
Alternativa A3	0,5	0,5		0,5	0	0	0	2,5	0,08
Alternativa A4	0,5	0,5	0,5		0	0	0	2,5	0,08
Alternativa A5	1	1	1	1		0,5	0,5	6	0,20
Alternativa A6	1	1	1	1	1		1	7	0,23
Alternativa A7	1	0,5	1	1	0,5	0,5		5,5	0,18
							suma	30,5	1,00

Fuente: (Propia)

## 4. Evaluación del peso específico del criterio de Controlable

**Tabla 9.9.** Evaluación del peso específico de la Controlable en el Módulo 3

Alternativa A6>Alternativa A5=Alternativa A2=Alternativa A1 >Alternativa A4>Alternativa A3 >Alternativa A7									
Controlable	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	Σ+1	pondera
Alternativa A1		0,5	1	1	0,5	0,5	1	5,5	0,19
Alternativa A2	0,5		1	1	0,5	0,5	1	5,5	0,19
Alternativa A3	0	0		0	0	0	1	2	0,07
Alternativa A4	0	0	1		0	0	1	3	0,10
Alternativa A5	0,5	0,5	1	1		0,5	1	5,5	0,19
Alternativa A6	1	1	1	1	1		1	7	0,24
Alternativa A7	0	0	0	0	0	0		1	0,03
							suma	29,5	1,00

Fuente: (Propia)

5. Evaluación del peso específico del criterio de accesible

**Tabla 9.10.** Evaluación del peso específico del criterio Complejidad en el Módulo 3

Alternativa A1=Alternativa A2=Alternativa A3=Alternativa A4 >Alternativa A6 >Alternativa A5 >Alternativa A7									
Complejidad	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4	Alternativa A5	Alternativa A6	Alternativa A7	Σ+1	pondera
Alternativa A1		0,5	0,5	0,5	1	1	1	5,5	0,18
Alternativa A2	0,5		0,5	0,5	1	1	1	5,5	0,18
Alternativa A3	0,5	0,5		0,5	1	1	1	5,5	0,18
Alternativa A4	0,5	0,5	0,5		1	1	1	5,5	0,18
Alternativa A5	0,5	0,5	0	0		0,5	1	3,5	0,11
Alternativa A6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		1	4,5	0,15
Alternativa A7	0	0	0	0	0	0		1	0,03
							suma	31	1,00

Fuente: (Propia)

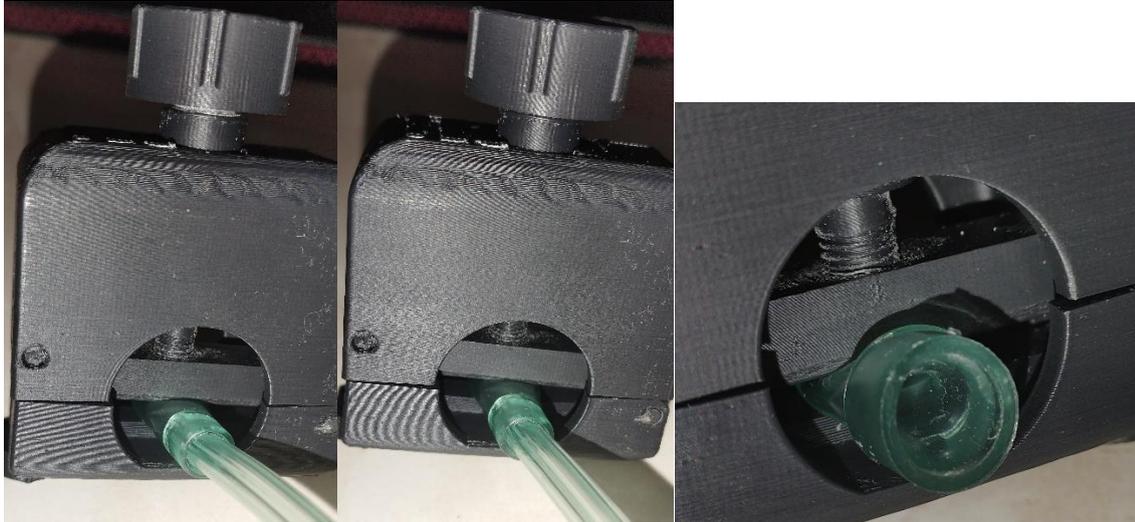
Fotografías piezas ensambladas:  
Alternativa A6



**Figura 9.1.** Fotos funcionalidad prototipo alternativa A6

Fuente: Propia

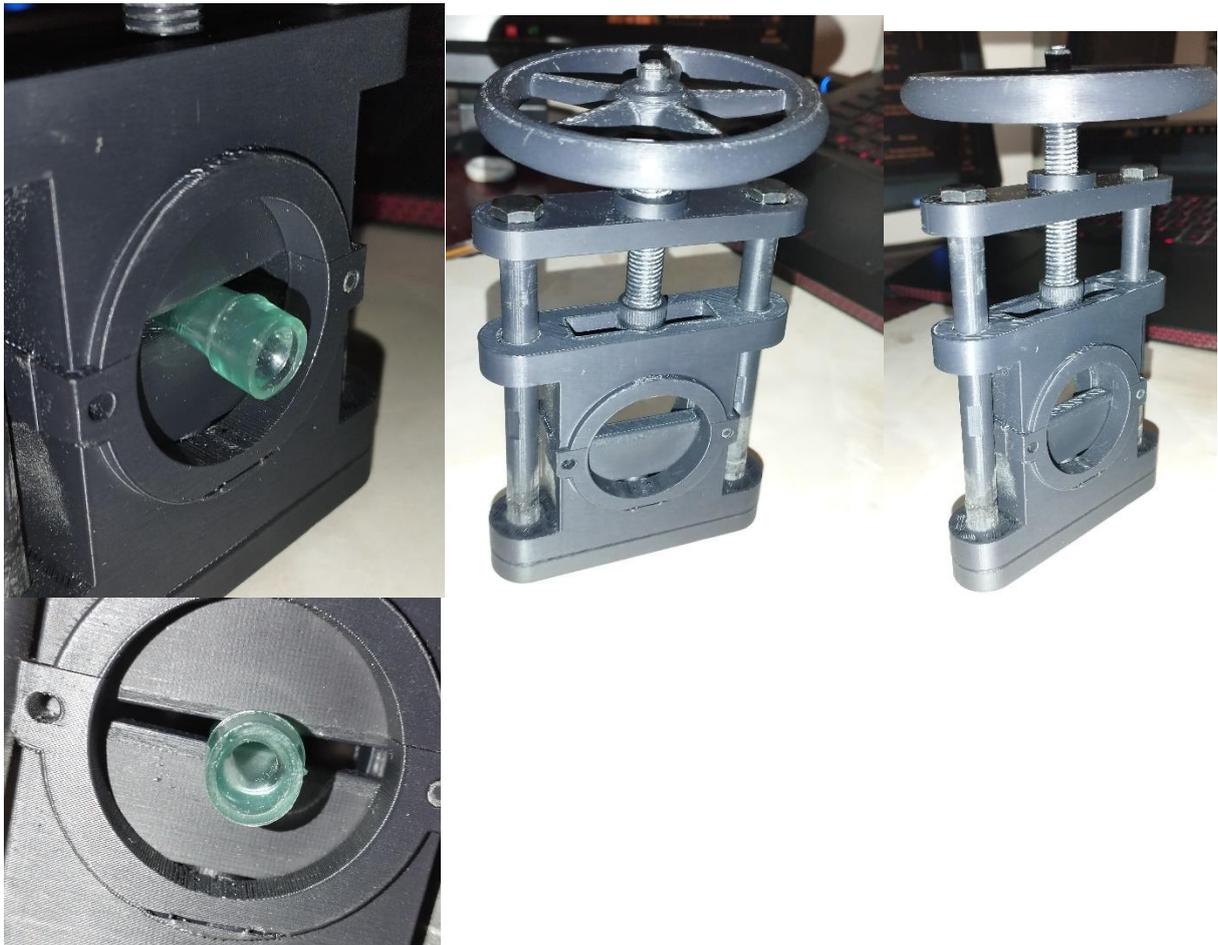
Alternativa 5



**Figura 9.2.** Fotos prototipo funcional Alternativa 5

Fuente Propia

Alternativa A2



**Figura 9.3.** Fotos prototipo funcional alternativa A2

Fuente Propia