



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
MEZCLADORA-INYECTORA DE SILICONA PARA EL
DESARROLLO DE MUÑONES FLEXIBLES PARA PRÓTESIS DE
MIEMBROS SUPERIORES**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

DAVID ALEJANDRO CAZAR ALBUJA

EDWIN SEBASTIÁN TENEMAZA VILLACRÉS

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
MEZCLADORA-INYECTORA DE SILICONA PARA EL
DESARROLLO DE MUÑONES FLEXIBLES PARA PRÓTESIS DE
MIEMBROS SUPERIORES**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: DAVID ALEJANDRO CAZAR ALBUJA

EDWIN SEBASTIÁN TENEMAZA VILLACRÉS

DIRECTOR: ING. SOCRATES MIGUEL AQUINO ARROBA

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, David Alejandro Cazar Albuja, Edwin Sebastián Tenemaza Villacrés

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, David Alejandro Cazar Albuja y Edwin Sebastián Tenemaza Villacrés, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de junio de 2023



David Alejandro Cazar Albuja
172164096-7



Edwin Sebastián Tenemaza Villacrés
060381435-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA MEZCLADORA-INYECTORA DE SILICONA PARA EL DESARROLLO DE MUÑONES FLEXIBLES PARA PRÓTESIS DE MIEMBROS SUPERIORES**, realizado por los señores: **DAVID ALEJANDRO CAZAR ALBUJA** y **EDWIN SEBASTIÁN TENEMAZA VILLACRÉS** , ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-06-14
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-14
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-14

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado fortaleza en los momentos difíciles, a mi familia que nunca dejó de creer en mí y brindarme su amor incondicional y finalmente a mis amigos por permitirme aprender valiosas lecciones de la vida.

David

A Dios, a mis padres, hermanos y familiares que jamás dejaron de creer en mí, ustedes son mi motivación principal para luchar por mis sueños, hoy les dedico este trabajo de titulación.

Sebastián

AGRADECIMIENTO

A la universidad por haberme abierto sus puertas y brindado todo su conocimiento, y nuevamente a Dios por permitirme culminar mi carrera con éxito.

David

Primeramente, quiero agradecer a Dios por bendecirme con una familia que me ha apoyado en todo momento, agradezco su inagotable esfuerzo por darme siempre todo lo que necesito, ustedes son mi fuente de inspiración. A mis amigos les agradezco por estar siempre presentes, por sus palabras de ánimo y aliento, y por compartir momentos inolvidables conmigo.

Sebastián

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación.....	2
1.3.1. <i>Justificación teórica</i>	2
1.3.2. <i>Justificación medioambiental</i>	3
1.3.3. <i>Justificación metodológica</i>	3
1.3.4. <i>Justificación socioeconómica</i>	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Tipos de materiales para prótesis.....	5
2.1.1. <i>Material termoplástico</i>	5
2.1.2. <i>La silicona y otros materiales similares</i>	6
2.2. Emulsión.....	6
2.3. Mezcla.....	6

2.4.	Dosificación.....	6
2.5.	Tipos de mezcladores.....	6
2.5.1.	<i>Mezclador de cintas.....</i>	6
2.5.2.	<i>Mezclador horizontal de paletas planas.....</i>	7
2.5.3.	<i>Mezclador de paletas cónico.....</i>	8
2.5.4.	<i>Mezclador de paletas tipo ancla.....</i>	9
2.6.	Tipos de dosificadores.....	9
2.6.1.	<i>Dosificación por bombeo con accionamiento manual.....</i>	9
2.6.2.	<i>Dosificación por bombeo con accionamiento neumático.....</i>	10
2.6.3.	<i>Dosificación por gravedad.....</i>	10
2.7.	Método de elementos finitos.....	11
 CAPÍTULO III		
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	13
3.1.	Selección del material para el muñón y máquina.....	13
3.1.1.	<i>Material para la máquina.....</i>	13
3.1.1.1.	<i>¿Qué restricciones hay para el producto?.....</i>	13
3.1.1.2.	<i>Elección del material.....</i>	14
3.1.2.	<i>Material del muñón.....</i>	14
3.2.	Metodología del diseño.....	15
3.3.	Definición del producto.....	15
3.3.1.	<i>Voz del usuario.....</i>	15
3.3.2.	<i>Análisis de competencias.....</i>	16
3.3.2.1.	<i>EMPRESA: NINGBO MINGGUANG WEIYE MACHINERY CO., LTD.....</i>	16
3.3.2.2.	<i>EMPRESA: DONGGUAN JIEYANG MACHINERY CO., LTD.....</i>	17
3.3.3.	<i>Voz del ingeniero.....</i>	18
3.3.4.	<i>Casa de la calidad.....</i>	18
3.3.4.1.	<i>Correlaciones.....</i>	18
3.3.4.2.	<i>Evaluación técnica.....</i>	19

3.3.4.3.	<i>Compromisos técnicos</i>	19
3.4.	Diseño conceptual	23
3.4.1.	<i>Análisis funcional</i>	23
3.4.1.1.	<i>Nivel 0</i>	23
3.4.1.2.	<i>Nivel 1</i>	23
3.4.2.	Matriz morfológica	24
3.4.2.1.	<i>Alternativa 1</i>	25
3.4.2.2.	<i>Alternativa 2</i>	25
3.4.2.3.	<i>Alternativa 3</i>	25
3.4.3.	Método de factores ponderados	25
3.4.3.1.	<i>Criterios de valoración</i>	25
3.5.	Diseño de materialización	26
3.5.1.	<i>Diseño 3D mediante software CAD del prototipo</i>	26
3.5.2.	<i>Procesos de manufactura</i>	26
3.6.	Diseño de detalle	26
3.6.1.	Diseño del mezclador	26
3.6.1.1.	<i>Selección de impulsores</i>	26
3.6.1.2.	<i>Diseño de la estructura del mezclador</i>	30
3.6.1.3.	<i>Diseño de placas deflectoras</i>	31
3.6.1.4.	<i>Selección del motor para el mezclador</i>	33
3.6.1.5.	<i>Diseño del eje del impulsor</i>	35
3.6.1.5.1.	<i>Análisis estático</i>	35
3.6.1.5.2.	<i>Análisis de vida del eje por fatiga</i>	37
3.6.1.5.3.	<i>Análisis de velocidad crítica del eje</i>	41
3.6.2.	Diseño del sistema de inyección	42
3.6.2.1.	<i>Conducción del fluido</i>	42
3.6.2.2.	<i>Sistema neumático</i>	45
3.6.2.2.1.	<i>Pistón neumático</i>	45
3.6.2.3.	<i>Diseño de los moldes del muñón</i>	49

3.6.2.4.	<i>Cámara de dosificación.....</i>	54
3.6.2.4.1.	<i>Análisis MEF de la cámara de inyección.....</i>	56
3.6.2.4.2.	<i>Análisis MEF de los anclajes de la cámara de inyección.....</i>	62
3.6.2.4.3.	<i>Análisis MEF del rodete.....</i>	66
3.7.	Construcción y montaje del mezclador.....	72
3.8.	Construcción y montaje del sistema de inyección.....	77
3.9.	Construcción y montaje de los moldes de inyección.....	80
3.10.	Construcción y montaje del sistema de purga	80
3.11.	Análisis de costos.....	86
3.11.1.	<i>Costos directos.....</i>	86
3.11.2.	<i>Costos indirectos.....</i>	90
3.11.3.	<i>Costo total.....</i>	90
3.11.4.	<i>Costo de producción de una prótesis.....</i>	91
3.11.5.	<i>Depreciación de la máquina.....</i>	91

CAPITULO IV

4.	RESULTADOS.....	92
4.1.	Validación CAE de la cámara de inyección.....	92
4.2.	Validación CAE del rodete.....	93
4.3.	Validación CAE del anclaje de la cámara de inyección.....	95

	CONCLUSIONES.....	97
--	--------------------------	----

	RECOMENDACIONES.....	98
--	-----------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3:	Propiedades de los materiales.....	14
Tabla 2-3:	Propiedades de Silicona Mold Max 29NV.....	15
Tabla 3-3:	Requerimientos del GIEBI.....	16
Tabla 4-3:	Análisis de competencias de máquinas mezcladoras-inyectoras de silicona líquida.....	17
Tabla 5-3:	Parámetros técnicos.....	18
Tabla 6-3:	Especificaciones técnicas.....	22
Tabla 7-3:	Método de factores ponderados.....	25
Tabla 8-3:	Impulsor de pala tipo ancla.....	27
Tabla 9-3:	Impulsor de pala tipo paleta.....	27
Tabla 10-3:	Impulsor de hélice.....	28
Tabla 11-3:	Impulsor de turbina tipo hojas inclinadas.....	28
Tabla 12-3:	Impulsor de turbina tipo hojas planas y disco.....	29
Tabla 13-3:	Selección del tipo adecuado de impulsor.....	29
Tabla 14-3:	Semejanzas geométricas para un impulsor tipo turbina.....	30
Tabla 15-3:	Dimensiones para placas deflectoras (mm).....	32
Tabla 16-3:	Relaciones para el cálculo de la potencia consumida del mezclador.....	33
Tabla 17-3:	Constantes KL y KT para el cálculo de la potencia.....	33
Tabla 18-3:	Parámetros del motor para selección de catálogo.....	34
Tabla 19-3:	Selección del motor Aexit, 120 rpm, 0.03 HP.....	35
Tabla 20-3:	Propiedades mecánicas del acero inoxidable 314L.....	36
Tabla 21-3:	Valor de constantes Ks y Km.....	36
Tabla 22-3:	Pistón DSBC.....	46
Tabla 23-3:	Selección del pistón con diámetro de 40 mm.....	47
Tabla 24-3:	Selección de la carrera del pistón, que tiene un valor de 50 mm.....	47
Tabla 25-3:	E2, vástago extendido.....	47
Tabla 26-3:	PPS, amortiguación neumática, autorregulable en ambos lados.....	48

Tabla 27-3: Especificaciones del pistón seleccionado.....	48
Tabla 28-3: Tipos de mezcla.....	54
Tabla 29-3: Propiedades físicas y mecánicas del filamento de plástico.....	56
Tabla 30-3: Puntos de análisis.....	59
Tabla 31-3: Propiedades físicas y mecánicas del filamento de plástico.....	62
Tabla 32-3: Puntos de análisis.....	64
Tabla 33-3: Propiedades físicas y mecánicas del rodete.....	66
Tabla 34-3: Propiedades físicas y mecánicas del eje.....	67
Tabla 35-3: Puntos de análisis.....	69
Tabla 36-3: Etapas de la máquina mezcladora inyectora.....	86
Tabla 37-3: Costos de materiales e insumos.....	86
Tabla 38-3: Costos de mano de obra.....	89
Tabla 39-3: Costos de máquinas y herramientas.....	90
Tabla 40-3: Costos directos totales.....	90
Tabla 41-3: Costos indirectos.....	90
Tabla 42-3: Costo total.....	90
Tabla 43-3: Costo de producción de una prótesis.....	91
Tabla 44-3: Valor rescatable al finalizar la vida útil del equipo.....	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Mezclador de cinta.....	7
Ilustración 2-2:	Mezclador horizontal de paletas planas.....	8
Ilustración 3-2:	Mezclador de paletas cónico.....	8
Ilustración 4-2:	Mezclador de paletas tipo ancla.....	9
Ilustración 5-2:	Sistema por bombeo con accionamiento manual.....	9
Ilustración 6-2:	Sistema de dosificado con accionamiento neumático.....	10
Ilustración 7-2:	Sistema de dosificado por gravedad.....	11
Ilustración 8-2:	Análisis MEF del fluido en un mezclador.....	12
Ilustración 1-3:	Diagrama de Ashby.....	13
Ilustración 2-3:	Casa de la calidad.....	20
Ilustración 3-3:	Análisis funcional nivel 0.....	23
Ilustración 4-3:	Análisis funcional nivel 1.....	23
Ilustración 5-3:	Matriz morfológica.....	24
Ilustración 6-3:	DCL del eje del agitador.....	37
Ilustración 7-3:	Factor de superficie, K_a	38
Ilustración 8-3:	Factor k_t de concentrador de esfuerzos.....	39
Ilustración 9-3:	Sensibilidad de la muesca, q	40
Ilustración 10-3:	Potencial de altura.....	43
Ilustración 11-3:	Sistema neumático.....	45
Ilustración 12-3:	Catálogo del cilindro pistón.....	46
Ilustración 13-3:	Moldes 3D.....	49
Ilustración 14-3:	Moldes en resina translúcida.....	49
Ilustración 15-3:	Moldes en resina translúcida.....	49
Ilustración 16-3:	100A:100B.....	51
Ilustración 17-3:	100A:10B.....	51
Ilustración 18-3:	100A:100B.....	52
Ilustración 19-3:	100A:10B.....	52

Ilustración 20-3:	Estireno.....	53
Ilustración 21-3:	Silicon T25.....	53
Ilustración 22-3:	Tipos de Mezcla.....	54
Ilustración 23-3:	Cámara de dosificación	54
Ilustración 24-3:	Análisis 2D de la cámara de inyección.....	57
Ilustración 25-3:	Resultados.....	57
Ilustración 26-3:	Condiciones de frontera.....	58
Ilustración 27-3:	Presión interna.....	59
Ilustración 28-3:	Deformación máxima.....	60
Ilustración 29-3:	Esfuerzo equivalente.....	60
Ilustración 30-3:	Factor de seguridad.....	61
Ilustración 31-3:	Cámara de inyección.....	61
Ilustración 32-3:	Análisis del soporte de la cámara de inyección.....	62
Ilustración 33-3:	Resultados.....	63
Ilustración 34-3:	Condiciones de frontera.....	63
Ilustración 35-3:	Análisis de fuerza dentro de la cámara de inyección.....	64
Ilustración 36-3:	Deformación máxima.....	65
Ilustración 37-3:	Análisis de esfuerzo equivalente.....	65
Ilustración 38-3:	Factor de seguridad.....	66
Ilustración 39-3:	Análisis del rodete.....	66
Ilustración 40-3:	Análisis de mallado.....	67
Ilustración 41-3:	Resultados.....	68
Ilustración 42-3:	Condiciones de frontera.....	68
Ilustración 43-3:	Análisis de momentos y fuerzas.....	69
Ilustración 44-3:	Deformación total.....	70
Ilustración 45-3:	Esfuerzo equivalente analizado con Von-Misses.....	70
Ilustración 46-3:	Factor de seguridad.....	71
Ilustración 47-3:	Estructura de la máquina.....	72
Ilustración 48-3:	Corte de madera.....	72

Ilustración 49-3:	Mezclador de acero inoxidable.....	73
Ilustración 50-3:	Soporte del mezclador.....	73
Ilustración 51-3:	Eje del agitador.....	74
Ilustración 52-3:	Soporte del mezclador y rodete en resina.....	74
Ilustración 53-3:	Motor 100:1 para el agitador.....	75
Ilustración 54-3:	Neplos para conexiones.....	75
Ilustración 55-3:	Ensamble del mezclador.....	76
Ilustración 56-3:	Pistón neumático.....	77
Ilustración 57-3:	Sistema neumático.....	77
Ilustración 58-3:	Cámara de inyección mecanizada en acero inoxidable.....	78
Ilustración 59-3:	Embolo mecanizado en nailon.....	78
Ilustración 60-3:	Panel de control.....	79
Ilustración 61-3:	Montaje de la máquina.....	79
Ilustración 62-3:	Impresión 3D en resina.....	80
Ilustración 63-3:	Cámara de luz UV.....	80
Ilustración 64-3:	Aclaramiento de moldes de resina.....	81
Ilustración 65-3:	Impresión 3D del molde macho.....	81
Ilustración 66-3:	Mecanizado del molde macho.....	82
Ilustración 67-3:	Perforación para guías del molde hembra.....	82
Ilustración 68-3:	Pines y bocines para los moldes.....	83
Ilustración 69-3:	Moldes macho y hembra en resina traslúcida.....	83
Ilustración 70-3:	Moldes en filamento PLA.....	84
Ilustración 71-3:	Sistema de purga del conjunto.....	85
Ilustración 72-3:	Máquina mezcladora inyectora de silicona.....	85
Ilustración 73-3:	Deformación máxima de la cámara de inyección.....	92
Ilustración 74-3:	Análisis del esfuerzo máximo.....	92
Ilustración 75-3:	Factor de seguridad de la cámara de inyección.....	93
Ilustración 76-3:	Análisis de la deformación del rodete.....	93
Ilustración 77-3:	Análisis del esfuerzo equivalente.....	94

Ilustración 78-3:	Análisis del factor de seguridad.....	94
Ilustración 79-3:	Análisis de la deformación máxima de anclaje.....	95
Ilustración 80-3:	Análisis del esfuerzo equivalente en la zona de anclaje.....	95
Ilustración 81-3:	Análisis del factor de seguridad de anclaje.....	96

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** ADQUISICIÓN DE INSUMOS PARA PODER REALIZAR LAS PRUEBAS PERTINENTES CON SILICÓN MOLD MAX 29NV
- ANEXO B:** ADQUISICIÓN DE DESMOLDANTE Y COMPONENTE (B) PARA REALIZAR PRUEBAS DE FLEXIBILIDAD
- ANEXO C:** MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA MEZCLADORA-INYECTORA DE SILICONA
- ANEXO D:** PLANOS AS BUILT

RESUMEN

El presente proyecto técnico tuvo como objetivo diseñar y construir una máquina mezcladora inyectora de silicona para el desarrollo de muñones flexibles para prótesis de miembros superiores. Después de recopilar información de diversas fuentes bibliográficas y analizar prototipos existentes en el mercado enfocados al desarrollo de muñones y elementos similares dentro del campo de la biomecánica, se establecieron los parámetros principales de diseño, los cuales se priorizaron mediante el método ordinal corregido de criterios ponderados, obteniendo así una única solución en cuanto al diseño de materialización y detalle de acuerdo con los requerimientos establecidos en la voz del usuario. Para el diseño de detalle de las diferentes etapas de la máquina como son la etapa de mezclado, inyectado y purga, se aplicaron conocimientos referentes al diseño de agitadores, vibraciones mecánicas, sistemas neumáticos, la teoría impartida para el diseño de elementos de máquinas de autores reconocidos y ampliamente utilizados en niveles de educación superior, entre otros. Por otro lado, se aplicó ingeniería asistida por computadora CAE mediante el software Ansys 2020 R1 para validar los resultados de resistencia y deformación obtenidos mediante los métodos de diseño tradicional en los distintos componentes del sistema de la máquina. Finalmente, se diseñó y construyó un prototipo funcional de la máquina mediante el cual se realizaron las pruebas pertinentes con el material asignado para el desarrollo de muñones, además de proponer otras alternativas viables a dicho material, que permitan obtener prótesis de muñón de calidad. Después de realizar el análisis de costos pertinente se identificó la posibilidad de competir con los productos actuales existentes dentro del Ecuador, dando apertura a estudios futuros relacionados con la producción de máquinas mezcladoras-inyectoras enfocadas al desarrollo de prótesis de alta calidad y bajo costo.

Palabras clave: <BIOMECÁNICA>, <MÁQUINA MEZCLADORA INYECTORA>, <PRÓTESIS DE MUÑÓN>, <PROTOTIPO>, <ECUADOR (PAÍS)>.

1265-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

This project aimed to design and construct a silicone mixing-injection machine to develop flexible socket prostheses for upper limbs. After gathering information from various bibliographic sources and analyzing existing prototypes in the market focused on socket development and similar elements within the field of biomechanics, the main design parameters were established. These parameters were prioritized using the corrected ordinal method of weighted criteria, resulting in a single solution for the design and detailed materialization according to the user requirements for the detailed design of different stages of the machine, such as mixing, injection, and purging, knowledge related to agitator design, mechanical vibrations, pneumatic systems, and the theory taught for machine element design by well-known authors widely used in higher education levels were applied, among others. Additionally, computer-aided engineering (CAE) was employed using Ansys 2020 R1 software to validate the strength and deformation results obtained through traditional design methods for various machine system components. Finally, a functional prototype of the machine was designed and built, through which relevant tests were conducted using the assigned material for socket development. Viable alternative materials were also proposed to obtain high-quality socket prostheses. After completing an appropriate cost analysis, the possibility of competing with existing products within Ecuador. It results in future studies on producing cost-effective, high-quality mixing-injection machines for prosthesis development.

Keywords: <BIOMECHANICS>, <MIXING-INJECTION MACHINE>, <SOCKET PROSTHESIS>, <PROTOTYPE>, <ECUADOR (COUNTRY)>.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, específicamente en la provincia del Chimborazo, mediante un estudio realizado a través del CONADIS (Consejo Nacional para la igualdad de Discapacidades), y conforme al Censo Nacional correspondiente al 2022, se determinó que existe un total de 14.712 personas, entre hombres y mujeres, con discapacidades variadas, y del cual se desprende un 37.18% con discapacidad física, que representa una población de 5.470 personas.

Bajo este contexto, y en concordancia con lo que determina el presente proyecto la importancia de las prótesis como sustituto artificial de una parte faltante del cuerpo cuya función es reemplazar total o parcialmente un miembro ausente o deficiente. Por lo tanto, se prevé la necesidad de brindar mayor comodidad a sus usuarios que repercuta en la mejora de calidad de vida de las personas con extremidades amputadas o que nacieron con malformaciones físicas. En este sentido, la implementación de los denominados “Liners flexibles”, en la zona del muñón o sección faltante otorga a las personas con discapacidad física una mayor comodidad al momento de usar prótesis, ya que esto facilita, no únicamente la protección de la piel en la zona de unión entre la parte amputada y la prótesis, sino que, además proporciona un ajuste de la misma y evita que no se salga, a la vez, que actúa como un acople. Es por esto que el diseño de una máquina que permita obtener dichos “Liners” de una manera más automatizada y con la mínima intervención manual mejoraría de forma considerable su calidad.

El enfoque de este proyecto se concentra en el diseño y construcción de una máquina mezcladora-inyectora de silicona para el desarrollo de muñones flexibles para prótesis de miembros superiores, con el fin de obtener “Liners” que se acoplen de manera cómoda a las necesidades sus usuarios, no provoquen daños a nivel cutáneo y mejoren la capacidad funcional del individuo. Cabe destacar, que el equipo GIEBI (Grupo de Investigación y Estudios en Bioingeniería) de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH trabaja constantemente en el diseño de prototipos de prótesis de óptima calidad. Esto repercute en forma positiva al desarrollo de proyectos.

Por lo tanto, el diseño y elaboración de prótesis de alta calidad y de bajo costo de manera eficiente podría ayudar a que muchas personas con discapacidades tengan la oportunidad de recuperar su movilidad y realización de tareas cotidianas que conlleven cierto nivel de cuidado. Así también, influiría en forma positiva en la independencia de la persona, la salud mental y física, y la funcionalidad para una adecuada re inserción e integración a la sociedad.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En el artículo científico acerca del “Control de la temperatura de la piel y la sudoración mediante un liner protésico que incorpora un material que cambia de estado”, se efectúa un estudio en torno a la importancia del material correspondiente al liner protésico en el cual desarrollaron un prototipo con un material PCM, es decir que cambia de estado para regular la temperatura de la piel y la sudoración, dado que los materiales típicos del encaje y el liner de las prótesis aíslan la extremidad y no permiten por lo general que el calor escape. (Wernke et al., 2019)

Por otro lado, en el trabajo de grado titulado “Diseño y construcción de una máquina mezcladora y dosificadora de barbotina”, se diseñó una máquina encargada de efectuar la mezcla y posterior dosificado sobre moldes de barbotina, que consiste en un tipo de pegamento para pastas arcillosas, para evitar justamente la intervención humana durante dicho proceso y así impedir también el riesgo de sufrir lesiones, adquirir enfermedades respiratorias a causa del polvo de las arcillas, entre otras afectaciones. (Gómez, Merchan y Robles, 2005)

Asimismo, en el proyecto de tesis denominado “Diseño de una mezcladora dosificadora de cremas cosméticas”, se puso en marcha el diseño de una máquina que permite elaborar cremas cosméticas con la consistencia y homogeneidad deseada, mediante el análisis de diferentes tipos de mezcladoras, dosificadores manuales, neumáticas y por gravedad. (Cueva y Flores, 2008)

1.2. Planteamiento del problema

Debido a la importancia de las prótesis para mejorar la calidad de vida y la funcionalidad de las personas con extremidades amputadas o malformaciones congénitas, surge la necesidad de brindar mayor soporte y comodidad a sus usuarios, en este contexto, la implementación de los denominados “liners flexibles” en la zona del muñón permite ofrecer a las personas con discapacidad física mayor comodidad y movilidad al momento de utilizar prótesis, y a su vez, no solo proteger la piel en la zona de unión entre la parte amputada y la prótesis, sino que, además otorga un ajuste a la misma evitando que se desprenda y actuando como un acople. En definitiva, el diseño de una máquina que permita obtener dichos “liner” de una manera más automatizada y con la mínima intervención manual influirá en forma notable en la mejora de su calidad

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

El desarrollo del presente trabajo de grado podrá ser utilizado como documento de consulta para futuras investigaciones en el campo de desarrollo de las prótesis, cuyo aporte se suma a la diversidad de estudios, proyectos y aplicaciones en el área, siempre encaminada a la perfectibilidad y aporte técnico para su mejora. De esta manera, se obtendrán prototipos cada vez más avanzados en su tecnología y adaptables a las necesidades de uso, cuya finalidad siempre

será abonar a la calidad de vida de las personas con discapacidad física e incidir en una mejor conciliación con el entorno social e integración correspondientes

1.3.2. Justificación medioambiental

En el presente proyecto el “liner flexible” será elaborado a base de una emulsión de silicona con un catalizador que se trata de un material no biodegradable. Sin embargo, se consideran importantes propiedades entre las que se destaca la imposibilidad de descomposición del material de manera natural; gran soporte al calor extremo y no reacciona ni se modifica frente a otros productos químicos, virtudes que lo convierte en un material ideal para la elaboración de prótesis. Desde el punto de vista ecológico resulta, además, menos dañino que el plástico gracias a que no arroja micropartículas ni causa daños al medio ambiente ni organismos vivos, situación contraria en comparación al plástico.

1.3.3. Justificación metodológica

Para el desarrollo del diseño del prototipo de la máquina mezcladora-inyectora de silicona se lleva a la práctica los conocimientos adquiridos durante todo el proceso de formación académica previo a la titulación en ingeniería mecánica, proceso durante el cual intervienen los fundamentos de ciencias como: Mecanismos, MEF, Diseño de Elementos y Equipos Mecánicos, Resistencia de Materiales y otras áreas de ciencia que integran el pensum de la carrera.

1.3.4. Justificación socioeconómica

Con el diseño de la máquina mezcladora-inyectora, se pretende obtener un proceso automatizado que evite la intervención directa de personal técnico y consiga resolver los problemas que se presentan a lo largo del proceso de mezclado e inyectado; mismo que demanda inversión de tiempo y trabajo físico, de esta manera se realizaría una inversión en este mecanismo para solventar dicha necesidad.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y construir una máquina mezcladora-inyectora de silicona para el desarrollo de muñones flexibles para prótesis de miembros superiores enfocados a personas adultas.

1.4.2. Objetivos específicos

- Desarrollar el marco teórico enfocado en el desarrollo de una máquina mezcladora inyectora de silicona en función de las necesidades del mercado, además de analizar el proceso de mezclado e inyectado con el fin de obtener un diseño confortable y de calidad para sus usuarios.
- Determinar los requerimientos funcionales y parámetros de diseño.
- Analizar las alternativas y seleccionar las mismas.
- Realizar el diseño conceptual para establecer el modelo adecuado de la misma.
- Diseñar y/o seleccionar cada componente en base a las necesidades requeridas.

- Validar mediante software CAE el diseño de los diferentes mecanismos y elementos que integrarían la máquina.
- Construir el prototipo seleccionado que cumpla con los parámetros de diseño establecidos.
- Evaluar los resultados de las pruebas pertinentes sobre el equipo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Tipos de materiales para prótesis

2.1.1. *Material termoplástico*

Las láminas termoplásticas se utilizan en gran número en el campo de la protésica para fabricar conexiones protésicas y componentes estructurales. Estos materiales están disponibles en láminas de varios grosores y colores, mientras que, los tipos más básicos son el polipropileno y polietileno. El polipropileno (PP) es un plástico de contextura rígida para el que se han encontrado varios usos en el área de la protésica. La estructura de soporte de la conexión protésica suele fabricarse con polipropileno. Por otra parte, el polietileno (PE) de baja densidad es un termoplástico blando y flexible que es útil para la elaboración de conexiones protésicas. Una de las ventajas de estos y otros tipos de termoplástico es que se pueden remodelar. Para remodelar el material se utiliza una pistola de aire caliente que caldea la zona deseada hasta conseguir la temperatura necesaria para lograr darle forma. Ésta puede ser una gran ventaja cuando existe alguna zona de presión en el encaje.

Además del PP y del PE, hay una gran cantidad de “combinaciones” de plásticos disponibles. Las características de estos materiales varían en cuanto a rigidez y flexibilidad. Un buen ejemplo es el copolímero, una mezcla de polipropileno y etileno que crea un material bastante rígido, pero más flexible y resistente a las grietas que el polipropileno puro. Los materiales rígidos suelen utilizarse como soporte para que las fuerzas asociadas a la marcha puedan transmitirse de la persona amputada al piso. Los materiales flexibles ofrecen ventajas cuando son utilizados como materiales de conexión, en otras palabras, aquéllos que mantienen contacto con la extremidad residual. Estos materiales proporcionan un encaje más cómodo, seguro y ajustable. Recientemente, las combinaciones de plástico flexible han incluido la silicona, que proporciona una suave sensación. Cuando el protésico escoge el plástico adecuado para una aplicación determinada, debe asegurarse de que el material sea flexible con el fin de aumentar la comodidad, pero también que ofrezca cierta resistencia al doblarse con el fin de sostener la extremidad de forma cómoda. A veces se puede usar un material transparente para evaluar el ajuste previo a la fabricación final. Estos “encajes de prueba” se han convertido en un valioso e indispensable instrumento para el protésico. El material más común para encajes de prueba hoy en día es el termoplástico de copoliéster transparente.

El material elegido se moldea sobre un molde de yeso de la extremidad residual tras ser calentado en un horno a la temperatura necesaria para conseguir darle forma, generalmente alrededor de 300-400° Fahrenheit (149-204° centígrados). El plástico caliente se moldea utilizando el molde de yeso mediante presión de vacío para asegurar que se fabrica un ajuste idéntico.

2.1.2. La silicona y otros materiales similares

A lo largo de los años, se han encontrado innumerables usos para la silicona en el campo de la protésica de extremidades. Ahora se utiliza como material de relleno para encajes, como sistema de suspensión del encaje de succión de silicona (tipo Iceross 3S) y es el material preferido para las reconstrucciones de mano cosméticas de gran calidad, por nombrar algunas utilidades. Los hay de muchas formas y se pueden fabricar en un durómetro con soporte rígido o muy blando. Cuando se elabora en un durómetro muy blando, la silicona no sólo proporciona un excelente relleno, sino que también protege la piel de posibles fricciones (cortes). Este aspecto es relevante porque la fricción suele causar excoriaciones. El encaje de succión de silicona utiliza lo que podría llamarse un “calcetín” de silicona que se coloca directamente sobre la piel y que incorpora una clavija de fijación en la parte inferior, asegurando así el calcetín, y la persona amputada, a la prótesis.

Este sistema de suspensión es tan eficaz que se usa mucho en prótesis de extremidades inferiores y superiores. Los “calcetines” 3S actualmente están ahora disponibles en varios grosores, lo que garantiza un relleno complementario en las zonas críticas. Otros materiales que actúan de manera similar a la silicona son el uretano que se utiliza en la funda TEC y el gel de aceite mineral que se aplica en la funda Alpha.

2.2. Emulsión

Se define a una emulsión como la dispersión, más o menos estable de dos líquidos inmiscibles entre sí. Uno de los líquidos, al que se le denomina fase dispersa, interna o discontinua, es dispersado en forma de glóbulos en otro que se denomina fase continua, matriz o externa.

2.3. Mezcla

Mezclar se puede definir como una operación, durante la cual se efectúa una combinación uniforme de dos o más componentes. El grado de uniformidad obtenible varía ampliamente.

2.4. Dosificación

Una dosificadora es una máquina que se encarga de colocar una sustancia de acuerdo con una cantidad o volumen establecido, en envases, recipientes o moldes.

2.5. Tipos de mezcladores

2.5.1. Mezclador de cintas

Los mezcladores de cinta están hechos de una carcasa que posee forma de U en la que gira un agitador. El agitador está diseñado como una cinta de doble hélice que permite crear un movimiento convectivo de los materiales en 2 direcciones y que consigue la mezcla de polvos y sólidos a granel.

Los mezcladores de cinta están muy extendidos en las industrias de procesos para la mezcla en seco de sólidos a granel. Aunque existen otros diseños de mezcladores que ostentan un rendimiento superior a los mezcladores de cinta en algunas áreas (velocidad de mezcla, diseño

higiénico ...), los mezcladores de cinta siguen siendo una solución muy simple y robusta para mezclar materiales secos que ofrecen un rendimiento de mezcla decente que es suficiente para un sinnúmero de aplicaciones. No es raro contar con mezcladores de cinta industriales de 40 a 50 años en las fábricas, que aún funcionan perfectamente. Muchos fabricantes proponen mezcladores de cinta industriales, desde unos pocos cientos de litros hasta varios metros cúbicos.

Los mezcladores de cinta son mezcladores convectivos. El movimiento de la mezcla es forzado por la rotación de la cinta que hace circular el producto en dos direcciones: la cinta está hecha en dos partes, una cinta externa pone en circulación el producto en una dirección, mientras que otra cinta ubicada dentro de la primera, mueve el producto en la otra dirección (puede ser posible tener perfiles aún más complejos para intentar optimizar la eficiencia de mezcla y por lo tanto el tiempo de mezcla). Mezclando el tiempo suficiente, esos dos movimientos axiales, unidos a algún movimiento radial (las cuchillas "cortan" el material al girar), permitirán alcanzar el grado de homogeneidad requerido. El giro de la hélice debe ser estudiado por el fabricante para que la dirección en la que empujan las cintas exteriores sea en dirección hacia la válvula de salida del mezclador, si no es el caso, no se puede lograr una buena velocidad de descarga del mezclador.

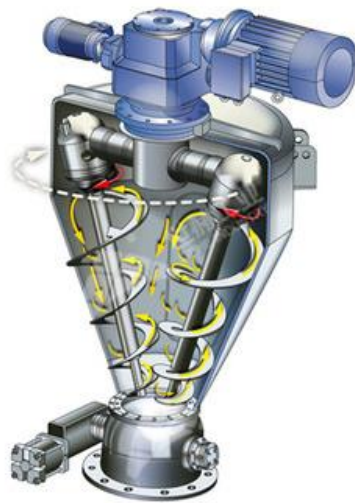


Ilustración 1-2: Mezclador de cinta

Fuente: Direct Industry, 2022

2.5.2. Mezclador horizontal de paletas planas

Este tipo de mezcladora horizontal mueve los elementos a combinar lentamente en una sola dirección por lo que el sistema se puede utilizar como un mezclador continuo, sus paletas están montadas en un único eje al que es transmitida la potencia. Estas paletas tienen un sistema para regular la inclinación de las mismas.



Ilustración 2-2: Mezclador horizontal de paletas planas

Fuente: FIMMA S.R.L, 2022

2.5.3. *Mezclador de paletas cónico*

Este mezclador de paletas cónico es adecuado para procesos donde son importantes, tanto una precisión elevada como una mezcla rápida sin apenas alteración del producto.

El recipiente de mezclado tiene una forma cónica y está equipado con un rotor de paletas central. Al girar, el rotor crea una combinación de movimientos axiales y verticales en la taza. Las paletas guían suavemente el producto a la superficie del lote, donde se dispersa y la atracción gravitatoria en el centro de la mezcladora fuerza al producto a regresar al fondo para crear un movimiento permanente durante todo el ciclo de elaboración, incluso a baja velocidad.

El proceso de mezcla se puede optimizar controlando la energía de agitación ajustando la velocidad de rotación. La velocidad del rotor del mezclador de paletas cónico es generalmente entre 1 y 10 m/s.

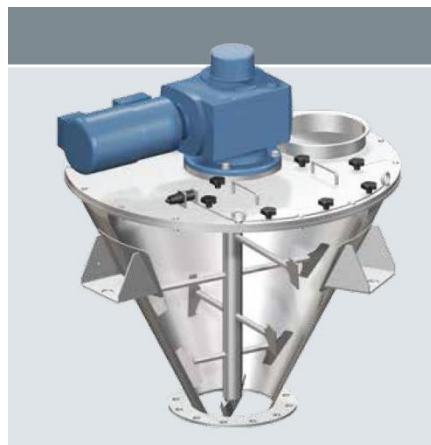


Ilustración 3-2: Mezclador de paletas cónico

Fuente: Direct Industry, 2022

2.5.4. Mezclador de paletas tipo ancla

Los agitadores de ancla (o áncora) VTRR son utilizados principalmente para la agitación y mezcla de líquidos de viscosidad media alta y líquidos no newtonianos. Están diseñados para operar a velocidades bajas e incorporan reductores suficientemente robustos para transmitir el elevado par torsor requerido. El ancla se adapta a la forma del depósito, habitualmente con fondo curvado o cónico para barrer toda la superficie de la virola. Además, se pueden incorporar rascadores móviles para evitar las adherencias del producto a agitar en las paredes internas del depósito.

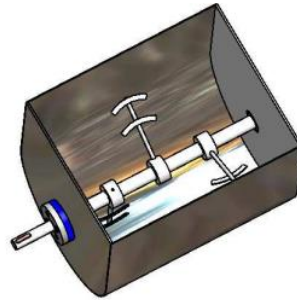


Ilustración 4-2: Mezclador de paletas tipo ancla

Fuente: Cueva y otros, 2008 pág. 9

2.6. Tipos de dosificadores

2.6.1. Dosificación por bombeo con accionamiento manual

Es equivalente al efecto de un cilindro y su respectivo pistón en una bomba convencional o en un compresor que usa este principio, en el cual se introduce y se extrae el fluido de trabajo mediante la conveniente apertura y cierre de dos válvulas que permiten indistintamente el ingreso y salida del líquido a dosificar mientras el pistón realiza su recorrido en la carrera del cilindro.

La cantidad de volumen a dosificar mediante la carrera del pistón, el cual dependerá de un accionamiento de un mecanismo de línea recta llamado “mecanismo de línea recta exacto de Scout-Russele”.

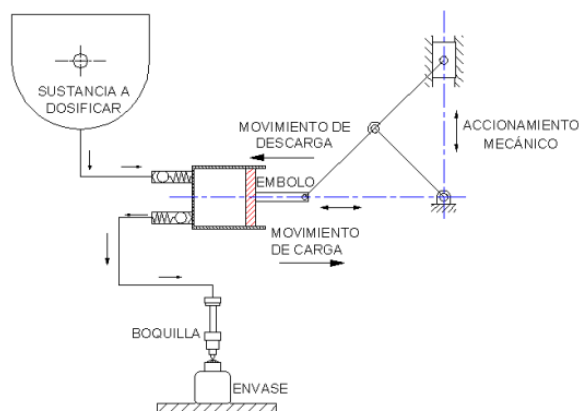


Ilustración 5-2: Sistema por bombeo con accionamiento manual

Fuente: Cueva y otros, 2008 pág. 10

2.6.2. Dosificación por bombeo con accionamiento neumático

El modelo parte desde una válvula ubicada en la base del recipiente de la mezcladora, que al abrirse cae la emulsión de silicona al conducto que une con un sistema cilindro-pistón que hace de dosificador, en el cual se introduce y se extrae fluido mediante la apertura y cierre de dos válvulas antirretorno, que permiten indistintamente el ingreso y salida del fluido a dosificar.

El principio funciona cuando el pistón se desplaza aumentando el volumen del cilindro (movimiento de carga), hace que se abra la válvula que conduce al recipiente de dosificación, cuando el pistón se desplaza hacia el sentido contrario (movimiento de descarga) la válvula que comunica al fluido se cierra y por el contrario se abre la válvula que conduce el líquido hacia el molde a llenar.

En este sistema se usa la neumática para el accionamiento del pistón que permite la dosificación tanto para cargar como para descargar la emulsión de silicona, este accionamiento se lo hace a través de un cilindro neumático el cual proporciona la fuerza necesaria para producir el bombeo.

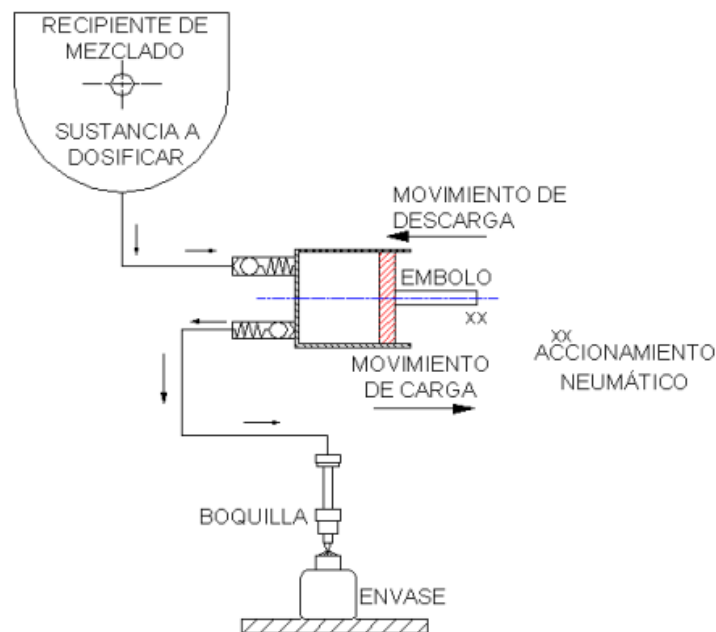


Ilustración 6-2: Sistema de dosificado con accionamiento neumático

Fuente: Cueva y otros, 2008 pág. 11

2.6.3. Dosificación por gravedad

Cuando se aprovecha la gravedad para la dosificación de fluidos, los sistemas se amplifican grandemente, a tal punto de controlarse solo con el cierre y apertura de válvulas de paso que comunican el fluido hacia el recipiente a ser dosificado.

El principio general se basa en que, a partir del recipiente contenedor del fluido a dosificar, por medio de una llave de paso se hace llegar el fluido a otro recipiente que opera como dosificador,

el cual tiene graduada las medidas de las cantidades a llenar. A partir de este, se hace pasar el líquido por medio de otra llave de paso, hacia el recipiente a ser llenado.

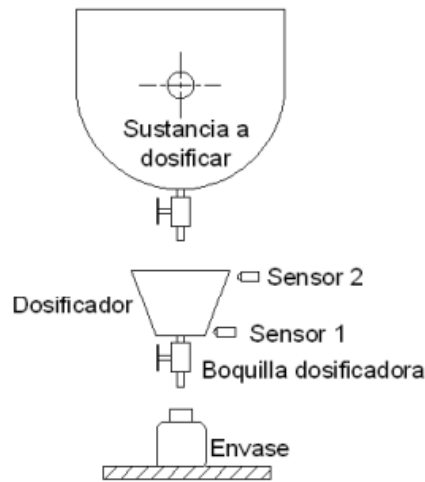


Ilustración 7-2: Sistema de dosificado por gravedad

Fuente: Cueva y otros, 2008 pág. 12

2.7. Método de elementos finitos

La mayor parte de los fenómenos físicos pueden ser descritos o modelados mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales con sus correspondientes condiciones iniciales y de contorno. En la mayoría de los problemas ingenieriles no es posible obtener una solución exacta al sistema de ecuaciones. Por tanto, es necesario el uso de métodos que faciliten la obtención de soluciones numéricas aproximadas a la real.

El método de los elementos finitos es uno de los sistemas más usados en los campos de ingeniería y física para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales. Aunque puede usarse en cálculos a mano, es cuando se utilizan computadoras porque permite la resolución de problemas sobre geometrías complicadas. La variedad de problemas a los que puede aplicarse es enorme, se usa en el diseño y mejora de productos y aplicaciones industriales, así como en la simulación de sistemas físicos y biológicos complejos. En ingeniería admite cálculos tan diversos como tensiones, fluidodinámica, transferencia de calor, entre otros. Aunque el método de los elementos finitos como formulación matemática es relativamente nuevo, su estructura básica es conocida desde hace bastante tiempo. En los últimos años ha sufrido un gran desarrollo debido a los avances en computación. La generalización del uso de ordenadores y el fenomenal incremento en la potencia de cálculo, ha permitido que el MEF haya desarrollado una increíble precisión. A su vez, han ido apareciendo una gran cantidad de software, cada vez más especializados por materias, que facultan la realización de cálculos con elementos finitos de una manera sencilla. Pero no hay que llevarse a engaño, el manejo correcto de este tipo de software exige un profundo conocimiento

no únicamente del programa con el que se trabaja, sino también de los principios del MEF. Sólo en ese caso estaremos en condiciones de garantizar los resultados obtenidos.

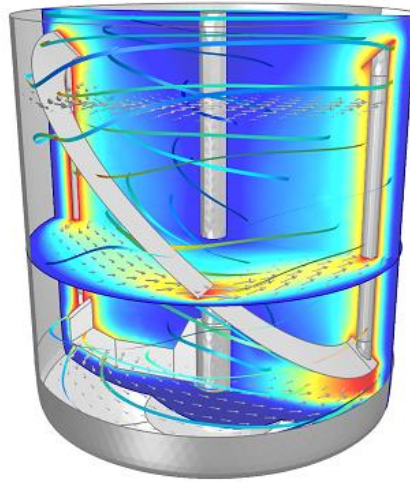


Ilustración 8-2: Análisis MEF del fluido en un mezclador

Fuente: Fluidmix, 2022

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En la construcción del presente prototipo de una máquina mezcladora-inyectora de silicona para el desarrollo de muñones de miembros superiores se debe tomar en consideración 2 etapas importantes que conforman la misma que corresponde a la de mezclado y agitado de la mezcla de silicona hasta obtener un producto homogéneo, posteriormente se tiene la etapa de inyectado donde la mezcla una vez homogénea se desplaza a lo largo del mecanismo hasta entrar a la cámara de inyectado, en esta fase, mediante el accionamiento de un émbolo se inyecte a presión la mezcla dentro del molde del muñón y se obtenga de esta forma una prótesis de manera eficiente y con calidad.

3.1. Selección del material para el muñón y máquina

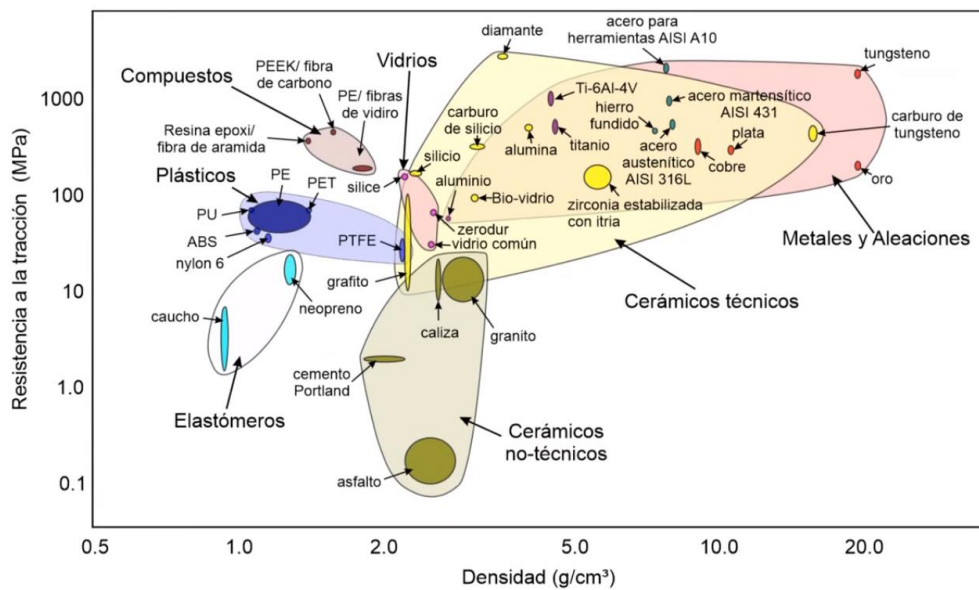


Ilustración 1-3: Diagrama de Ashby

Fuente: Lugae, 2022

3.1.1. Material para la máquina

Es importante considerar que el medio en el cual la máquina va a estar expuesta es húmedo debido a la exposición constante a la silicona o a su vez a un clima cálido húmedo, dependiendo del lugar en el cual se desee ubicar la máquina. Conforme a las altas exigencias que requiere el material para evitar un desgaste prematuro se ha escogido utilizar un material que sea resistente a la corrosión, que no se deteriore bajo la exposición a ambientes húmedos y a cambios bruscos de temperatura. A continuación, a través del diagrama de Ashby se procede a seleccionar el o los materiales adecuados para la aplicación en cuestión.

3.1.1.1. ¿Qué restricciones hay para el producto?

- Resistente a la corrosión
- Que no se oxide
- Alta resistencia a la tracción

3.1.1.2. Elección del material

En este caso se puede escoger entre 3 opciones comunes en el mercado que cumplen dichas restricciones, que corresponden al acero inoxidable 314L, aluminio y PLA. A continuación, se presenta una tabla con las propiedades más importantes de los materiales indicados.

Tabla 1-3: Propiedades de los materiales

Propiedades	ACERO INOXIDABLE 314L	ALUMINIO	PLA
Resistencia a la tracción	655 MPa	90 MPa	2346,5 MPa
Resistente a la corrosión	Si	Si	Si
Precio	Medio	Medio	Bajo


Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Por tanto, se determina que el acero inoxidable 314L y PLA para impresión 3D son adecuados para la construcción de la máquina.

3.1.2. Material del muñón

El grupo de investigación GIEBI de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo mediante diversos ensayos y experimentos ha conseguido determinar un material adecuado para el desarrollo de prótesis de muñón, para lo cual se recomienda la utilización de un tipo de silicona denominada Mold Max 29NV Silicone Rubber Compound, la cual es una silicona de baja viscosidad, curado rápido y larga vida, aspectos que determinan la idoneidad para el desarrollo de dichas prótesis. En este caso se realiza una mezcla en dos fases (A y B) del producto y en una proporción de 1:1, obteniendo así el componente adecuado para el desarrollo de muñones protésicos. A continuación, se presenta una tabla con las propiedades de este tipo de silicona y las cuales se emplearán para definir el tipo de componentes a usar, tanto para el mezclado e inyectado del molde.

Tabla 2-3: Propiedades de Silicona Mold Max 29NV

	
Proporción de la mezcla	100 A: 100 B
Densidad	1.17 g/cm ³
Resistencia a la tracción	417 psi
Viscosidad de la mezcla	10 Pa*s

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.2. Metodología del diseño

En el presente proyecto técnico se aplica la metodología QFD, misma que rige ciertos parámetros de diseño de la máquina inyectora, por lo tanto, se plantea una voz del usuario, análisis de competencias, voz del ingeniero y la casa de la calidad para alcanzar el mejor camino de desarrollo en el prototipo.

3.3. Definición del producto

El equipo de agitado e inyección debe presentar todas las características solicitadas por el grupo de investigación GIEBI, mismas que validaran los criterios técnicos e ingenieriles, con el fin de obtener un producto totalmente desarrollado capaz de suplir la necesidad del grupo de investigación.

3.3.1. Voz del usuario

Después de indagar sobre los requerimientos del grupo GIEBI las necesidades presentadas se enlistan en la tabla 2-3, y se clasifican según el tipo de demanda como: básicas, unidimensionales o estimulantes:

Tabla 3-3: Requerimientos del GIEBI

Clasificación	Tipo de demanda	Requerimientos del cliente
Costos	B	Materiales de fabricación
	O	Costo de producto
Funcionalidad	B	Agitación del fluido homogéneo
	B	Inyección del fluido a alta presión
	O	Pocas unidades de producción (1-4)
	B	Desmoldeo sencillo
	E	Fácil de usar
	E	Rápida obtención del producto
Durabilidad	E	Alta duración de la prótesis
	E	Cómodo
Estética	O	Buena apariencia

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Nota: El tipo de demanda corresponde a tres clasificaciones donde B=Básico, O=Unidimensional y E=Estimulante.

3.3.2. *Análisis de competencias*

De acuerdo con un estudio acerca de las distintas máquinas mezcladoras inyectoras de silicona en el mercado, se determinó la existencia de dos clases principales las cuales corresponden a máquinas horizontales de inyección y, por otro lado, las máquinas verticales de inyección. Para realizar el análisis de competencias pertinente se escogieron dos marcas, NINGBO MINGGUANG WEIYE MACHINERY CO., LTD y DONGGUAN JIEYANG MACHINERY CO., LTD, respectivamente.

3.3.2.1. *EMPRESA: NINGBO MINGGUANG WEIYE MACHINERY CO., LTD*

Ningbo Mingguang Weiye Machinery Co., Ltd., empresa de creación china especializada en el diseño y construcción de máquinas de inyección horizontales de plástico y materiales similares como la silicona. En este caso, ha sido seleccionado el modelo XY1500-C cuyas características se detallan a continuación:

- Modelo: XY1500-C
- Dimensiones del molde: 460 x 460 x 450 mm
- Dimensiones de la máquina: 4510 x 1360 x 1870 mm
- Potencia: 15 KW
- Estilo: Horizontal
- Presión de inyección: 147 MPa
- Costo: \$15200



3.3.2.2. EMPRESA: DONGGUAN JIEYANG MACHINERY CO., LTD.

Dongguan Jieyang Machinery Co., Ltd., es una empresa china especializada en máquinas de inyección verticales de caucho, silicona, plástico y soluciones similares. En este caso se escogió el modelo JY-250ST-DM, cuyas características son las siguientes:

- Modelo: JY-250ST-DM
- Dimensiones del molde: 375 x 205 x 150 mm
- Dimensiones de la máquina: 1500 x 1050 x 2750 mm
- Potencia: 6,3 KW
- Estilo: Vertical
- Presión de inyección: 150 MPa
- Costo: \$6500

A continuación, se resume el análisis de competencia recolectado de los datos anteriores:

Tabla 4-3: Análisis de competencias de máquinas mezcladoras-inyectoras de silicona líquida

Marca	NINGBO MINGGUANG WEIYE	DONGGUAN JIEYANG
Gráfico		
Modelo	XY1500-C	JY-250ST-DM
Dimensiones del molde	460x460x450 mm	375 x 205 x 150 mm
Dimensiones de la máquina	4510 x 1360 x 1870 mm	1500 x 1050 x 2750 mm
Potencia	15 KW	6,3 KW
Presión de inyección	147 MPa	150 MPa
Costo	\$15200	\$6500
Estilo	Horizontal	Vertical

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.3.3. *Voz del ingeniero*

Después de analizar y evaluar las demandas por parte de del grupo de investigación GIEBI, se convierten estas necesidades en términos técnicos con el único fin de plantear un diseño acorde a las necesidades planteada por esto, se otorga un valor a cada parámetro descrito a continuación.

Tabla 5-3: Parámetros técnicos

Parámetro técnico	Valor de referencia
Tipo de material	Acero inoxidable y filamento PLA
Costo de fabricación	\$3365
Agitación	180 rpm / 3- 5 min
Inyección	100 ml de mezcla
Producción	Máximo hasta 4 prótesis producidas
Maniobrabilidad	Fácil separación del molde macho y hembra
Operatividad	Personas sin experiencia en inyección
Eficiencia	1 muñón cada 30 minutos
Durabilidad	100-150 usos
Ergonomía	Capaz de usarse en cualquier amputación y tipo de piel
Estética	Prótesis sin imperfecciones

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.3.4. *Casa de la calidad*

3.3.4.1. *Correlaciones*

Se logra relacionar los requerimientos del grupo de investigación con los parámetros ingenieriles mediante 4 niveles de relación:

- Fuerte.
- Mediana.
- Débil.
- Ningún tipo de relación.

Citando a (Zaidi, 2015), se logra tabular el grado de cumplimiento de la demanda con la característica técnica escogida.

3.3.4.2. Evaluación técnica

(Zaidi, 2015), define que la evaluación técnica como el hecho consistente en tasar la incidencia de cada característica técnica dentro del producto, en el cual, previamente, se ha determinado la importancia de cada una, y para ello se aplica la fórmula descrita a continuación.

$$Imp = \sum I_d * S_{dt}$$

Donde:

Imp: Importancia.

I_d: Incidencia de la característica técnica.

S_{dt}: Valor de ponderación.

3.3.4.3. Compromisos técnicos

Situados en el techo de la Casa de la Calidad se determinan las correlaciones existentes entre las diferentes especificaciones técnicas, y que consiste en 3 niveles:

- **Correlación positiva:** Mejorar una característica técnica mejorara a otra por regla.
- **Correlación negativa:** Indica que, si una característica técnica mejora otra se ve afectada empeorando.
- **Sin correlación:** No existe ninguna influencia de una característica técnica sobre otra.

(Correa, 2018).

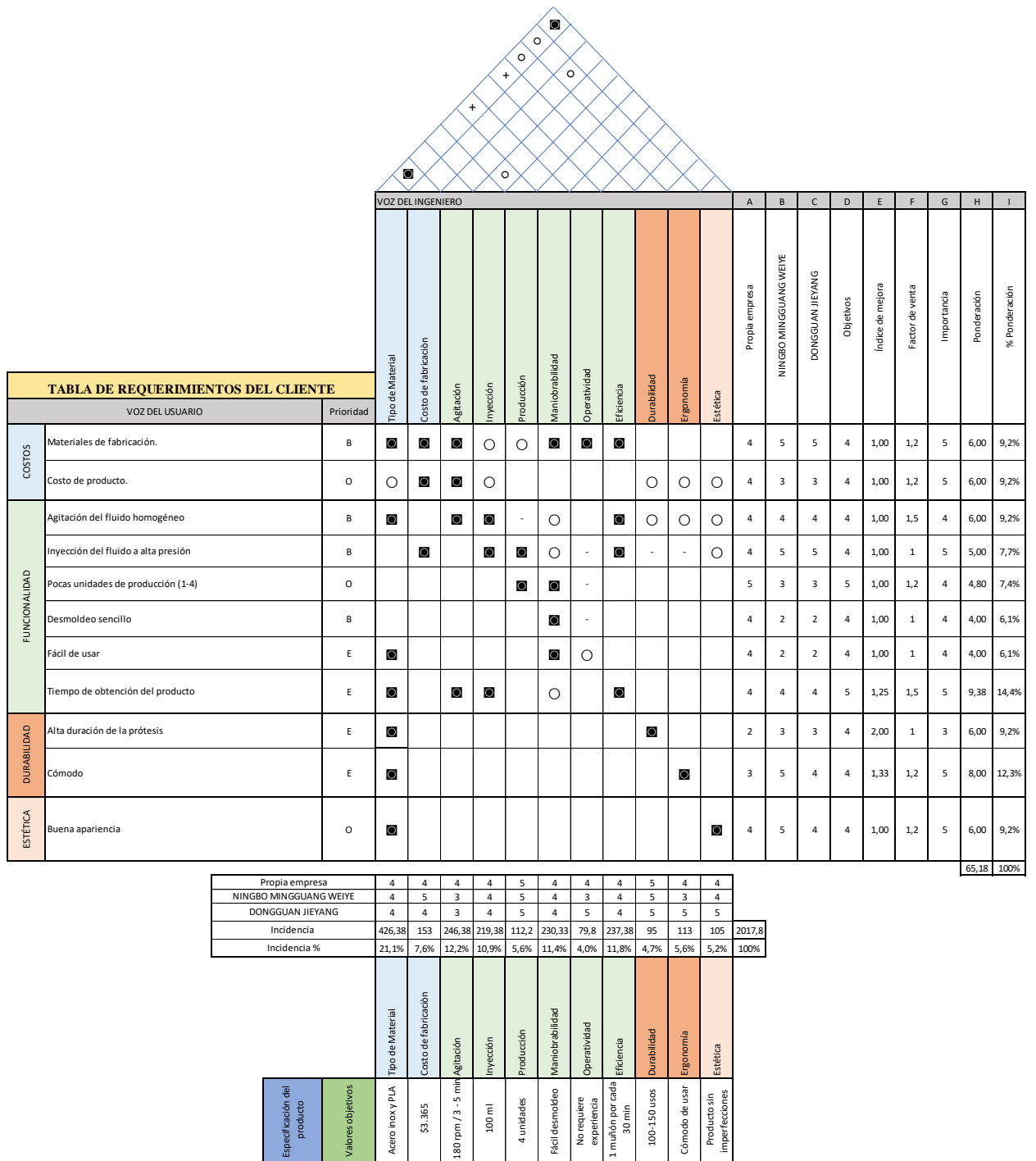


Ilustración 2-3: Casa de la calidad

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Una vez realizada la Casa de la Calidad se determina los parámetros más importantes para tomar en cuenta al momento de diseñar el prototipo requerido, A continuación, se enlistan dichos parámetros de acuerdo con el orden de importancia:

- Tipo de material
- Agitación
- Eficiencia
- Maniobrabilidad
- Inyección
- Costo de fabricación
- Producción
- Ergonomía
- Estética
- Durabilidad
- Operatividad

De esta forma se obtiene las especificaciones técnicas requeridas:

Tabla 6-3: Especificaciones técnicas

Empresa: MIS-CT-GIEBI		Producto: Mezcladora Inyectora de silicona para prótesis de muñón		Fecha de inicio: 26-09-2022
Diseñadores: David Cazar Edwin Tenemaza				Fecha de finalización: 24-02-2023
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Tipo de material	21/12/2022	C	R	El equipo debe ser diseñado con acero inoxidable 314L y PLA debido a sus propiedades mecánicas.
Agitación	21/12/2022	C	R	El proceso de mezcla de la silicona se debe efectuar de 3-5 min, a una velocidad de 180 rpm.
Eficiencia	21/12/2022	D	D	Se debe obtener una prótesis por cada 30 min transcurridos.
Maniobrabilidad	21/12/2022	D	D	El desmoldeo debe ser una tarea sencilla de realizar.
Inyección	21/12/2022	C	R	Se debe inyectar 100 ml de la emulsión en el molde a alta presión.
Costo de fabricación	21/12/2022	D	D	El precio del diseño y construcción del prototipo no debe superar los \$3365
Producción	21/12/2022	D	D	La capacidad del mezclador es limitada para 4 prótesis.
Ergonomía	21/12/2022	C	R	La prótesis debe adaptarse de manera adecuada a la extremidad sin afectar la integridad del usuario.
Estética	21/12/2022	C	R	La prótesis del muñón no debe presentar imperfecciones.
Durabilidad	21/12/2022	C	R	El tiempo de vida útil de la prótesis debe ser de 100-150 usos al menos.
Operatividad	21/12/2022	D	D	La máquina debe ser de fácil uso y mantenimiento.
Propone: M=Márquetin, C=Cliente, D=Diseñadores, P=Producción, F=Fabricación, R/D: R=Requerimiento, D=Deseo, MR=Modificación de Requerimientos				

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.4. Diseño conceptual

Una vez definidas las especificaciones técnicas, se procede a realizar el diseño conceptual del producto, para esto se debe cumplir con las fases de análisis funcional, matriz morfológica, generar las alternativas y finalmente evaluar cada una mediante el método de criterios ponderados.

3.4.1. Análisis funcional

3.4.1.1. Nivel 0

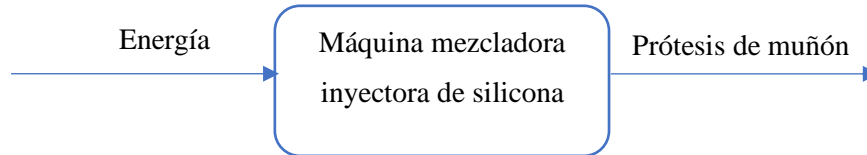


Ilustración 3-3: Análisis funcional nivel 0

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.4.1.2. Nivel 1

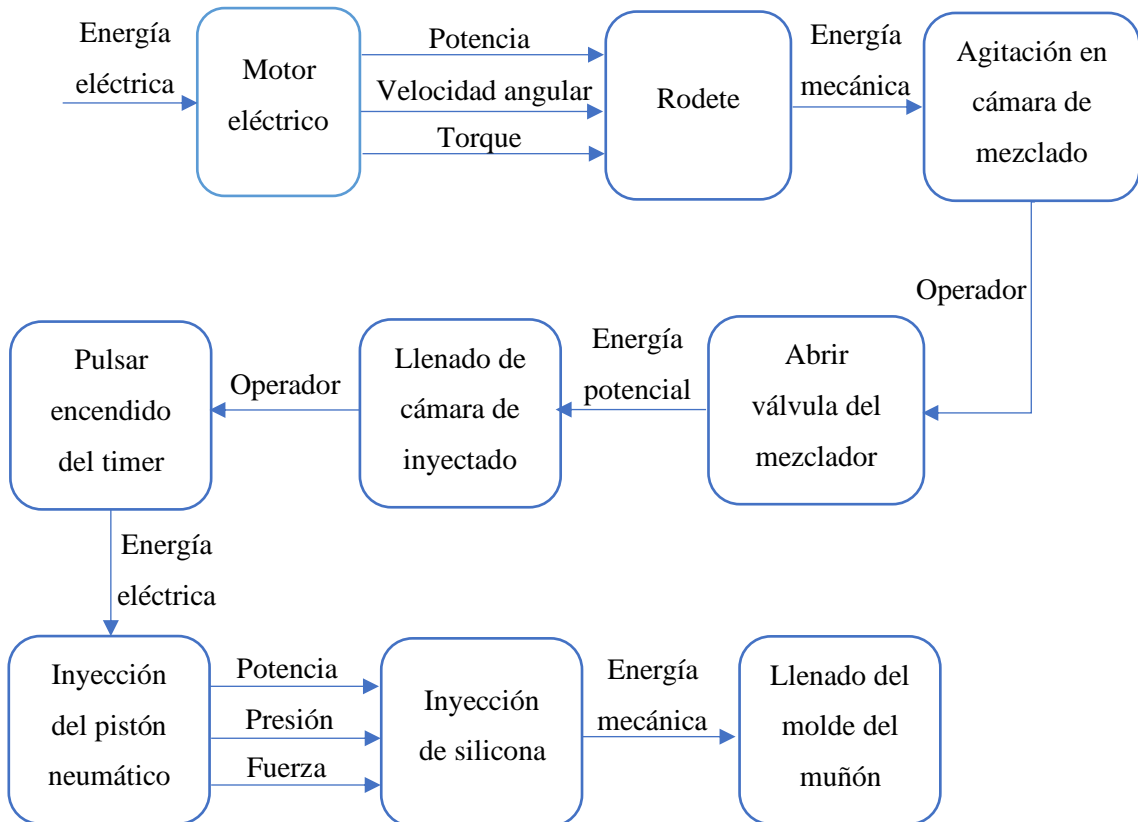


Ilustración 4-3: Análisis funcional nivel 1

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.4.2. Matriz morfológica





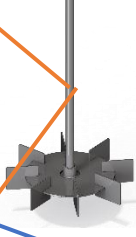
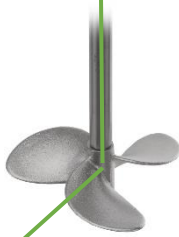








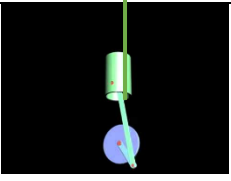
Función	Componente		
Motor eléctrico			
	100:1 (24 V)	78:1 (12 V)	50:1 (12 V)
Rodete			
	Tipo ancla	Tipo turbina	Tipo hélice
Cámara de mezclado			
	Cilíndrico vertical	Cónico	Cilíndrico horizontal
Válvula			
	Mariposa	De bola	Esférica
Método de inyección			
	Pistón neumático	Pistón hidráulico	Biela manivela
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3

Ilustración 5-3: Matriz morfológica

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.4.2.1. Alternativa 1

Motor eléctrico 100:1 de 24 V, rodete tipo turbina con palas rectas, mezclador cilíndrico vertical, válvula de mariposa y método de inyección al molde neumático.

3.4.2.2. Alternativa 2

Motor eléctrico 78:1 de 12 V, rodete tipo ancla, mezclador cilíndrico horizontal, válvula de bola y método de inyección al molde hidráulico.

3.4.2.3. Alternativa 3

Motor eléctrico 50:1 de 12 V, rodete tipo hélice, mezclador cónico, válvula esférica y método de inyección al molde mediante mecanismo biela manivela.

3.4.3. Método de factores ponderados

El método de factores ponderados consiste en asignar valores cuantitativos a cada criterio mediante el cual se procede a analizar cada alternativa y así realizar una comparación en la cual se selecciona la mejor opción.

3.4.3.1. Criterios de valoración

- Costo: Corresponde al valor económico que comprende diseñar y construir el prototipo en función de los requerimientos planteados, que incluyen mano de obra, materiales, gastos de producción, entre otros.
- Dimensiones: Son las dimensiones máximas que tendrá el equipo montado.
- Método de inyección: En este caso corresponde a la eficiencia del método de inyección correspondiente a cada alternativa.
- Eficiencia del agitador: Se refiere a la capacidad del rodete para mezclar la emulsión de forma homogénea.

Los criterios planteados tienen el siguiente orden de prioridad:

Costo > Dimensiones > Método de inyección > Eficiencia del agitador

Tabla 7-3: Método de factores ponderados

Factor	Ponderación (%)	Alt 1		Alt 2		Alt 3	
		Valor	Sub Tot.	Valor	Sub Tot.	Valor	Sub Tot.
Costo	50	10	500	7	350	5	250
Dimensiones	25	8	200	7	175	8	200
Método de inyección	15	9	135	9	135	5	75
Eficiencia del agitador	10	10	100	8	80	4	40
TOTAL	100		935		740		565

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Por tanto, se puede determinar que la alternativa 1 es la mejor opción.

3.5. Diseño de materialización

Esta etapa del diseño corresponde a la elaboración del modelo 3D mediante software CAD para realizar un diseño virtual, mismo que ofrecerá una idea cercana de cómo lucirá la máquina una vez construida, además de los procesos de manufactura de cada una de las piezas que la conformarán. Este sistema garantiza el aseguramiento de la calidad del producto y el cumplimiento de los parámetros establecidos.

3.5.1. Diseño 3D mediante software CAD del prototipo

En esta etapa se procede a elaborar el modelo 3D de la alternativa seleccionada, Revisar el Anexo 1.

3.5.2. Procesos de manufactura

- Mecanizado de la estructura de la mesa: El primer paso del proceso de construcción corresponde a la elaboración de la estructura de soporte de la máquina mediante soldadura de perfiles cuadrados de acero estructural ASTM A36 y una placa de madera.
- Mecanizado del recipiente del mezclador: El proceso de construcción continúa con el barolado de una lámina de acero para dar la forma al recipiente y finalmente realizar la soldadura respectiva. En este caso se utiliza acero inoxidable 314L para el mezclador.
- Mecanizado de la estructura del mezclador: Esta fase corresponde a la construcción de las patas de soporte del mezclador mediante un perfil L, y finalmente unión por soldadura al mezclador.
- Mecanizado del eje del agitador: El eje del agitador se construye mediante el torneado del eje y en este proceso se utiliza acero inoxidable 314L.
- Impresión 3D para la tapa del mezclador: la tapa del mezclador se elabora mediante impresión 3D en filamento de PLA.
- Impresión 3D para los moldes: los moldes macho y hembra se desarrollan mediante impresión 3D en filamento de PLA.

3.6. Diseño de detalle

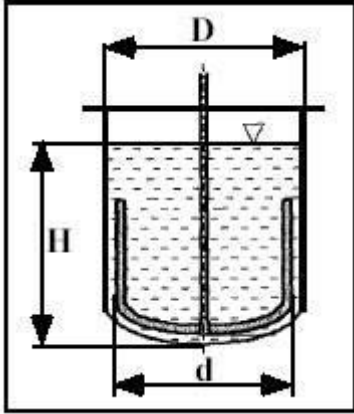
3.6.1. Diseño del mezclador

3.6.1.1. Selección de impulsores

El mezclador corresponde a la primera etapa donde la silicona se mezcla y da como resultado un producto homogéneo, para esto se requiere de diversos componentes los cuales posibilitan que dicha mezcla sea la adecuada. Uno de los componentes que corresponden a esta etapa es el impulsor, mismo que se encarga de agitar la fase A y B de la silicona y logra, mediante una velocidad y tiempo determinado, obtener la mezcla adecuada para el desarrollo del muñón protésico. Existen diversos tipos de impulsores, sin embargo, los tres tipos principales corresponden a: impulsores de turbinas, impulsores de palas e impulsores de hélices. A continuación, se definen distintos tipos de impulsores, con sus características más importantes

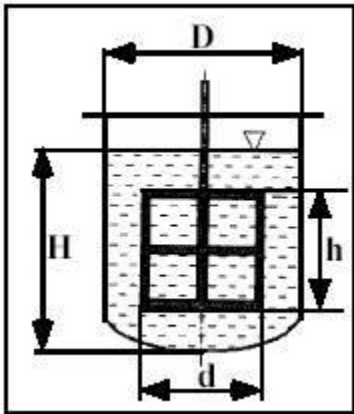
entre las que destacan la viscosidad del medio, velocidad tangencial, régimen alcanzado y campo de flujo generado.

Tabla 8-3: Impulsor de pala tipo ancla

	
Viscosidad del medio	Hasta 1000 Pa*s
Régimen de turbulencia	Laminar
Velocidad tangencial	2 m/s
Campo de flujo	Tangencial

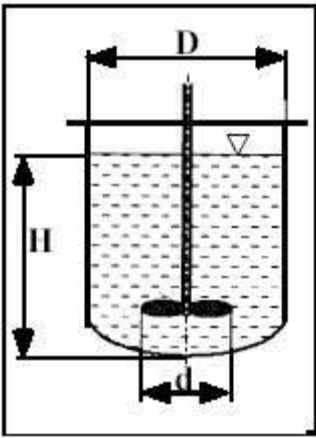
Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Tabla 9-3: Impulsor de pala tipo paleta

	
Viscosidad del medio	Hasta 10 Pa*s
Régimen de turbulencia	Laminar
Velocidad tangencial	2 - 5 m/s
Campo de flujo	Tangencial


Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Tabla 10-3: Impulsor de hélice

	
Viscosidad del medio	<math><8 \text{ Pa}\cdot\text{s}</math>
Régimen de turbulencia	Turbulento
Velocidad tangencial	3 - 15 m/s
Campo de flujo	Axial

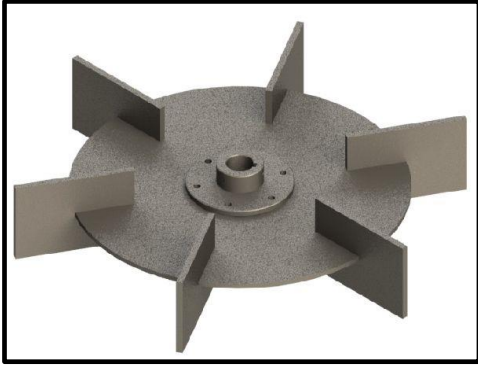
Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Tabla 11-3: Impulsor de turbina tipo hojas inclinadas

	
Viscosidad del medio	100 Pa*s
Régimen de turbulencia	Transición - turbulento
Velocidad tangencial	3 - 8 m/s
Campo de flujo	Axial / Radial

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Tabla 12-3: Impulsor de turbina tipo hojas planas y disco

	
Viscosidad del medio	10 Pa*s
Régimen de turbulencia	Turbulento
Velocidad tangencial	3 - 7 m/s
Campo de flujo	Radial

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Una vez definidas las propiedades de cada tipo de impulsor, se procede a seleccionar el tipo adecuado para el fluido a mezclarse. Para este objetivo comparamos las propiedades de la silicona con las características que cumplen cada impulsor, y se procede a seleccionar la opción más adecuada.

Tabla 13-3: Selección del tipo adecuado de impulsor

Viscosidad Silicona		Impulsor tipo ancla	Impulsor tipo paleta	Impulsor tipo hélice	Impulsor tipo hojas inclinadas	Impulsor tipo hojas planas y disco
10 Pa*s		1000 Pa*s	10 Pa*s	<8 Pa*s	100 Pa*s	10 Pa*s

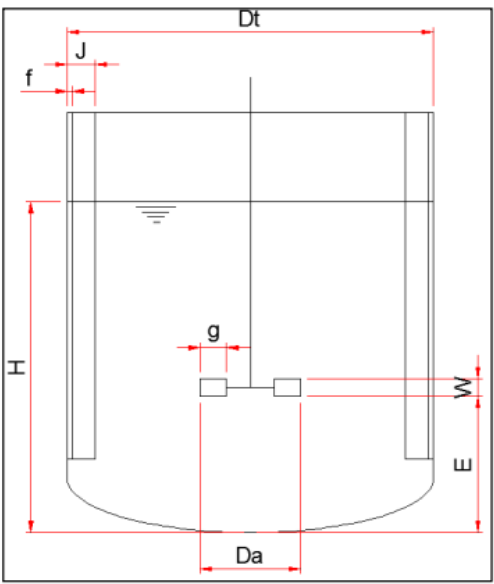
Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Posterior a comparar la viscosidad del fluido en función de la capacidad de cada impulsor se puede concluir que existen dos opciones válidas para mezclar la silicona, las cuales son: el impulsor de pala tipo paleta y el impulsor de turbina tipo hojas planas y disco. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que, el flujo tangencial genera un vórtice en la superficie del fluido, que da lugar a que se introduzca gas dentro del fluido; este factor debe evitarse ya que, en vez de generarse una mezcla homogénea, se genera una concentración. Con estas importantes consideraciones, la opción óptima para este tipo de mezclas corresponde a un “impulsor de turbina tipo hojas planas y disco”, en este caso con 6 palas planas.

3.6.1.2. Diseño de la estructura del mezclador

Una vez seleccionado el impulsor que se va a incorporar al mezclador, es necesario determinar las medidas del recipiente que se va a encargar de almacenar la mezcla durante el proceso de agitado, hasta la obtención del producto homogéneo. Cabe destacar, que existen diversas variables que afectan al proceso de agitado que se encuentran directamente relacionadas con el diámetro del recipiente, altura del fluido, tipo de impulsor, entre otros, que inciden sobre la velocidad en la que el fluido circula, campo y régimen de flujo y demás especificaciones que permiten que se obtenga una mezcla homogénea y óptima. Es así, que para poder definir las distintas medidas del recipiente del mezclador se han utilizado semejanzas geométricas estandarizadas que relacionan medidas generales del estanque en función del tipo de impulsor seleccionado, en este caso corresponde a un impulsor de turbina tipo hojas planas y disco. A continuación, se presenta las diferentes semejanzas geométricas para este tipo de impulsor y mediante las cuales se obtendrán las medidas respectivas del recipiente.

Tabla 14-3: Semejanzas geométricas para un impulsor tipo turbina

	
$H/Dt = 1$	$g/Da = 0.25$
$W/Da = 0.2$	$E/Dt = 0.33$
$f/Dt = 0.02$	$J/Dt = 0.1$
$Da/Dt = 0.33$	

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Una vez definidas las semejanzas geométricas para este tipo de impulsores se procede a definir el volumen de llenado para el recipiente. En este caso, mediante datos obtenidos en ensayos del grupo GIEBI de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, es necesario una cantidad de 100 ml de la fase A y 100 ml de la fase B de la silicona Mold Max 29NV para obtener una prótesis

completa de muñón con base en el molde obtenido por el mencionado grupo de investigación, de esta manera, se define un volumen de llenado para 4 prótesis, es decir 800 ml de la mezcla. Por tanto, se determina la altura de llenado del recipiente mediante la siguiente relación:

$$\pi * \frac{d^2}{4} * H = 800 \text{ cm}^3 \quad \text{Ec. 1}$$

Se asume un diámetro del recipiente de 10 cm, y mediante reemplazo de datos se obtiene:

$$H = 10.2 \text{ cm}$$

Reemplazando el valor de H en las semejanzas geométricas respectivas, se obtiene:

$$E = 3.4 \text{ cm}$$

$$Dt = 10.2 \text{ cm}$$

$$W = 0.7 \text{ cm}$$

$$Da = 3.4 \text{ cm}$$

$$g = 0.85 \text{ cm}$$

De esta forma, quedarían definidos las medidas del recipiente que pasará a conformar el mezclador para posteriormente comprobar su resistencia y validez mediante un análisis mef del mismo. Por otro lado, para los valores de J y f, que corresponden al diseño de placas deflectoras. Mas adelante, se establecerá un apartado con el detalle explicativo sobre el proceso de selección de estos componentes.

3.6.1.3. Diseño de placas deflectoras

Las placas deflectoras son una serie de placas verticales que se integran al recipiente del mezclador para que se genere una mayor turbulencia durante el agitado del fluido y por tanto una mejor mezcla de este. Las consideraciones a tener en cuenta para la selección de las placas deflectoras viene relacionado netamente con el régimen de turbulencia del fluido a mezclar, es por esto que, para el cálculo del número de Reynolds es preciso para determinar el régimen de turbulencia del fluido, y posteriormente determinar los valores de j y F de la siguiente tabla con el fin de diseñar dichos componentes.

Tabla 15-3: Dimensiones para placas deflectoras (mm)

Diámetro	J	f
100	8	2
2000	16	4
300	24	6
400	32	8
500	40	10
600	48	12
800	64	16
1000	100	20
1200	110	24
1600	128	32
2000	160	40
2500	200	50
3000	240	60
4000	320	80
4500	360	90
5000	400	100
6000	480	120
7500	600	150
10000	800	200
12000	960	240

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

A continuación, se procede a calcular el número de Reynolds de la silicona mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{Nd^2\rho}{\mu} \quad Ec. 2$$

Donde:

N: velocidad de rotación (rps)

d: diámetro del agitador (m)

ρ : densidad del fluido (kg/m³)

μ : viscosidad (Pa*s)

En este caso, se utiliza el diámetro del agitador previamente calculado de 3,4 cm donde se aproxima a un valor de 4 cm y se determina una velocidad de rotación de 115 rpm para lograr un mezclado adecuado de la silicona. De donde se desprende:

$$N = 115 \text{ rpm} = 1.917 \text{ rps}$$

$$d = 4 \text{ cm} = 0.04 \text{ m}$$

$$\rho = 1.17 \text{ g/cm}^3 = 1170 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 10000 \text{ cps} = 10 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$Re = \frac{1.917 * 0.04^2 * 1170}{10}$$

$$Re = 0,36 < 10$$

En el caso expuesto se puede determinar que el número de Reynolds obtenido corresponde a un flujo laminar. Para la selección de las placas deflectores en función del flujo turbulento se tiene que: para valores de $Re > 2000$, las placas deflectoras se usan conjuntamente con impulsores de tipo turbina, para valores de $10 < Re < 10000$, se tiene que el ancho de la placa puede reducirse a la mitad y finalmente para valores de $Re < 10$, no se recomienda el uso de placas deflectoras. Por tanto, al estar el fluido en un régimen laminar de $Re < 10$, se concluye que no es necesario la utilización de placas deflectoras.

3.6.1.4. Selección del motor para el mezclador

La selección del motor adecuado para la máquina a diseñarse es de suma importancia, ya que debe cumplir con los parámetros establecidos de rpm y potencia requeridos para que el equipo funcione de manera óptima. En este caso, se debe analizar primeramente la potencia consumida por la máquina para de esta forma determinar en catálogos cual es la mejor opción de compra. Para poder abordar este análisis es necesario determinar el número de Reynolds del flujo a mezclar, con el fin de aplicar las relaciones correspondientes para el cálculo de la potencia del motor que se va a incorporar al impulsor escogido. En la siguiente tabla se puede verificar las relaciones correspondientes en función del Re del fluido y los valores correspondientes de las constantes KT y KL para el cálculo de la potencia:

Tabla 16-3: Relaciones para el cálculo de la potencia consumida del mezclador

Re<300 con o sin placas deflectoras	$P = KL * N^2 * d^3 * \mu$
Re>10000 con placas deflectoras	$P = KT * N^3 * d^5 * \rho$

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Tabla 17-3: Constantes KL y KT para el cálculo de la potencia

Impulsor	KT	KL
----------	----	----

Turbina, seis palas planas	6.30	71
Turbina, dos palas planas	1.70	36.5
Hélice paso cuadrado, tres palas	0.32	41
Hélice paso de 2, tres palas	1	43.5

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Donde se tiene que:

P: potencia consumida por el motor (W)

KL: constante extraída de la tabla 10-3 para cálculo de potencia

KT: constante extraída de la tabla 10-3 para cálculo de potencia

N: velocidad de rotación (rps)

d: diámetro del agitador (m)

μ : viscosidad del fluido (Pa*s)

ρ : densidad del fluido (kg/m³)

Una vez definidas las relaciones para el cálculo de la potencia consumida, se utiliza la correspondiente a $Re < 300$ sin placas deflectoras, donde reemplazando datos se tiene:

$$P = KL * N^2 * d^3 * \mu \quad Ec. 3$$

$$P = 71 * 1.917^2 * 0.04^3 * 10$$

$$P = 0.167 W = 0.000224 HP$$

Tabla 18-3: Parámetros del motor para selección de catálogo

Potencia	0.000224 HP
Revoluciones por minuto	115 rpm

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Mediante los parámetros obtenidos del motor, se procede a seleccionar la opción más adecuado en función a las especificaciones del fabricante y que se aproximen más a los requerimientos de consumo y rendimiento. De donde se seleccionó el motor:

Tabla 19-3: Selección del motor Aexit, 120 rpm, 0.03 HP

	
Marca	Aexit
Velocidad	120 rpm
Voltaje	24 voltios
Potencia	0.03 HP
Material	Metal
Nivel de ruido	0.03 dB
Modelo	Modle
Peso del producto	13.4 oz
Tamaño del eje	0.787 x 0.276 in
Tamaño total	3.6 x 1.7 in

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.6.1.5. Diseño del eje del impulsor

Para determinar el diámetro adecuado del eje del impulsor es importante realizar un análisis tanto estático y dinámico, mediante la ecuación del ASME, criterios de falla a fatiga y el análisis de las velocidades críticas del eje para evitar que llegue a resonancia.

3.6.1.5.1. Análisis estático

Para analizar las resistencias tanto a la deflexión como a la torsión, se aplica la siguiente ecuación correspondiente al ASME, utilizada para calcular el diámetro de un eje sólido sometido a una carga axial ligera o nula:

$$D^3 = \frac{16}{\pi * \tau d} \sqrt{(Ks * T)^2 + \left(\frac{F * D}{8}\right)^2} \quad Ec. 4$$

Donde se deriva que:

τd : Esfuerzo de torsión para sección circular

Ks : Constante momento flector

Km : Constante momento torsor

T : Torque del motor

F : Carga lateral al eje

D : Diámetro del eje

Una vez definidas las variables a encontrar, se determina las propiedades mecánicas del material, en este caso corresponde a un acero inoxidable 314L:

Tabla 20-3: Propiedades mecánicas del acero inoxidable 314L

Esfuerzo de rotura (Sr)	558.4 MPa
Esfuerzo de fluencia (Sy)	227.5 MPa

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Se procede a calcular el esfuerzo de torsión para una sección circular mediante los datos obtenidos de Sr y Sy, de donde se toma el valor menor:

$$\tau d = 0.3 * Sy * 0.75 = 51.19 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 5}$$

$$\tau d = 0.18 * Sr * 0.75 = 75.38 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 6}$$

De donde se tiene que τd es igual a 51.19 MPa.

Por otro lado, se definen las constantes Ks y Km para carga liviana en un mezclador de fluidos:

Tabla 21-3: Valor de constantes Ks y Km

Ks	1.5 - 2
Km	1 - 1.5

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

A su vez, se procede a calcular el torque otorgado por el motor seleccionado, de donde se obtiene:

$$T = \frac{7162000 * HP}{rpm} \quad \text{Ec. 7}$$

$$T = \frac{7162000 * 0.03}{120}$$

$$T = 1790.5 \text{ N} - \text{mm}$$

Además, se calcula la carga lateral al eje mediante la siguiente relación:

$$F = \frac{8 * Ta}{3 * d} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

Ta: Torque del agitador

d: diámetro del impulsor

Por tanto, se establece:

$$F = \frac{8 * 1790.5}{3 * 40} = 119.37 \text{ N}$$

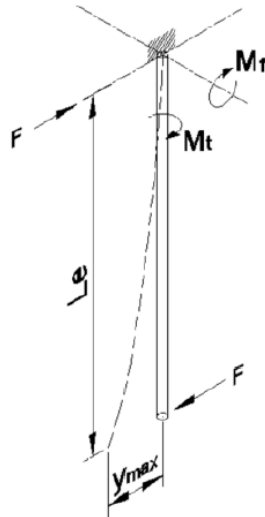


Ilustración 6-3: DCL del eje del agitador

Fuente: Ramírez, 2014 pág. 49

Finalmente se reemplazan los valores obtenidos en la fórmula inicial del ASME y se determina el valor de D:

$$D^3 = \frac{16}{\pi * 51.19} \sqrt{(2 * 1790.5)^2 + \left(\frac{1 * 119.37 * D}{8}\right)^2}$$

$$D = 7.09 \text{ mm} \approx 15 \text{ mm}$$

Por tanto, se concluye que el diámetro adecuado para el eje del impulsor es de 15 mm de diámetro.

3.6.1.5.2. Análisis de vida del eje por fatiga

Para determinar la resistencia a la fatiga se utiliza la siguiente expresión:

$$Se' = 0.5 S_{ut} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde: $S_{ut} = 650 \text{ MPa}$

$$Se' = 0.5 * 650 = 325 \text{ MPa}$$

Se procede a corregir dicho valor, determinando los valores de K_a , K_b , K_c , K_d , K_e y reemplazando en la ecuación:

$$Se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_g * Se' \quad \text{Ec. 10}$$

Para el valor de K_a , se tiene:

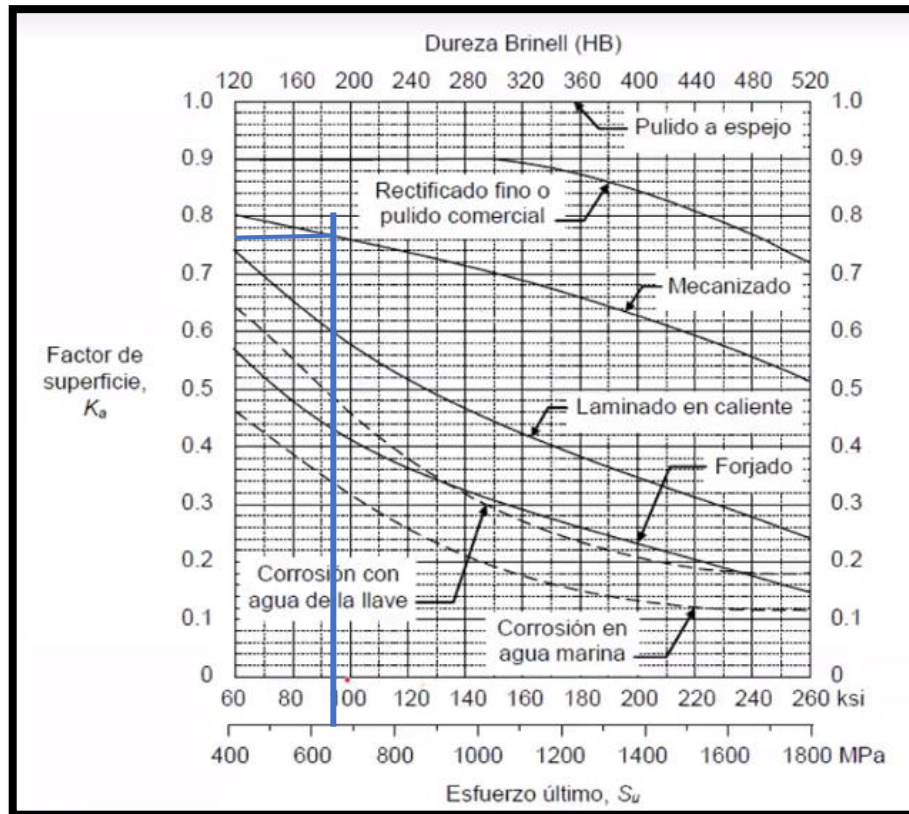


Ilustración 7-3: Factor de superficie, K_a

Fuente: Budynas, 2012 pág. 274

$$K_a = 0.76$$

Para K_b se establece:

$$K_b = 1.24 * d^{-0.107} \quad \text{Ec. 11}$$

$$K_b = 1.24 * 15^{-0.107}$$

$$K_b = 0.928$$

Para K_c se tiene:

Para 99% de confiabilidad un valor de $K_c = 0.814$

Para K_d y K_g se infiere:

$$K_d = 1; K_g = 1$$

Reemplazando estos valores en la Ec.10:

$$S_e = 0.76 * 0.928 * 0.814 * 1 * 1 * 325$$

$$S_e = 186.582 \text{ MPa}$$

Posteriormente, se calcula el valor de los esfuerzos a flexión y torsión generados en el eje. Para alcanzar este objetivo, se analiza la sección donde se va a producir un concentrador de esfuerzos debido a un cambio de sección correspondiente a la unión del impulsor con el eje del agitador.

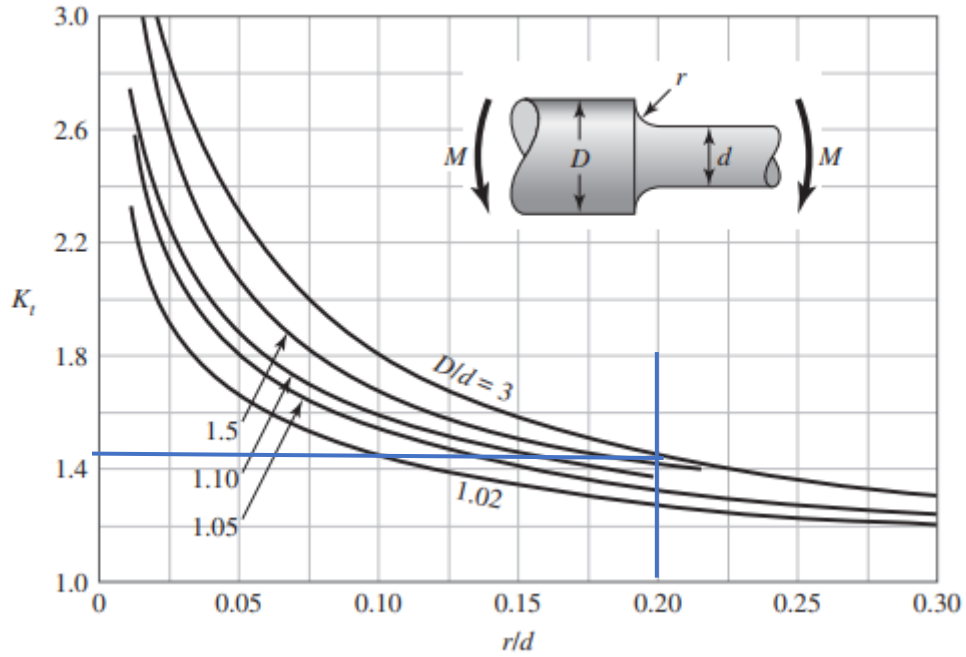


Ilustración 8-3: Factor k_t de concentrador de esfuerzos

Fuente: Budynas, 2012 pág. 992

Donde:

$$D = 4 \text{ cm} = 40 \text{ mm}$$

$$d = 15 \text{ mm}$$

$$r = 3 \text{ mm}$$

Obteniendo las relaciones respectivas se consigue:

$$\frac{D}{d} = \frac{40}{15} = 2.67$$

$$\frac{r}{d} = \frac{3}{15} = 0.2$$

Por tanto, en el gráfico se puede determinar que $k_t = 1.41$

Además, se determina el valor del factor q , correspondiente a la sensibilidad de la muesca mediante la siguiente tabla:

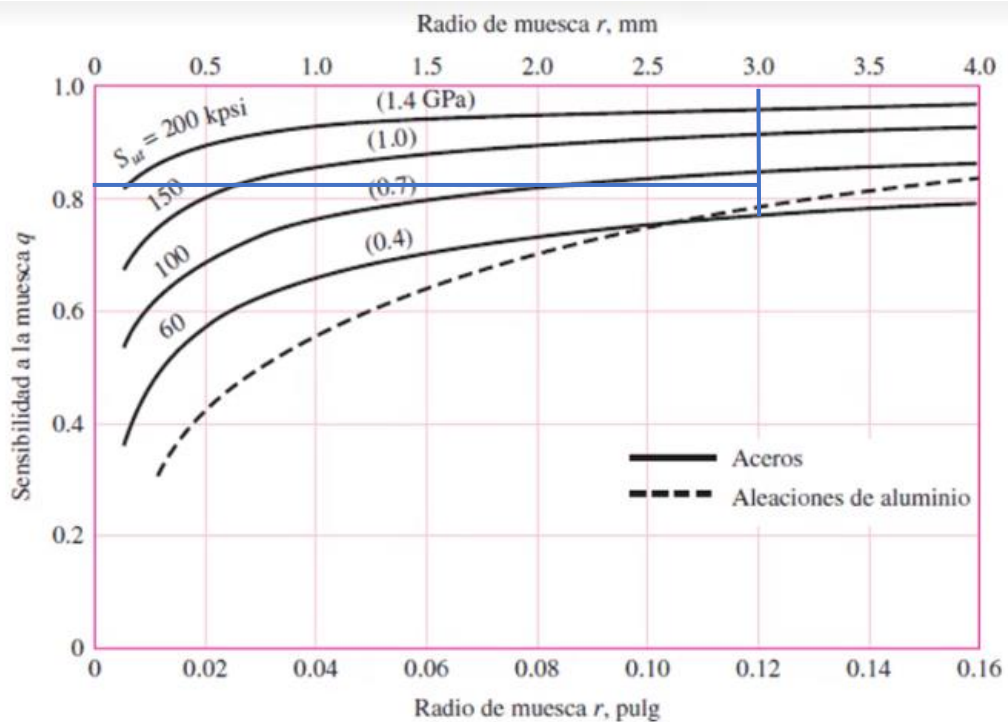


Ilustración 9-3: Sensibilidad de la muesca, q

Fuente: Budynas, 2012 pág. 282

En el gráfico se puede determinar que el valor de $q = 0.84$

Con los datos obtenidos de q y k_t se procede a calcular el valor de k_f , el mismo que nos permite determinar el esfuerzo de flexión en el cambio de sección del eje, donde se deduce:

$$k_f = q * (k_t - 1) + 1 \quad \text{Ec. 12}$$

$$k_f = 0.84 * (1.41 - 1) + 1$$

$$k_f = 1.344$$

A continuación, se determina el esfuerzo nominal de flexión mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{an} = \frac{32 * M_f}{\pi * d^3} \quad \text{Ec. 13}$$

$$\sigma_{an} = \frac{32 * 119.37 * 200}{\pi * 15^3}$$

$$\sigma_{an} = 72.053 \text{ MPa}$$

Reemplazando el valor de k_f se recalcula el valor del esfuerzo de flexión σ_a :

$$\sigma_{af} = k_f * \sigma_{an} \quad \text{Ec. 14}$$

$$\sigma_{af} = 1.344 * 72.053$$

$$\sigma_{af} = 96.868 \text{ MPa}$$

Por otro lado, se determina el esfuerzo de torsión mediante la relación:

$$\tau_m = \frac{16 * T_m}{\pi * d^3} \quad \text{Ec. 14}$$

$$\tau_m = \frac{16 * 1790.5}{\pi * 15^3}$$

$$\tau_m = 2.702 \text{ MPa}$$

Utilizando la teoría de la energía de distorsión de Von Mises se determina el esfuerzo σ_a y σ_m , donde:

$$\sigma_a = \sigma_{af} = 96.868 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \sqrt{3} * \tau_m = 4.68 \text{ MPa}$$

Finalmente, aplicando la teoría de fallas de Soderberg, se tiene:

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} \quad \text{Ec. 15}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{96.868}{186.58} + \frac{4.68}{227.5}$$

$$n = 1.85 > 1$$

Por tanto, al ser el factor de seguridad obtenido mayor a 1, se puede concluir que el eje tiene vida infinita y por tanto el diámetro definido cumple con los requerimientos del agitador.

3.6.1.5.3. Análisis de velocidad crítica del eje

El análisis de la velocidad crítica del eje es de importancia vital, toda vez que consiste conocer la velocidad a la cual el eje podría entrar en resonancia debido a las vibraciones no amortiguadas en el eje del impulsor. Este aspecto podría poner en peligro la integridad de la máquina. Para proceder con el análisis se utiliza dos expresiones las cuales nos permiten determinar dicha velocidad crítica, de donde:

$$m_{eq} = 0.24 * m_{eje} * L_{eje} \quad \text{Ec.16}$$

$$W_c = \left(\frac{3 * E * J}{L_{eje}^3 * (m_{imp} + m_{eq})} \right) \text{Ec. 17}$$

Para el acero inoxidable 314L se consigue definir su densidad como 7.8 g/cm^3 , de donde, para un cilindro de 20 cm de longitud y un diámetro de 15 mm se tiene que:

$$\delta = \frac{m_{eje}}{V}$$

$$7.8 = \frac{m_{eje}}{\pi * \frac{1.5^2}{4} * 20}$$

$$m_{eje} = 275.674 \text{ g} = 0.276 \text{ kg}$$

$$L_{eje} = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$$

Para la masa del impulsor se debe tomar en cuenta las 6 palas y el disco interno, por tanto:

$$7.8 = \frac{m_{disco}}{\pi * \frac{4^2}{4} * 0.03}$$

$$m_{disco} = 2.94 \text{ g} = 2.94e - 3 \text{ kg}$$

$$7.8 = \frac{m_{palas}}{0.85 * 0.7 * 0.03}$$

$$m_{palas} = 6 * 0.14 \text{ g} = 0.84 \text{ g} = 8.4e - 4 \text{ kg}$$

Por tanto, la masa del impulsor es igual a $m_{imp}=3.78e-3 \text{ kg}$.

Además, se determina los valores del módulo de elasticidad E y el momento polar de inercia J para un eje sólido:

$$E = 200 \text{ GPa} = 200 * 10^9 \text{ Pa}$$

$$J = \frac{\pi * d^4}{32} = \frac{\pi * 0.015^4}{32} = 4.97 * 10^{-9} \text{ m}^4$$

Finalmente, reemplazando en las ecuaciones respectivas se deduce que:

$$m_{eq} = 0.24 * m_{eje} * L_{eje} = 0.24 * 0.276 * 0.2$$

$$m_{eq} = 0.01325 \text{ kg}$$

$$W_c = \left(\frac{3 * 200 * 10^9 * 4.97 * 10^{-9}}{0.2^3 * (3.78 * 10^{-3} + 0.01325)} \right)$$

$$W_c = 21887844.98 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 210000000 \text{ rpm}$$

Por tanto, se infiere que el eje al moverse a 120 rpm se encuentra dentro del rango permisible y por ende, se encuentra muy lejos de entrar en resonancia. En este punto, el eje queda validado.

3.6.2. *Diseño del sistema de inyección*

Para el diseño del sistema de inyección se debe considerar las variables implícitas en el proceso, mismas que se enlistan a continuación:

- Conducción del fluido a la cámara de dosificación
- Sistema neumático
- Moldes del muñón
- Cámara de dosificación
- Sistema de inyección del fluido

3.6.2.1. *Conducción del fluido*

Para la conducción del fluido del tanque de agitación a la cámara de dosificación se aprovecha la energía potencial que adquiere el fluido en este caso la silicona con el diferencial de altura existente entre tanque y la cámara, tal como se muestra en la ilustración 10-3. (Cengel, 2016, págs. 50-52).

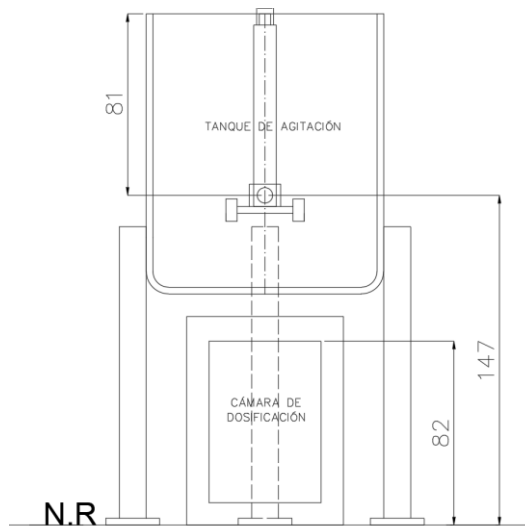


Ilustración 10-3: Potencial de altura

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Al aplicar el principio de Bernoulli, teniendo en consideración el punto 1 como la salida de la tubería del tanque de agitación y el punto 2 como la entrada a la cámara de dosificación, se calcula la presión con la cual llegara la silicona al punto 2, teniendo en cuenta que dicha presión debe ser mayor que 0.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_{lt}$$

Donde:

$\frac{P_1}{\gamma}$: Presión en el punto 1 [m. c. f]

V_1^2 : velocidad del fluido en el punto 1 $\left[\frac{m}{s}\right]$

z_1 : Altura 1 desde el nivel de referencia [m]

$\frac{P_2}{\gamma}$: Presión en el punto 2 [m. c. f]

$\frac{V_2^2}{2g}$: Velocidad del fluido en el punto 2 $\left[\frac{m}{s}\right]$

z_2 : Altura 2 desde el nivel de referencia [m]

h_{lt} : Pérdidas por longitud de tubería [m. c. f]

Debido a que la velocidad en el punto 1 y en el punto 2 son aproximadamente iguales se anulan de la ecuación.

$$P_1 = \rho * g * h$$

$$\frac{\rho * g * h_{fluido}}{\rho * g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_{lt}$$

$$h_{fluido} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_{lt}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = h_{fluido} + (z_1 - z_2) - h_{lt}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = 0,081 + (0,147 - 0,082) - \frac{8 * Q^2 * L * f}{\pi^2 * g * \phi^5}$$

El caudal de conducción se obtiene con la ecuación de la continuidad.

$$Q = V * A$$

La velocidad del fluido depende de las propiedades físicas de la silicona descritas en el capítulo 2, del número de Reynolds explicado en el capítulo 3.3 y del diámetro interno de la tubería de conducción que tiene un valor de 4 mm (Cengel, 2016, págs. 80-82).

$$V = \frac{Re * \mu}{\rho * D}$$

Donde:

Re: Número de Reynolds

μ : Viscosidad dinámica [Pa. s]

ρ : Densidad de la silicona $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

D: Diámetro interno de la tubería [m]

$$V = \frac{0,36 * 10}{1170 * 0,004}$$

$$V = 0,769 \frac{m}{s}$$

$$Q = 0,769 * \frac{\pi * 0,004^2}{4}$$

$$Q = 9,664x10^{-6}$$

El cálculo del factor de fricción se obtiene utilizando la ecuación de Darcy.

$$f = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon}{3,7 * \phi}\right) + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)^2}$$

Donde la rugosidad absoluta ε de la tubería de PVC es de 0,0015 mm.

$$f = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{0,0015}{3,7 * 4}\right) + \frac{5,74}{0,36^{0,9}}\right)^2}$$

$$f = 0,00231$$

Los datos obtenidos se remplazan en la ecuación de la presión en el punto 2.

$$\frac{P_2}{\gamma} = 0,146 - \frac{8 * 9,664x10^{-6^2} * 0,105 * 0,00231}{\pi^2 * g * 0,004^5}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = 0,144 \text{ m. c. f}$$

3.6.2.2. Sistema neumático

Para el sistema neumático se considera la selección del pistón, la selección del compresor de aire y el sistema de control que incluye válvulas, tubería de condición de aire y accesorios necesarios.

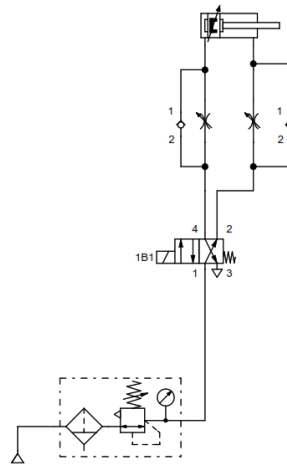


Ilustración 11-3: Sistema neumático

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.6.2.2.1. Pistón neumático

Conforme a lo que determina la investigación previa efectuada por el grupo GIEBI, la silicona se debe inyectar con una fuerza mínima de 25 kg; con el fin de mejorar las propiedades físicas del muñón se debe inyectar la silicona con mayor presión, así disminuirá la cantidad de aire presente en la silicona. Para esto la fuerza máxima a la cual se inyectará el fluido será de 75 kg, con ello se selecciona el pistón neumático.

Se calcula el diámetro que debe tener el embolo del pistón considerando una presión de 6 bares o 90 psi la cual es la presión mínima de un pistón estándar.

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

Donde:

P : Presion en el cilindro [MPa]

F : Fuerza [N]

A : Área transversal del cilindro [mm^2]

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

$$A = \frac{75 * 9,81}{0,621}$$

$$\frac{\pi * \phi_{embolo}^2}{4} = 1184,78$$

$$\varnothing_{embolo} = 38,83$$

Normalizando el diámetro del embolo tenemos un valor de 40 mm.

Según (FESTO, 2015), una vez seleccionado el diámetro del embolo se considera un pistón de doble efecto para la inyección de aire, en este caso se selecciona del catálogo DSBC, ISO 15552 de la marca FESTO.

Cuadro general del producto


Función	Ejecución	Código del producto	Diámetro del émbolo	Carrera	Vástago doble	Vástago con rosca interior	Ranura para sensor en 3 lados	Amortiguación	PPS	PPV
			[mm]	[mm]	T	F	D3	P	PPS	PPV
De doble efecto	DSBC... 	DSBC...	32, 40, 50, 63, 80, 100, 125	1 ... 2800	■	■	■	■	■	■

Ilustración 12-3: Catálogo del cilindro pistón

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

En la ilustración se observa que el pistón es de doble efecto, con un diámetro del embolo entre 32 a 125 mm y la carrera de 1 a 2800 mm, misma que puede tener un vástago doble y de amortiguación autorregulable.

A continuación, se muestra el código del producto para cuyo uso FESTO indica diferentes características del mismo. En este caso, la serie del pistón es la DSBC como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 22-3: Pistón DSBC

001	Serie
DSBC	Cilindro normalizado, de doble efecto, basado en ISO 15552

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Según la siguiente tabla, la cuarta característica del producto es el diámetro del embolo que en este caso en concreto es de 40 mm.

Tabla 23-3: Selección del pistón con diámetro de 40 mm

004	Diámetro del émbolo [mm]
32	32
40	40
50	50
63	63
80	80
100	100
125	125

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

La quinta característica se encuentra enlistada en la tabla 24-3, la cual representa la longitud de la carrera cuyo valor es de 50 mm.

Tabla 24-3: Selección de la carrera del pistón, que tiene un valor de 50 mm

005	Carrera [mm]
20	20
25	25
30	30
40	40
50	50
60	60

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

El bloqueo y amortiguación se encuentran en la tabla 25-3 y 26-3 respectivamente, además se debe tener el vástago bloqueado para evitar el retorno del fluido a la cámara de dosificación y la amortiguación. Al momento del retorno del embolo debe ser autorregulable en ambos lados.

Tabla 25-3: E2, vástago extendido

007	Bloqueo de la posición final
	Sin
E1	En ambos lados
E2	Con vástago extendido
E3	Con vástago retraído

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Tabla 26-3: PPS, amortiguación neumática, autorregulable en ambos lados

011	Amortiguación
P	Anillos amortiguadores/placas amortiguadoras elásticos en ambos lados
PPS	Amortiguación neumática, autorregulable en ambos lados
PPV	Amortiguación neumática, regulable en ambos lados

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Descrito lo anterior se tiene que la serie del producto es la DSBC-40-50-E2-PPS.

Tabla 27-3: Especificaciones del pistón seleccionado

Especificaciones técnicas generales				
Diámetro del émbolo	32	40	50	63
Forma constructiva	Embolo/vástago/camisa perfilada			
Modo de operación	De doble efecto			
Conexión neumática	G1/8	G1/4	G1/4	G3/8
Rosca del vástago	M10x1,25	M12x1,25	M16x1,5	M16x1,5
Carrera				
DSBC...	[mm]	1 ... 2800		
Amortiguación				
DSBC...-P	Anillos/placas amortiguadores elásticos en ambos lados			
DSBC...-PPV	Amortiguación neumática regulable en ambos lados			
DSBC...-PPS	Amortiguación neumática autorregulable en ambos lados			
Condiciones de funcionamiento y del entorno				
Diámetro del émbolo	32	40	50	63
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]			
Nota sobre el medio de funcionamiento/de mando	Es posible el funcionamiento con presencia de aceite (necesario para el fu			
Presión de funcionamiento				
DSBC...	[MPa]	0,06 ... 1,2	0,04 ... 1,2	
	[bar]	0,6 ... 12	0,4 ... 12	
Pesos [g]				
Diámetro del émbolo	32	40	50	63
DSBC...				
Peso del producto con carrera de 0 mm	465	740	1190	1740
Peso adicional por cada 10 mm de carrera	27	37	56	62
Masa en movimiento con carrera de 0 mm	110	205	365	430
Masa en movimiento por 10 mm de carrera	9	16	25	25
Fuerzas [N] y energía de impacto [J]				
Diámetro del émbolo	32	40	50	63
Fuerza teórica a 6 bar, avance	483	754	1178	1870
Fuerza teórica a 6 bar, retroceso	415	633	990	1682
Energía máx. de impacto en las posiciones finales				
DSBC...	0,4 ¹⁾	0,7	1,0	1,3
DSBC...-L/-U/-T1/-T3/-T4	0,2 ¹⁾	0,35	0,5	0,65
DSBC...-L1	0,1	0,2	0,3	0,4

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.6.2.3. Diseño de los moldes del muñón

Para obtener los moldes adecuados previamente se pasó por tres procesos; el primero consistía en el método de prueba-error con los moldes entregados por el grupo de investigación GIEBI, mismos que fueron diseñados e impresos en 3D, para cubrir una amputación de brazo medio, comprendida en el área entre la muñeca y el codo. Los moldes se muestran en la figura 13-3.



Ilustración 13-3: Moldes 3D

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Mientras que, el segundo método consistió en utilizar un scanner 3D de una prótesis existente en el mercado. Tras el proceso se obtuvo una nube de puntos y post-procesado, la misma en software CAD para comparación con la prótesis del grupo GIEBI. Los moldes fueron impresos en resina de ingeniera como se muestra en la figura 14-3.



Ilustración 14-3: Moldes en resina translúcida

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

A primera vista se evidenció la diferencia en el molde macho. El del grupo GIEBI tiene perturbaciones propias de la amputación de una persona. Por otra parte, el molde a partir de una prótesis existente es una superficie uniforme en todo su contorno, misma que se puede asemejar la de una parábola. Finalmente, en el tercer método se procedió a realizar los moldes en impresión 3D con filamento PLA, debido a que facilita la extracción de la prótesis una vez que esta se encuentra solidificado, a diferencia de los moldes en resina de ingeniería los cuales se adherían muy fuerte a la prótesis.

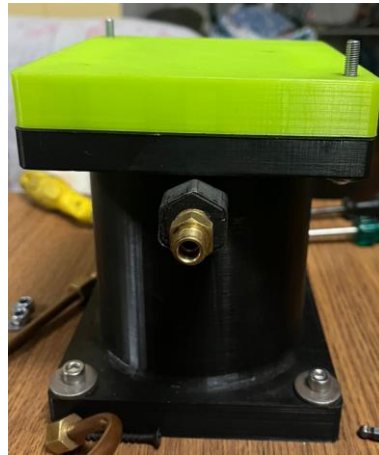


Ilustración 15-3: Moldes en filamento PLA

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Tipos de mezcla

Para obtener la mejor mezcla para el material seleccionado para la elaboración de la prótesis se trazó una pequeña prueba experimental donde se probaron diferentes cantidades de mezcla, tanto en volumen como en masa, al igual que diferentes tiempos de agitación de este. A continuación, se describe cada una de las mezclas y tiempos utilizados.

Mezcla 1:1 respecto al volumen

Siguiendo las instrucciones brindadas por el grupo de investigación GIEBI la mezcla se la debe realizar con una proporción 1:1 en volumen del MOLD MAX 29 NV, que contiene una parte A la cual es una goma de silicona que se endurece con la parte B que es un catalizador, como se muestra en la figura 21-3 se midió 100 ml de parte A (blanca) y 100 ml de parte B (amarilla) y se la agito durante 1 minuto debido a la rápida solidificación de la mezcla, pasado 6 minutos la mezcla estuvo endurecida en su totalidad se definió que la viscosidad de esta mezcla es alta, debido al acelerado endurecimiento.



Ilustración 16-3: 100A:100B

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Mezcla 100:10 respecto al volumen

Como se observa en la ilustración 17-3 se midió 100 ml de componente A (Blanco) y 10 ml de componente B (amarilla), y se agito durante 6 minutos debido a que la mezcla no endurecía, manteniendo una viscosidad baja en todo el tiempo de agitación.



Ilustración 17-3: 100A:10B

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Mezcla 100:100 respecto a la masa

La ilustración 18-3 muestra cómo se pesó 100 gramos de componente A (Blanco) y 100 gramos de componente B (amarillo) agitando la mezcla durante 30 segundos, debido a su pronto endurecimiento. Finalmente, se obtuvo una viscosidad alta durante todo el tiempo de agitación misma que supera los 10 Pa.s., solidificándose, incluso en los vasos de mezcla utilizados.

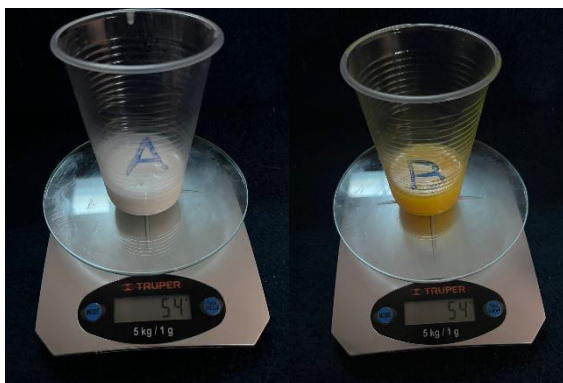


Ilustración 18-3: 100A:100B

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Mezcla 100:10 respecto a la masa

Bajo las recomendaciones del fabricante la ilustración 19-3 indica que se pesaron 100 gramos de parte A (Blanca) y 10 gramos de parte B (Amarilla), con un tiempo de agitación de aproximadamente 10 minutos se obtuvo una mezcla totalmente homogénea que presentaba el mismo color amarillento en todas sus partes, conservando una viscosidad baja la cual se especifica que es de 10 Pa.s.

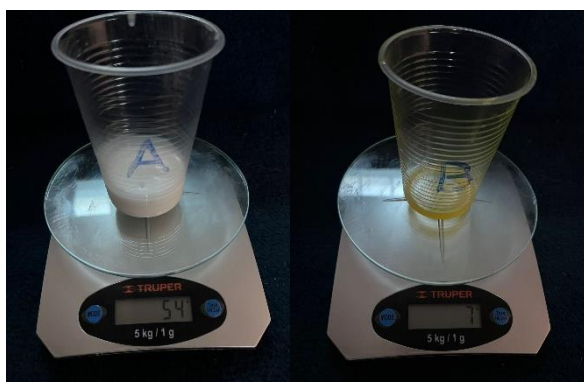


Ilustración 19-3: 100A:10B

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Estireno

Debido a que el fluido se solidifica muy rápido se estimó el uso de estireno que consiste en un líquido incoloro, de olor dulce que se evapora rápidamente. Su función principal es que aumenta el Pot life, esto quiere decir que se alarga el tiempo de vida que puede estar en un recipiente antes de que se empiece a solidificar.



Ilustración 20-3: Estireno

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Caucho de silicón T25

Investigando un poco más a fondo se encontró un material de silicón que logra remplazar al Mold Max 29NV, en virtud a que este material tiene un mejor comportamiento al entrar en contacto con la piel, de igual manera se debe hacer la mezcla por peso 100 gramos del componente A y 3 gramos del componente B.



Ilustración 21-3: Silicon T25

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Comparación de siliconas Mold Max 29NV y T25

Se realizó una comparación entre estas dos siliconas, se puso a prueba 5 muestras. Todas han sido evaluadas por peso y con diferentes cantidades de estireno para advertir el comportamiento en cada una de ellas y llegar a una conclusión de cuál es la ideal y apta al cumplir con los requisitos de mayor confort, seguridad y el tiempo de curado. Cabe recalcar que todas las mezclas son 100A:10B y son realizadas por pesos; tan solo cambia el material de silicón.

Tabla 28-3: Tipos de mezcla

MEZCLA	Tipo de Silicon	ESTIRENO	Tiempo de curado
A	Mold Max 29NV	25%	2 horas
B	Silicona T25	0%	4 horas
C	Silicona T25	25%	6 horas
D	Silicona T25	50%	8 horas
E	Mold Max 29NV	50%	6 horas

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

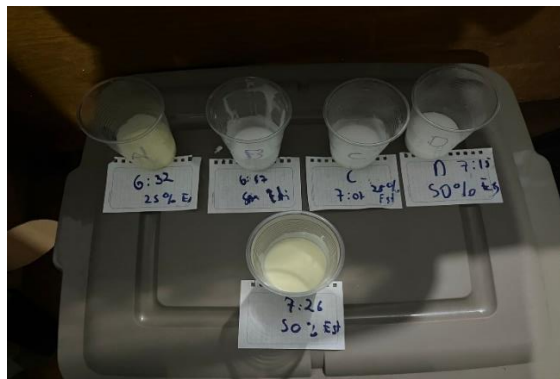


Ilustración 22-3: Tipos de Mezcla

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.6.2.4. Cámara de dosificación

La cámara de dosificación de fluido debe contar como mínimo volumen el del molde, y como máxima longitud de la misma el recorrido de la carrea de la cámara del pistón. En este sentido, los datos de entrada para el diseño son los siguiente:

Volumen: 100 ml

Longitud: 50 mm

Se procede a calcular el diámetro de esta:

$$V = A_{cilindro} * l$$

Donde:

V : Volumen de la camara [mm^3]

$A_{cilindro}$: Area transversal de la camara [mm^2]

l : Longitud de la camara [mm]

Despejando el área para poder conseguir el valor del diámetro interior tenemos la siguiente ecuación:

$$\Phi_{interno} = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * L}}$$

$$\phi_{interno} = \sqrt{\frac{4 * 100000}{\pi * 50}}$$

$$\phi_{interno} = 50,46 \text{ mm}$$

Se normaliza el diámetro para obtener los diferentes sellos que se montaran en la construcción.

$$\phi_{normalizado} = 52 \text{ mm}$$

Se calcula el volumen real de la cámara de inyección:

$$V_{real} = A_{cilindro} * l$$

$$V_{real} = \frac{\pi * \phi_{normalizado}^2}{4} * l$$

$$V_{real} = \frac{\pi * 52^2}{4} * 50$$

$$V_{real} = 106185,837 \text{ mm}^3$$

$$V_{real} = 0,00011 \text{ m}^3$$

$$V_{real} = 106,19 \text{ ml}$$

Cálculo de la presión en la cámara de dosificación

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

Donde:

P: Presion en el cilindro [MPa]

F: Fuerza [N]

A: Área transversal del cilindro [mm²]

Tomando en cuenta que la fuerza que se ejerce en la cámara de dosificación es igual a la del pistón seleccionado a 6 bares de presión mínima se obtuvo el siguiente valor de presión:

$$P = \frac{754}{\left(\frac{\pi * 52^2}{4}\right)}$$

$$P = 0,36 \text{ MPa}$$

Preproceso:

- **Geometría**

Se configuró la geometría de la cámara de inyección en el módulo SpaceClaim del software Ansys Workbench, debido a que se realizó un análisis 2D axisymmetric, se creó una superficie que representa el perfil de revolución respecto de la cámara de inyección respecto al eje Y, tomando en cuenta que este debe estar en el eje X positivo.



Ilustración 23-3: Cámara de dosificación

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

- **Materiales**

Debido a que la cámara de inyección se encuentra sometido a una presión considerable ejercida por el pistón se debe utilizar un material anticorrosivo y que además tolere las cargas cíclicas debido al movimiento del pistón se ha procedido a utilizar el acero inoxidable para el diseño de la misma, cuyas propiedades se detallan en la tabla 29-3.

Tabla 29-3: Propiedades físicas y mecánicas del acero inoxidable

Material	Acero inoxidable (Stainless Steel)	
Densidad	7.75e-6	kg/cm ³
Módulo de Young	193000	MPa
Coefficiente de Poisson	0.310	
Esfuerzo de Tracción	586	MPa
Esfuerzo de Compresión	207	MPa
Esfuerzo de Fluencia	207	MPa

Realizado por: Cazar, D.; Tenemaza, E. 2022

3.6.2.4.1. Análisis MEF de la cámara de inyección

- **Preproceso**
- **Mallado**

Debido a que se efectuó un análisis axisymmetric para evaluar el comportamiento del tanque de inyección se alcanzó una calidad de malla cercana a 1, con un promedio de 0,98 y disminuyendo el costo computacional. De igual manera, el tiempo de ejecución en el mallado. Estos resultados se obtienen por medio de la geometría 2D.

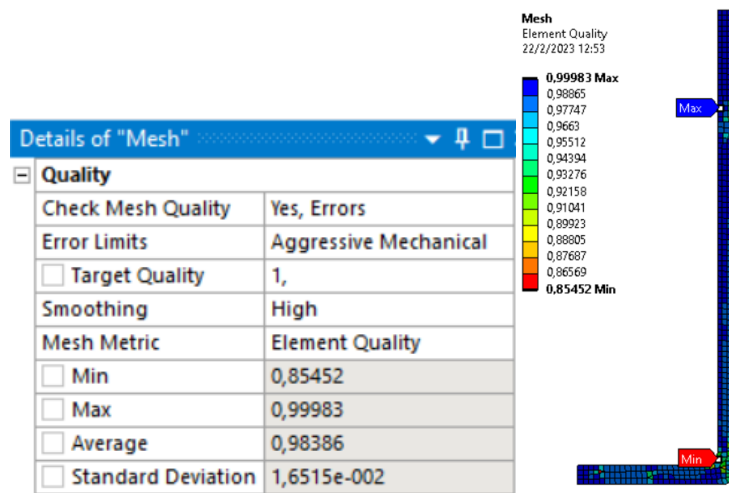


Ilustración 24-3: Análisis 2D de la cámara de inyección

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Como se observa en la ilustración 24-3 la malla está compuesta por elementos triangulares y elementos cuadriláteros, estos últimos en su mayoría, con un valor mínimo de 0,85 y un valor máximo de 0,99. Se consiguió ubicar estar por encima del promedio estipulado de 0,75 para análisis estáticos en elementos sometidos a presión.

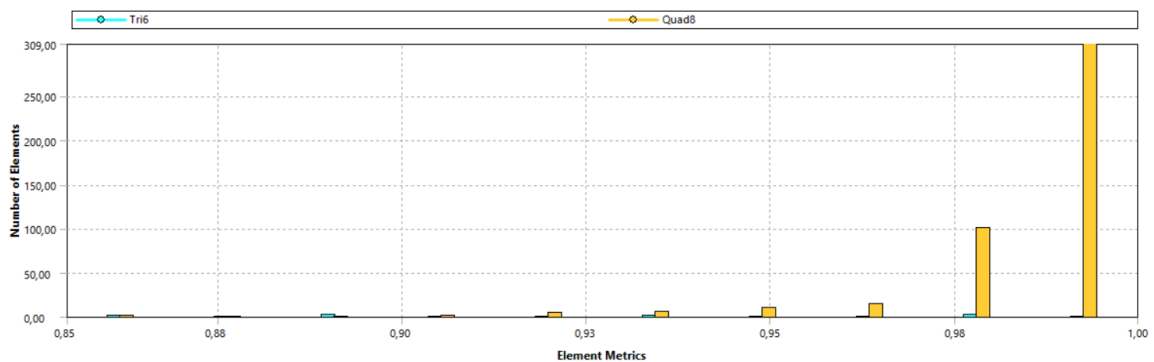


Ilustración 25-3: Resultados

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

- **Condiciones de frontera**

En función del corte del perfil de revolución el software Ansys recomienda que las restricciones de desplazamiento sean las siguientes:

- Se libera el desplazamiento del eje, paralelo al eje de corte.
- Se restringe el desplazamiento del eje, perpendicular al eje de corte.

Como se muestra en la ilustración 26-3 las condiciones de borde restringen el desplazamiento en los diferentes ejes correspondientes al corte realizado.

A: Static Structural
 Displacement 2
 Time: 1, s
 22/2/2023 13:06

A Displacement 2
 B Displacement



Details of "Displacement"		Details of "Displacement 2"	
Scope		Scope	
Scoping Method	Geometry Selection	Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Edge	Geometry	1 Edge
Definition		Definition	
Type	Displacement	Type	Displacement
Define By	Components	Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System	Coordinate System	Global Coordinate System
<input type="checkbox"/> X Component	0, mm (ramped)	X Component	Free
Y Component	Free	<input type="checkbox"/> Y Component	0, mm (ramped)
Suppressed	No	Suppressed	No

Ilustración 26-3: Condiciones de frontera

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

- **Presión interna**

Teniendo en cuenta que el fluido Silicon 29 Nv ejercerá una presión dentro de la cámara de inyección al ser empujada por el pistón, esta presión será calcula mediante la fórmula que se muestra a continuación:

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

Donde:

P: Presion en la camara de inyección [MPa]

F: Fuerza del pistón [N]

A: Área transversal de la cámara de inyección [mm²]

$$P = \frac{754}{\left(\frac{\pi * 52^2}{4}\right)}$$

$$P = 0,356 \text{ MPa}$$

Como se aprecia en la ilustración 27-3 esta presión es aplicada en todo el interior de la cámara de inyección para realizar el análisis axisymetrico, al igual que la aceleración de la gravedad.

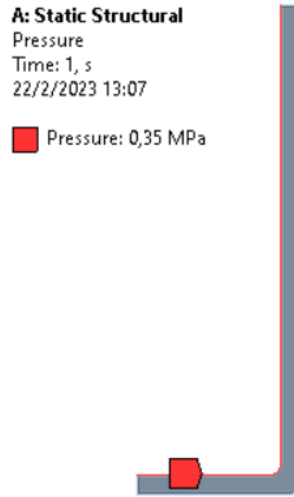


Ilustración 27-3: Presión interna

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

- **Post-Proceso**

La tabla 30-3 detalla 14 puntos de diseño para lograr la convergencia, sin embargo, al realizar el análisis de estos puntos se observó que debido a la geometría 2D del análisis axisymmetrico, la variación entre uno u otro no representa un cambio significativo para los resultados.

Tabla 30-3: Puntos de análisis

Table of Design Points					
	A	B	C	D	E
1	Name	P1 - Mesh Element Size	P2 - Total Deformation Maximum	P3 - Equivalent Stress Maximum	P4 - Safety Factor Minimum
2	Units	mm	mm	MPa	
3	DP 0 (Current)	0,5	0,0049203	13,555	15
4	DP 1	0,75	0,0049198	13,624	15
5	DP 2	1	0,0049188	13,583	15
6	DP 3	1,25	0,0049166	12,79	15
7	DP 4	1,5	0,0049161	13,374	15
8	DP 5	1,75	0,0049104	13,612	15
9	DP 6	2	0,0049116	13,48	15
10	DP 7	2,25	0,0049151	12,683	15
11	DP 8	2,5	0,0049007	12,947	15
12	DP 9	2,75	0,0048976	13,57	15
13	DP 10	3	0,0049006	14,085	14,697
14	DP 11	5	0,0049057	13,524	15
15	DP 12	7	0,0048968	12,82	15
16	DP 13	8	0,0049025	13,048	15

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

La ilustración 28-3 representa la convergencia obtenida entre el tamaño de malla y la deformación máxima, donde se percibe que en los puntos de diseño DP0-DP3 se obtiene una convergencia en la deformación máxima que no supera los 0,00492 mm.

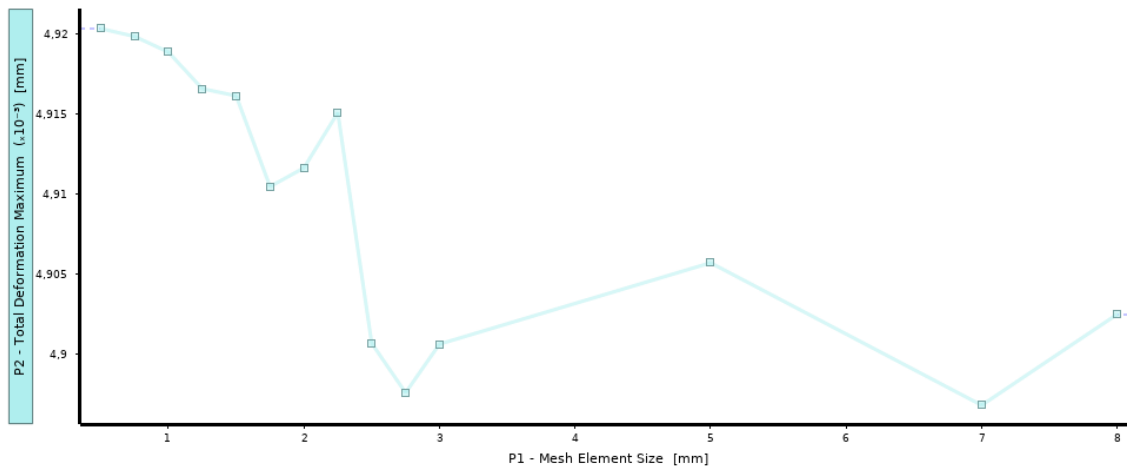
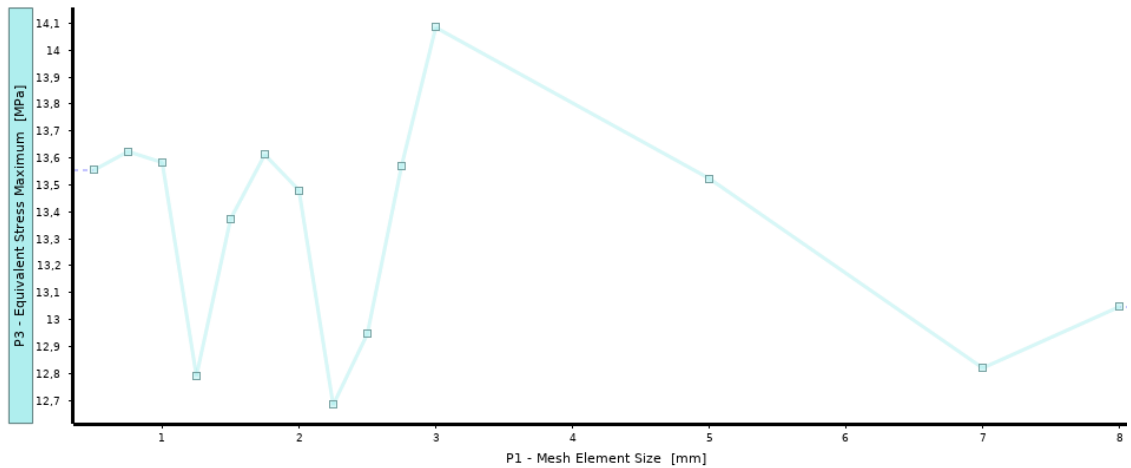


Ilustración 28-3: Deformación máxima

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

En la ilustración 29-3 indica la relación de convergencia existente entre el tamaño de malla y el esfuerzo equivalente de Von-Mises, donde este valor logra estabilizarse entre los puntos de diseño DP0-DP3, con un valor de esfuerzo de 13,6 MPa y un tamaño de malla de 1 mm.

Ilustración 29-3: Esfuerzo equivalente



Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Por último, en la ilustración 30-3 ejemplifica la relación de convergencia entre el tamaño de malla y el factor de seguridad, los puntos de diseño DP0-DP3 logran estabilizar el factor de seguridad en un valor de 15 por lo cual se logra la convergencia con un tamaño de malla de 1 mm.

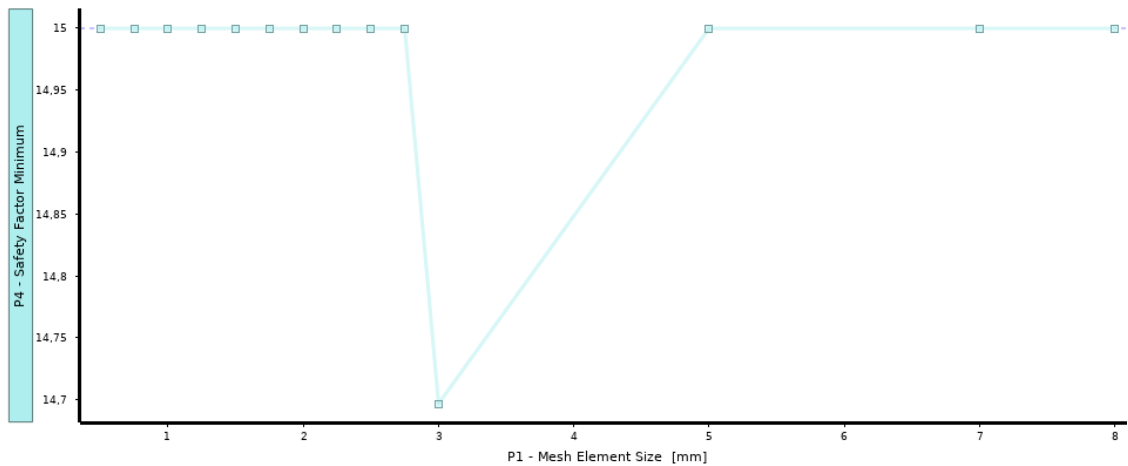


Ilustración 30-3: Factor de seguridad

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Preproceso:

- **Geometría**

Se importó la geometría al software ANSYS, específicamente al módulo SpaceClaim, en donde, se modificó la geometría de la cámara de inyección, se eliminó los elementos roscados los cuales se ubicaban en la entrada y la salida del fluido.

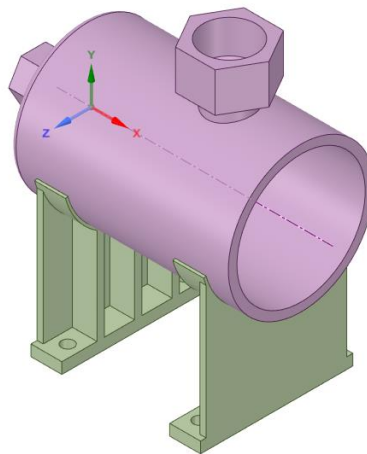


Ilustración 31-3: Cámara de inyección

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

- **Materiales**

Para el diseño de las estructuras de soporte de la cámara de inyección se ha procedido a utilizar el mismo material de la cámara de inyección, debido a que se va a realizar un cordón de soldadura en ese punto, el mismo que va a soportar los esfuerzos cortantes producidos por el movimiento del pistón, a continuación, se detallan las propiedades del material en la tabla 31-3.

Tabla 31-3: Propiedades físicas y mecánicas del acero inoxidable

Material	Acero inoxidable (Stainless Steel)	
Densidad	7.75e-6	kg/cm3
Módulo de Young	193000	MPa
Coefficiente de Poisson	0.310	
Esfuerzo de Tracción	586	MPa
Esfuerzo de Compresión	207	MPa
Esfuerzo de Fluencia	207	MPa

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.6.2.4.2. Análisis MEF de los anclajes de la cámara de inyección

- **Preproceso**
- **Mallado**

Para obtener un análisis real se buscó una calidad de malla en la cual el promedio sea mayor de 0,75 se aplicó el método BODY SIZING para los soportes de la cámara de inyección mismo que tiene un valor de 2,75 mm, como se observa en la ilustración 32-3 tenemos un promedio de calidad de malla de 0,796 el cual está dentro de lo requerido, de igual manera el valor mínimo de calidad es mayor a 0,2.

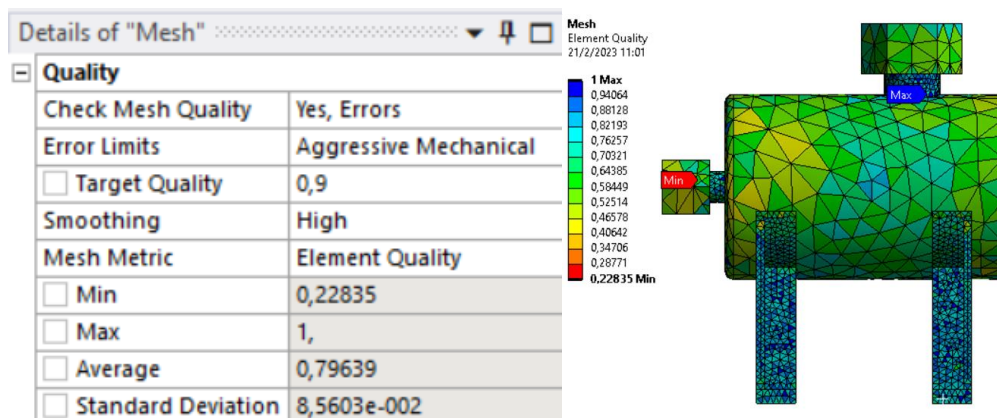


Ilustración 32-3: Análisis del soporte de la cámara de inyección

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

El gráfico 33-3 muestra que se obtuvo en su totalidad elementos tetraédricos en los cuales la mayoría están contenidos en 0,8.

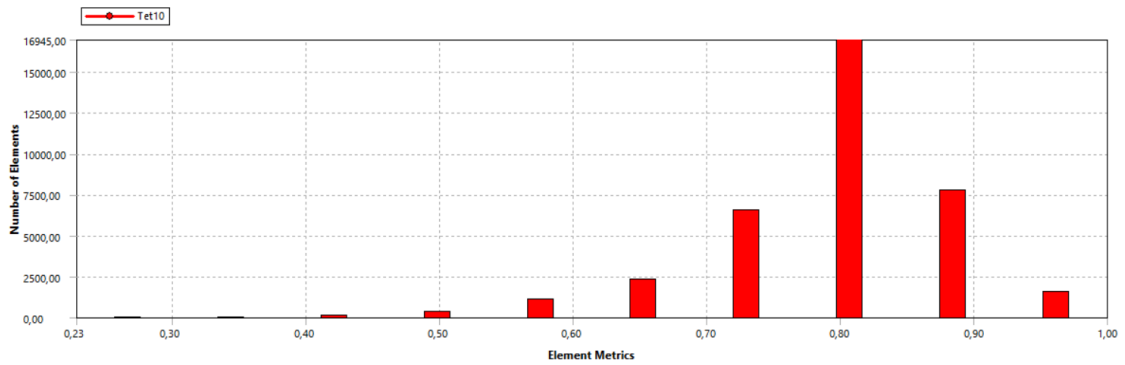


Ilustración 33-3: Resultados

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

- **Condiciones de frontera**

Debido al tipo de anclaje entre la cámara de inyección y la mesa se puede considerar que tenemos una restricción de movimiento en los ejes X, Y, Z, tanto en desplazamiento como en rotación por lo cual se insertó un soporte fijo en estos 4 agujeros como se muestra en la figura 33-3.

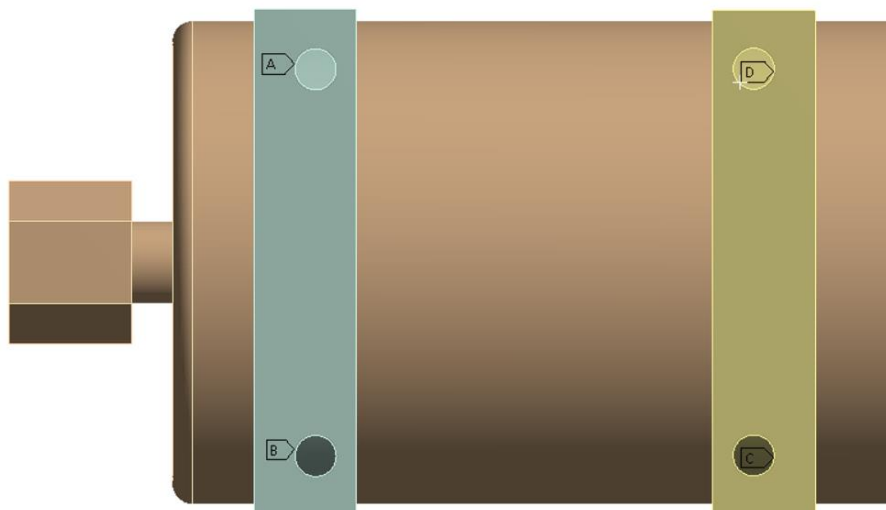


Ilustración 34-3: Condiciones de frontera

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

- **Fuerzas**

Para este análisis se tuvo en cuenta la fuerza que nos da un valor de 754 N, sin embargo, según el fabricante del pistón recomienda que la fuerza entregada solo va a ser la mitad de esta, en este caso 377 N los cuales se ejercen en la cara interior de la cámara de inyección como se observa en la figura 35-3.

Details of "Force"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Faces
Definition	
Type	Force
Define By	Components
Applied By	Surface Effect
Coordinate System	Global Coordinate System
<input type="checkbox"/> X Component	-377, N (ramped)
<input type="checkbox"/> Y Component	0, N (ramped)
<input type="checkbox"/> Z Component	0, N (ramped)
Suppressed	No

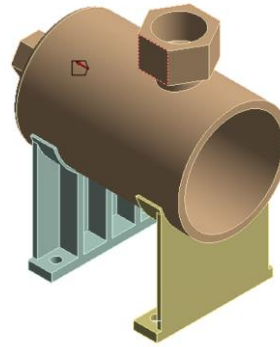


Ilustración 35-3: Análisis de fuerza dentro de la cámara de inyección

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

- **Post-Proceso**

La convergencia en el análisis de elementos finitos se define como el tramo donde los resultados frente a cualquier otra condición del análisis llegan a estabilizarse. En este contexto la tabla 32-3 muestra 15 puntos de análisis y comparación entre el tamaño de malla tanto de los soportes de la cámara de inyección como de la cámara en sí, frente a los resultados de deformación total, esfuerzo equivalente de Von-Misses y por último, el factor de seguridad.

Tabla 32-3: Puntos de análisis

Name	P6 - Body Sizing Element Size	P7 - Mesh Element Size	P3 - Total Deformation Maximum	P4 - Equivalent Stress Maximum	P5 - Safety Factor Minimum
Units	mm	mm	mm	MPa	
DP 0 (Current)	2	7	0,015474	51,797	3,9964
DP 1	2,25	7,25	0,01536	48,522	4,2661
DP 2	2,5	7,5	0,015532	45,432	4,5563
DP 3	2,75	7,75	0,01541	42,521	4,8682
DP 4	3	8	0,015393	42,832	4,8328
DP 5	3,25	8,25	0,015375	43,228	4,7885
DP 6	3,5	8,5	0,015289	41,473	4,9913
DP 7	3,75	8,75	0,015191	41,04	5,0438
DP 8	4	9	0,01513	39,258	5,2728
DP 9	4,25	9,25	0,015019	37,879	5,4647
DP 10	4,5	9,5	0,014921	38,145	5,4267
DP 11	4,75	9,75	0,01496	38,058	5,4391
DP 12	5	10	0,014756	35,873	5,7703
DP 13	8	12	0,014247	33,11	6,2518
DP 14	9	15	0,013721	35,739	5,7921
DP 15	12	18	0,012813	26,581	7,7875

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

El gráfico 36-3 muestra el tamaño de malla frente a la deformación máxima, obteniendo una estabilización entre el los 2,5-3,5 mm en el tamaño de malla y entre 0,00153-0,00155 mm en la deformación, por lo cual los resultados convergen con un tamaño de malla de 2,5 mm para la deformación.

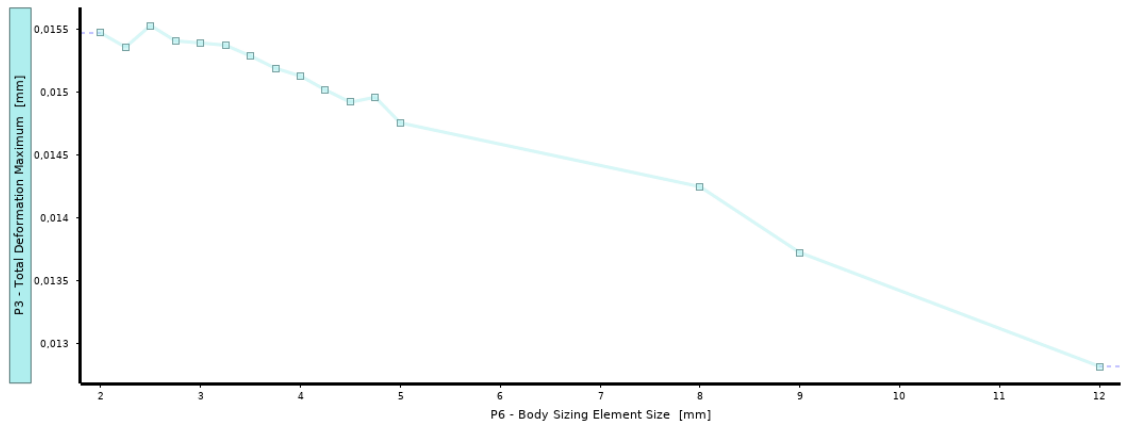


Ilustración 36-3: Deformación máxima

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Siguiendo con el mismo análisis la convergencia en el gráfico 37-3 donde se muestra el esfuerzo equivalente de Von-Misses frente al tamaño de malla, se efectúa en los mismos tamaños de malla entre los puntos de diseño DP3 y DP5, teniendo un esfuerzo de 43 MPa en todos estos puntos con un tamaño de malla de 2,75-3,25 mm.

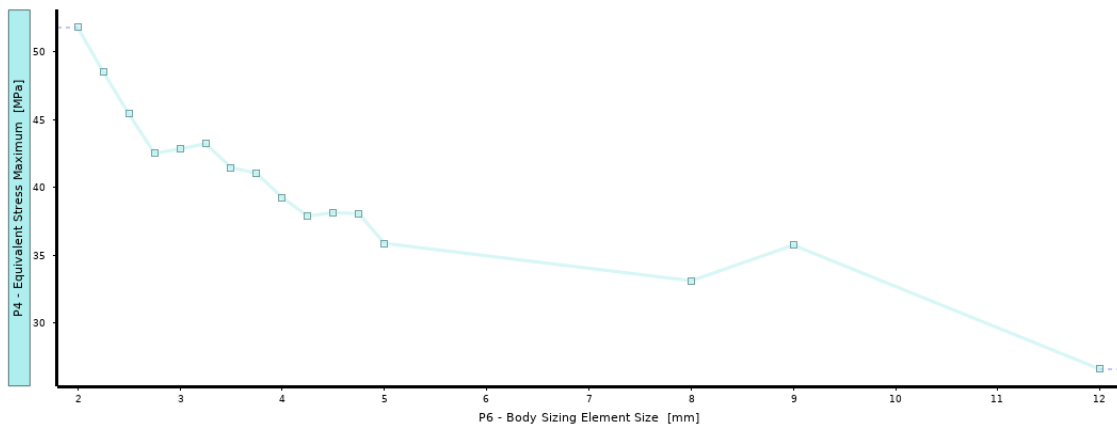


Ilustración 37-3: Análisis de esfuerzo equivalente

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Por último, el análisis de convergencia entre el factor de seguridad y el tamaño de malla se muestra en el gráfico 38-3 donde este llega a converger en un valor de 3 en los puntos de diseño DP3-DP5.

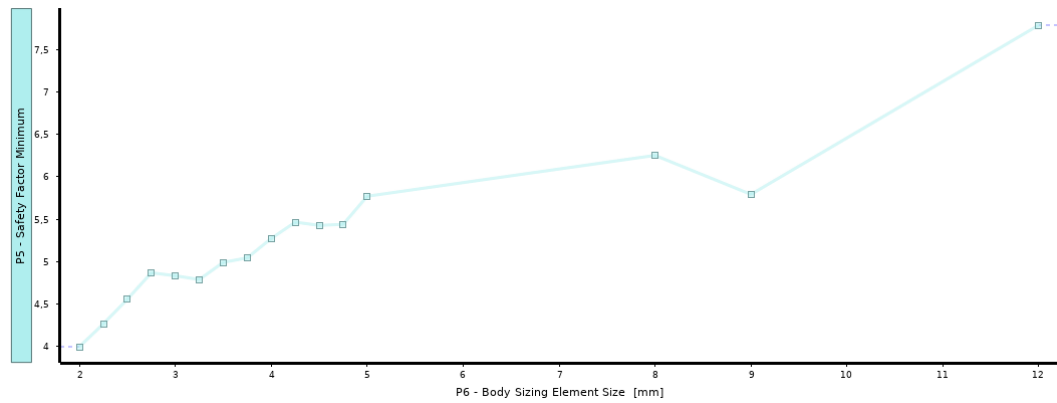


Ilustración 38-3: Factor de seguridad

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.6.2.4.3. Análisis MEF del rodete

- **Geometría**

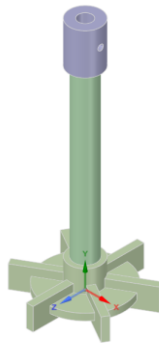


Ilustración 39-3: Análisis del rodete

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

- **Materiales**

La tabla 33-3 muestra las propiedades físicas del rodete mismo que será impreso en 3D, mientras que, la tabla 33-3 muestra las propiedades físicas del acero AISI 1018 del eje conectado al motor el cual será mecanizado. Es así como se obtuvo un análisis de dos materiales en una misma pieza.

Tabla 33-3: Propiedades físicas y mecánicas del rodete

Material	Plástico ABS	
Densidad	1.04	g/cm ³
Módulo de Young	2390	MPa
Coefficiente de Poisson	0.339	
Esfuerzo de Tracción	44,3	MPa
Esfuerza de Compresión	41,4	MPa
Esfuerzo de Fluencia	41,4	MPa

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Tabla 34-3: Propiedades físicas y mecánicas del eje

Material	AISI 1018 HR	
Densidad	7.90	g/cm ³
Módulo de Young	210	GPa
Coefficiente de Poisson	0.29	
Esfuerzo de Tracción	400	MPa
Esfuerza de Compresión	400	MPa
Esfuerzo de Fluencia	220	MPa

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

- **Preproceso**
- **Mallado**

La ilustración 40-3 muestra la calidad de malla obtenida con un promedio de 0,83 el cual sobrepasa a lo estimado para análisis estáticos estructurales que es del 0,75. De igual manera, se aplicó dos métodos de mallado, uno en el eje que es el sweep mode el cual divide los cuerpos cilíndricos en elementos cuadriláteros, y un tamaño de elemento en el rodete para obtener la mejor calidad posible en la malla.

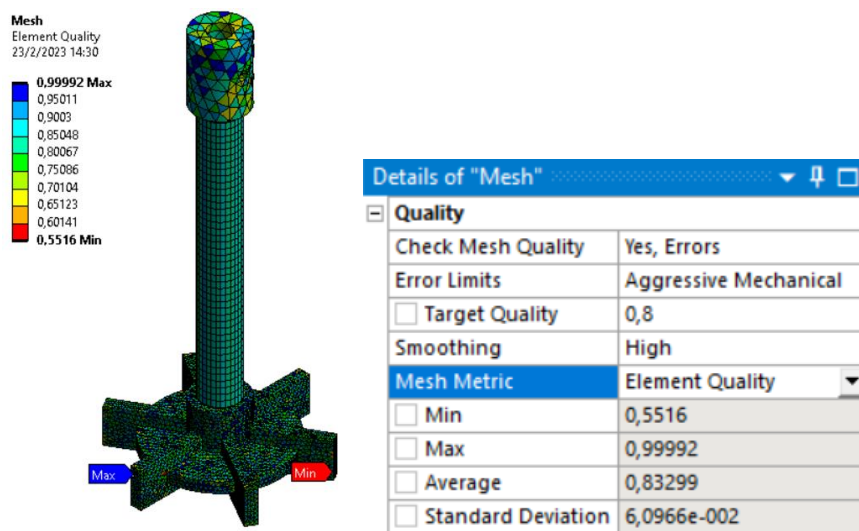


Ilustración 40-3: Análisis de mallado

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

La ilustración 41-3 tabula los datos en cuanto a calidad de malla y número de elementos. Aquí se observa cómo obtener más elementos triangulares, mismos que se encuentran en el rodete y la unión al motor y elementos cuadriláteros que están en el eje, con un valor máximo de 0,99 y un valor mínimo de 0,55.

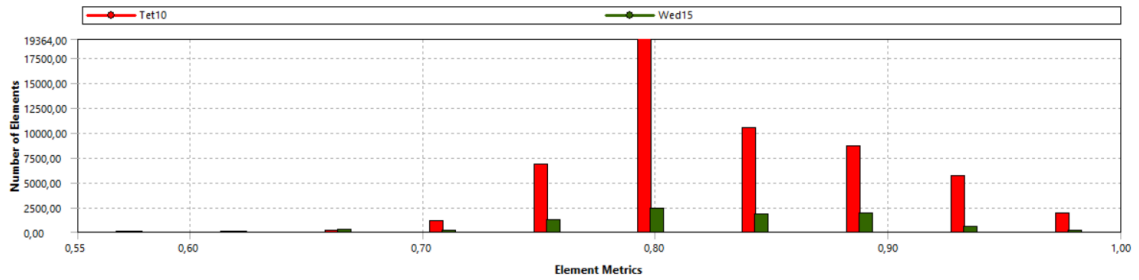


Ilustración 41-3: Resultados

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

- **Condiciones de frontera**

La ilustración 42-3 muestra la condición de frontera de un soporte cilíndrico que restringe el movimiento axial y tangencial del eje-rodete, el cual se encuentra en la cara en contacto con el motor a instalar mismo que queda fijo mediante un prisionero y la tolerancia geométrica de este.

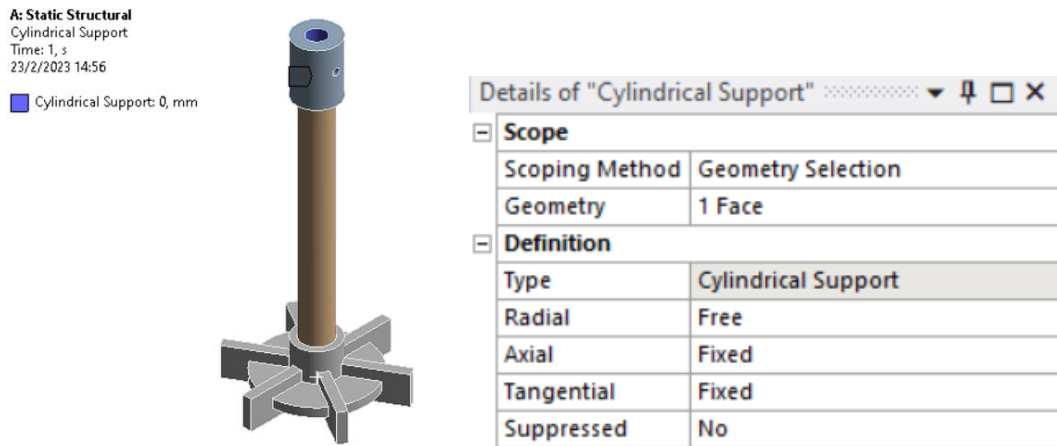


Ilustración 42-3: Condiciones de frontera

Realizado por: Cazar, D.; Tenemaza, E. 2022

- **Momentos y fuerzas**

Debido a que se realizó un análisis cuasi estático en el eje y el rodete, el momento generado por el motor será el mismo momento necesario para mover el fluido por lo cual este se aplicará en las paletas del rodete. Así se muestra en la ilustración 43-3 que tiene un valor de 347,25 N.mm.

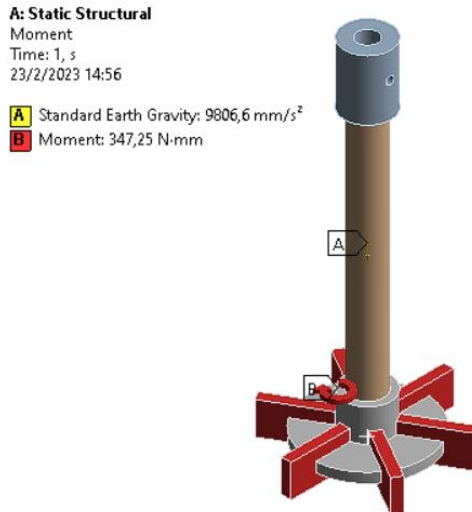


Ilustración 43-3: Análisis de momentos y fuerzas

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

- **Post-Proceso**

Como se muestra en la tabla 35-3 se cuenta con 12 puntos de diseño para realizar el análisis de convergencia mismos que tabulan los datos de tamaño de malla, número de divisiones de malla, deformación total, esfuerzo equivalente de Von-Misses y el factor de seguridad.

Tabla 35-3: Puntos de análisis

	A	B	C	D	E	F
1	Name	P1 - Body Sizing Element Size	P2 - Sweep Method Sweep Num Divs	P3 - Total Deformation Maximum	P4 - Equivalent Stress Maximum	P5 - Safety Factor Minimum
2	Units	mm		mm	MPa	
3	DP 0 (Current)	1	25	0,18583	29,474	4,7286
4	DP 1	1,5	35	0,18417	31,034	5,6965
5	DP 2	2	45	0,18232	31,758	6,2245
6	DP 3	2,5	55	0,18101	31,383	6,2892
7	DP 4	3	65	0,17917	29,806	7,4076
8	DP 5	3,5	75	0,17618	28,391	7,0592
9	DP 6	4	85	0,17489	30,352	7,3392
10	DP 7	4,5	95	0,17516	25,851	7,778
11	DP 8	5	100	0,17471	26,646	7,5992
12	DP 9	5,5	120	0,17317	45,418	5,5044
13	DP 10	6	150	0,17253	46,352	5,3935
14	DP 11	8	200	0,16856	35,287	7,0848
15	DP 12	10	250	0,16828	64,629	3,8682

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

La ilustración 43-3 representa la convergencia entre el tamaño de malla (eje x) y la deformación total (eje y), alcanzando la convergencia entre los DP0-DP4, con un tamaño de malla de 2 y un valor de deformación que no supera los 0,183 mm.

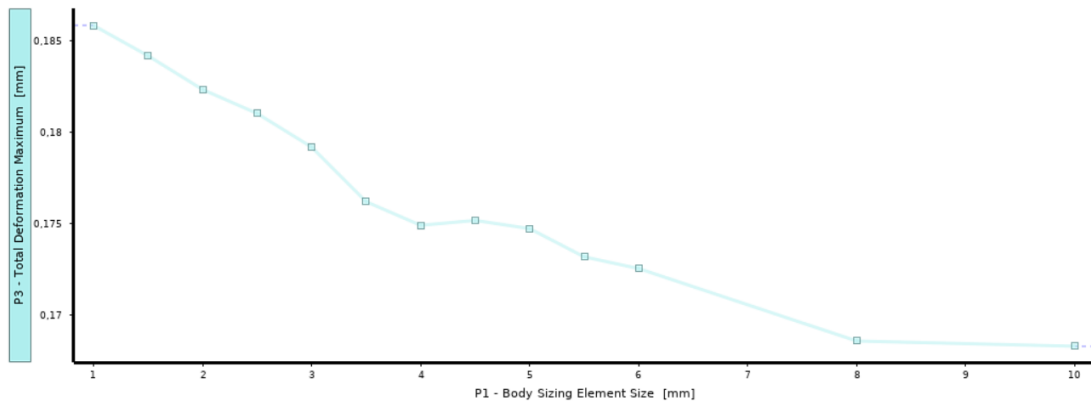


Ilustración 44-3: Deformación total

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

El gráfico 44-3 ilustra la convergencia existente entre el tamaño de malla (eje x) y el esfuerzo equivalente de Von-Misses (eje y), logrando la convergencia con un valor para el esfuerzo de 31 MPa y un tamaño de malla de 2 mm, encontrados entre los DP1-DP3.

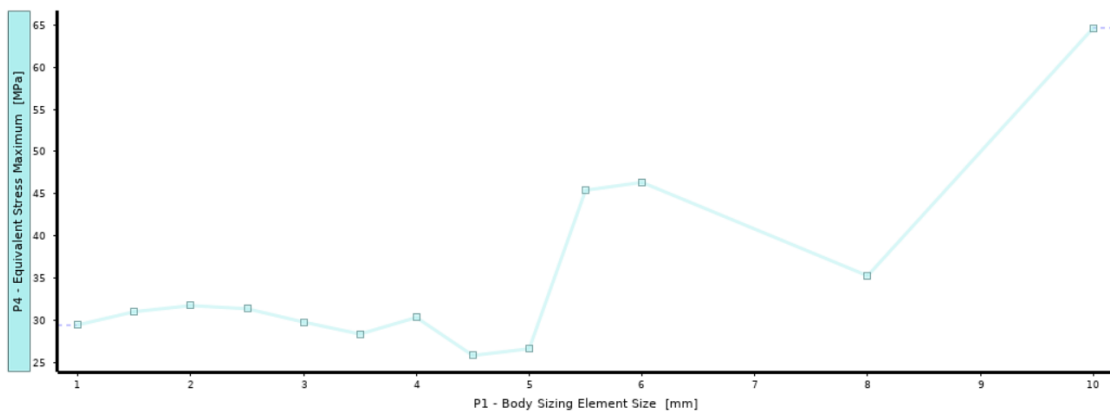


Ilustración 45-3: Esfuerzo equivalente analizado con Von-Misses

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Por último, en la ilustración 45-3 muestra la convergencia efectiva entre el factor de seguridad (eje y) y el tamaño de malla (eje x), en la cual no se encuentra una tendencia clara, excepto en los DP4-DP7 pero debido a la convergencia presente tanto para la deformación como para el esfuerzo equivalente se procedió a realizar el análisis con un tamaño de malla de 2 mm y 50 divisiones.

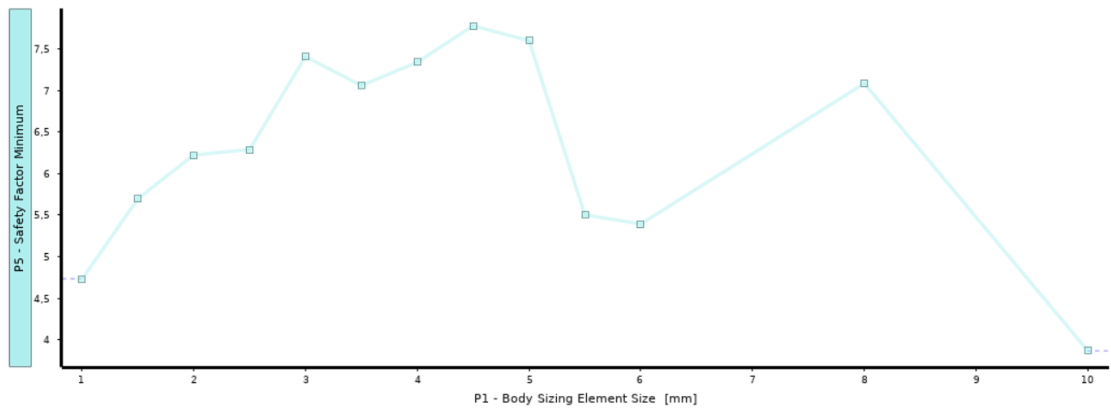


Ilustración 46-3: Factor de seguridad

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.7. Construcción y montaje del mezclador

El proceso de construcción inicia como se detallaba en el diseño de materialización con la construcción de la estructura que va a soportar a toda la máquina mezcladora-inyectora. En este caso para la estructura de soporte se utilizó un perfil cuadrado de 30 x 30 x 2 mm de acero ASTM A36.



Ilustración 47-3: Estructura de la máquina

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Después de ensamblar la estructura de soporte, se procedió a cortar una placa de madera de 1200 x 650 mm y 970 x 470 mm de 15 mm de espesor, las mismas que serán en cajadas en la estructura de la mesa.



Ilustración 48-3: Corte de madera

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Posteriormente, se procedió a realizar la construcción del mezclador mediante una placa de acero inoxidable de 2 mm de acero 314L, para lo cual fue necesario barolar dicha placa para dar la

forma cilíndrica. A continuación, mediante soldadura tig unir la placa y dar la forma dispuesta. Cabe destacar que se requirió la perforación de un agujero en el fondo del recipiente con el fin de ensamblar, más adelante, un acople de ½” NPT, mismo que sirve para el proceso de llenado de la cámara de inyección del molde.



Ilustración 49-3: Mezclador de acero inoxidable

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Finalmente, después de haber realizado el recipiente del mezclador se procede a diseñar el soporte de este mediante un perfil cuadrado de 20 x 20 mm para las columnas y un perfil rectangular de 2 mm de espesor para los soportes que irían anclados a la base.



Ilustración 50-3: Soporte del mezclador

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

El eje del agitador fue el siguiente componente manufacturado. Para este proceso se seleccionó el torneado y se utilizó acero inoxidable 314L con el fin de evitar que el componente se oxide y

a que posterior alterare a las propiedades de la emulsión y afecte la calidad del muñón, consecuentemente. Además, fue diseñado el eje con el diámetro establecido mediante el análisis estático y dinámico respectivamente. Se adjunta diseño a detalle.



Ilustración 51-3: Eje del agitador

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Tras haber sido mecanizado los diferentes componentes de acero del mezclador, se realizó la impresión 3D tanto del soporte, rodete y tapa del mezclador, con el fin de realizar el montaje de todo el sistema de mezclado.



Ilustración 52-3: Soporte del mezclador y rodete en resina

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

El procedimiento final de montaje del sistema de mezclado inició con la unión de la tapa con el motor 100:1, que a su vez, va sujetado al eje torneado y al rodete del agitador. Este sistema es el

que permite a la emulsión de silicona adquirir una textura homogénea dentro del recipiente de mezclado.



Ilustración 53-3: Motor 100:1 para el agitador

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

A continuación del ensamble el sistema previo, se adquirió los diferentes acoples que serán ubicados en el sistema de mezclado, siendo necesario una válvula de mariposa 1/2" NPT para el sistema de llenado de la cámara de inyección. Así como, un acople de acero inoxidable que va soldado en la parte inferior del recipiente del mezclador, a su vez es necesario una válvula 3/8 a un lado del recipiente el mismo que servirá de purga para la correspondiente limpieza del sistema.



Ilustración 54-3: Niplos para conexiones

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Finalmente, se procedió a ensamblar el montaje previo con el recipiente de mezclado y el soporte que va anclado en la estructura de soporte de la máquina. Este paso requirió el uso de herramientas tales como llaves de ajuste, pernos y taladro para realizar los anclajes en la placa de madera.



Ilustración 55-3: Ensamble del mezclador

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.8. Construcción y montaje del sistema de inyección

La construcción y montaje del sistema de inyección empezó con el diseño del sistema neumático con el cuál se realizaría el inyectado de la emulsión de silicona. Para este paso, fue necesario adquirir un pistón neumático SI40 X 50 – S con 50 mm de carrera, cuya operatividad permite trasladar la cantidad necesaria de volumen de silicona desde la cámara de inyección hasta el molde del muñón.



Ilustración 56-3: Pistón neumático

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

A su vez, para poder controlar el movimiento del pistón fue imperativo construir un panel de control con una válvula 5/2 electroneumática y un timer. Estos dispositivos facilitarán el control del movimiento del pistón de doble efecto, el mismo que incorpora reguladores de caudal para controlar la presión de inyección del pistón el cual debe rondar los 6-10 MPa.

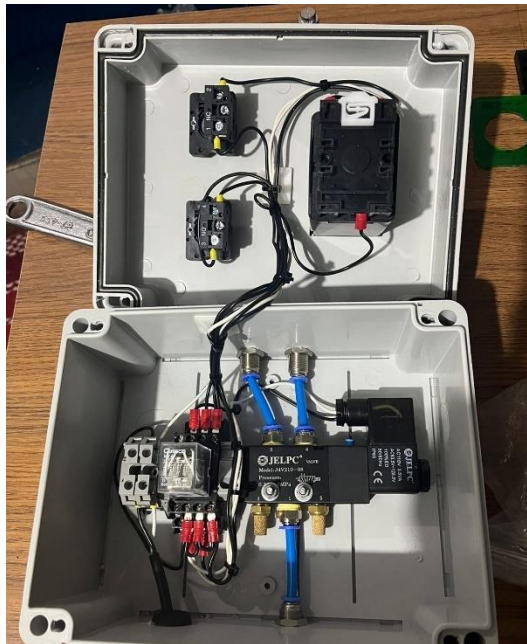


Ilustración 57-3: Sistema neumático

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

El siguiente componente que se manufacturó es la cámara de inyección. Este componente fue mecanizado en acero inoxidable.



Ilustración 58-3: Cámara de inyección mecanizada en acero inoxidable

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Finalmente, el émbolo fue el último componente a fabricarse, cuya función es desplazarse dentro de la cámara de inyección. Para este proceso se utilizó un torno por medio del cual se dio la forma requerida con la tolerancia necesaria; a fin de que, mediante la ubicación de los sellos en el émbolo, la cámara de inyección no genere pérdidas de fluido durante la inyección al molde.



Ilustración 59-3: Embolo mecanizado en nailon

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

La fase de montaje inició con la ubicación del panel de control del pistón, el mismo que va anclado sobre la mesa para que en caso de emergencia se pueda activar eficazmente el botón de paro.



Ilustración 60-3: Panel de control

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Para concluir con el montaje del sistema de inyección se procede a alinear el pistón con la cámara de inyección y se realizan las respectivas conexiones tanto con el compresor como con el sistema de mezclado.

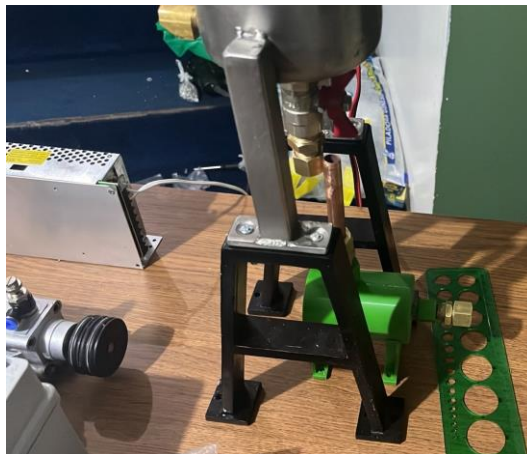


Ilustración 61-3: Montaje de la máquina

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.9. Construcción y montaje de los moldes de inyección

La construcción y montaje de los moldes de inyección inicia con la construcción de los moldes mediante impresión 3D en resina traslúcida. Para esto primero se imprimió el molde hembra en función al modelo 3D diseñado previamente.

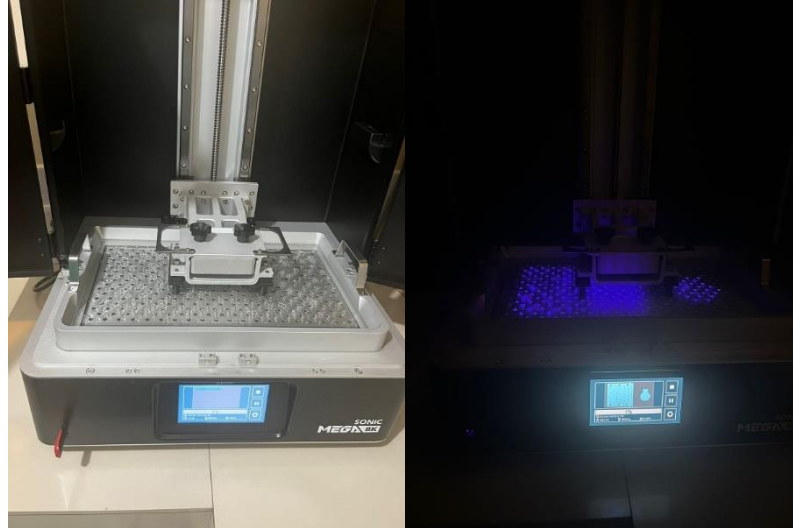


Ilustración 62-3: Impresión 3D en resina

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Después de obtener la impresión del molde hembra se procede a darle un tratamiento mediante radiación UV con el fin de catalizar la resina y darle la dureza necesaria para el post procesado del molde



Ilustración 63-3: Cámara de luz UV

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Posteriormente después de darle el tratamiento catalizador al molde se procede a darle un acabado fino mediante el uso de lijas de diferente tamaño de grano con el fin de obtener un producto en perfecto estado.



Ilustración 64-3: Aclaramiento de moldes de resina

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

A su vez, una vez finalizado el acabado del molde hembra se procede a imprimir el molde macho siguiendo los mismos parámetros planteados para el molde hembra.

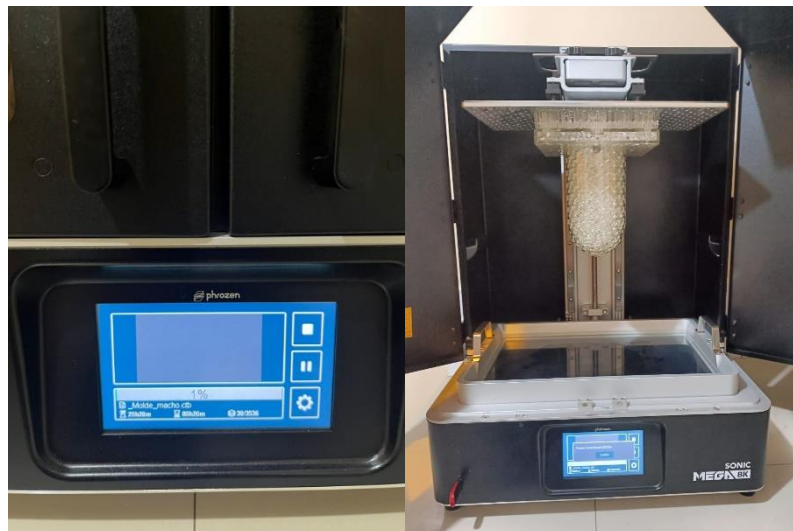


Ilustración 65-3: Impresión 3D del molde macho

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Una vez finalizado el tratamiento de pulido a los moldes se procede a mecanizar el molde hembra mediante una fresadora CNC, los agujeros a través de los cuales se van a ubicar los bocines que sirven de guía para los pines.



Ilustración 66-3: Mecanizado del molde macho

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Después de realizar las perforaciones para los bocines se procede a realizar las perforaciones en el molde macho para los respectivos pines guías. La colocación de dichos pines permite al molde que se mantenga fijo y no se desplace durante el proceso de inyección, permitiendo obtener una prótesis uniforme en espesor.



Ilustración 67-3: Perforación para guías del molde hembra

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Finalmente, se mecaniza en el torno tanto los pines como los bocines, que van a ser ubicados en los moldes respectivamente. Para los bocines se utilizó un eje de bronce y para los pines guías un eje de acero AISI 1018.



Ilustración 68-3: Pines y bocines para los moldes

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Después de obtener los pines y bocines respectivos, se procede a ubicarlos en los agujeros mecanizados de los moldes para proceder a montar el conjunto.



Ilustración 69-3: Moldes macho y hembra en resina traslúcida

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Una vez obtenidos los moldes en resina traslúcida se optó por cambiar estos componentes por otros realizados en impresión 3D en filamento PLA, debido a que se realizaron varias pruebas sobre los moldes de resina y se encontró que una vez seca la mezcla de silicona se quedaba adherido tanto al molde macho como al molde hembra, al contrario del filamento PLA en donde se pudieron retirar sin mayor dificultad.

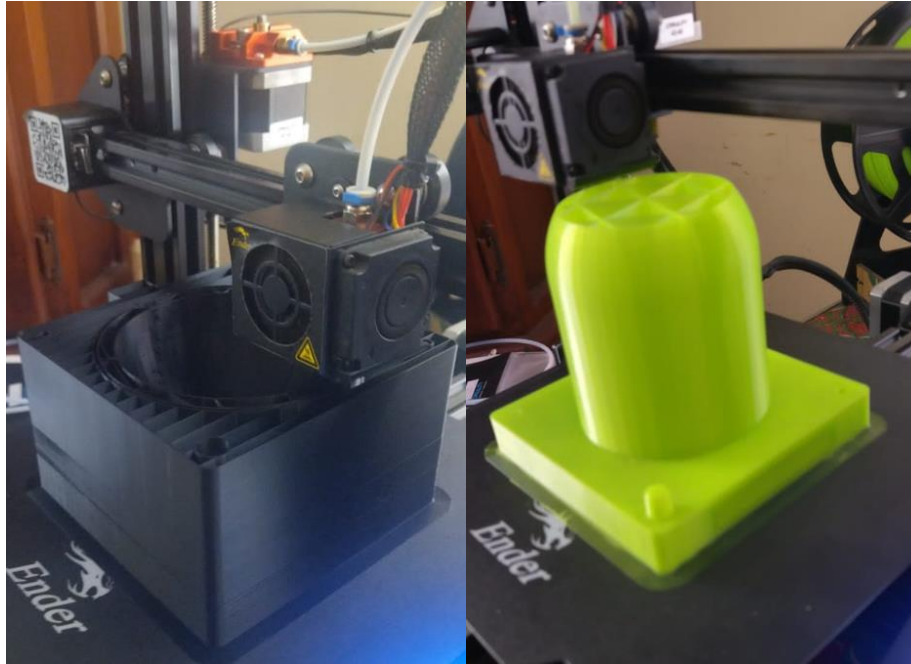


Ilustración 70-3: Moldes en filamento PLA

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.10. Construcción y montaje del sistema de purga

Finalmente, se incorporó un sistema de purgado a la máquina, todo esto con el fin de que no se queden sedimentos del material de la prótesis dentro de las tuberías y elementos internos del sistema, provocando una obstrucción y evitando que se tenga que desarmar el conjunto para dar mantenimiento y limpieza al mismo.



Ilustración 71-3: Sistema de purga del conjunto

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

Una vez realizado el diseño del sistema de purga se procedió con el ensamble final de la máquina, obteniendo el resultado deseado.

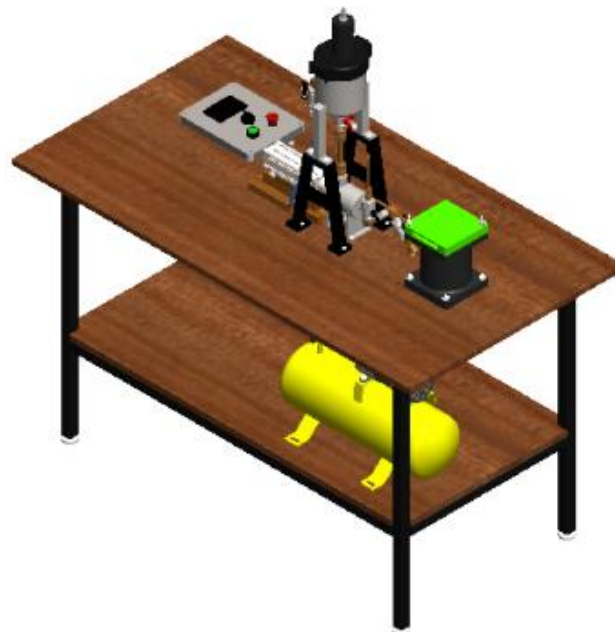


Ilustración 72-3: Máquina mezcladora inyectora de silicona

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

3.11. Análisis de costos

El análisis de costos de la máquina mezcladora -inyectora contempla cada etapa del proceso de obtención de la prótesis del muñón, por lo que los costos que se deben considerar son directos e indirectos.

Tabla 36-3: Etapas de la máquina mezcladora inyectora

Etapas	Descripción
1	Mezclado
2	Inyección
3	Moldeo
4	Obtención de la prótesis

Realizado por: Cazar, D.; Tenemaza, E. 2022

3.11.1. Costos directos

Los costos directos son todos los egresos que una empresa puede relacionar con un objeto de coste de manera sencilla, dicho objeto puede ser un producto, sector o proyecto. Esta definición contempla ítems como equipos, mano de obra, simulaciones y materia prima. En este caso, en la fabricación de la máquina mezcladora inyectora se requirió esencialmente de acero inoxidable, PLA, resina, además de mano de obra calificada para la construcción del prototipo. (Arline, 2015, pág. 1)

A continuación, se resume las cantidades, precio y elementos que se adquirieron y fueron empleados para la construcción del prototipo:

Tabla 37-3: Costos de materiales e insumos

Descripción	Unidad	Precio Unitario [USD]	Cantidad	Total [USD]
Válvula 5/2 electroneumática 220 V 1/4 monoestable	U	42.3	1	42.3
Timer on delay 1s/10s/60s/10m 24-240v ac/dc 8 pines redondos	U	23.92	1	23.92
Base relay timer 8 pines redondos pequeño	U	1.42	1	1.42

Relay 14 pines planos 4p serie my4 220vac	U	3.32	1	3.32
Base para relay 14 pines planos 5a pequeños my4	U	2.46	1	2.46
Caja plástica pre troquel 220x170x120mm (2pg29+8pg21)	U	9.85	1	9.85
Pasa muro 6 mm	U	2.52	3	7.56
Racor recto 6 mm x 1/4	U	1.36	3	4.08
Silenciador 1/8 bronce	U	0.9	2	1.8
Manguera de 6mm azul poliuretano	m	0.85	5	4.25
Regulador de caudal tipo banjo 6mm x 1/4	U	5.06	2	10.12
Cilindro magnético perfilado d40 c50 FESTO	U	69.55	1	69.55
Pulsador 22mm plast simple rojo 1nc	U	1.59	1	1.59
Pulsador 22mm plast simple verde 1na	U	1.59	1	1.59
Bornera riel 6 mm # 8 awg leipole	U	0.55	2	1.1
Juego de acoples rapidos 1/4 unic	U	7.59	1	7.59
Racor recto hembra 6 mm x 1/4	U	1.98	1	1.98
Manguera de 6mm azul poliuretano	m	0.76	1	0.76
Compresor aire PCO- 0106S PORTEN	U	132	1	132
Cilindro de nylon – 60D	cm	1	15	15

O-ring 52 mm	U	1	3	3
Soporte de madera para el pistón	U	15	1	15
Plancha acero AISI 304 e:2	500x500 mm	63	1	63
Plancha acero AISI 304 e:3	200x200 mm	22,69	1	22,69
Soporte mezclador impresión 3D	U	15	2	30
Pernos 3/8 x 48 mm alen con tuercas de seguridad	U	0,4	4	1,6
Pernos M5 x 40	U	0,2	4	0,8
Tapa impresión 3D	U	15	1	15
Válvula de 1/2" NPT de mariposa	U	4,47	1	4,47
Codo 90°	U	2,5	1	2,5
Acople 1/2"-1/2" para cañería	U	3	2	6
Cañería de cobre 1/2"	m	3	0.5	1.5
Fuente 24V-5A	U	25	1	25
Motor 100:1 37DX57L	U	24	1	24
Rodete impresión 3D	U	10	1	10
Eje de acero 1018 $\Phi 1"$ - 20 cm	m	8	1	8
O-ring 107 mm	U	2	1	2
Cilindro de nylon - D50	cm	1	12	12
Neplo hexagonal roscado 1/2" - inox	U	2	1	2
Conector de micrófono 4 pins	U	4	1	4
Tubo cilíndrico D60	cm	1,7	10	17
Tapa cilíndrica D58	cm	3,5	2	7

Acople roscado 1/4" inox	U	2,5	1	2,5
Codo 90°	U	2,5	1	2,5
Válvula de 1/4 " NPT de mariposa	U	3,25	1	3,25
Acople 1/4"-1/4" para cañería	U	2	2	4
Neplo 1/4"-1/4"	U	1	1	1
Cañería de cobre 1/4"	m	1,5	1	1,5
Impresión 3D molde Muñón	U	35	2	70
Tornillos cabeza hexagonal con arandela M8x70	U	0,94	4	3,76
Tornillos allen M6x45	U	0,54	2	1,08
Codo 90°	U	2,5	2	5
Válvula de 1/4 " NPT de mariposa	U	3,25	2	6,50
Codo 45°	U	2,5	1	2,5
Neplo 1/4"	U	1	1	1
Racor recto 6 mm x 1/4	U	1.36	3	4.08
Manguera de 6mm azul poliuretano	m	0.85	2	1,7
			TOTAL	729,17

Realizado por: Cazar, D.; Tenemaza, E. 2022

Tabla 38-3: Costos de mano de obra

Descripción	Costo/hora [USD]	Cantidad [h]	Total [USD]
Tornero	15	12	180
Operador CNC	30	1	30
Carpintero	8,75	1	8,75
Metal mecánico	5	12	60
			TOTAL
			278,75

Realizado por: Cazar, D.; Tenemaza, E. 2022

Tabla 39-3: Costos de máquinas y herramientas

Descripción	Costo/hora [USD]	Cantidad [h]	Total [USD]
Torno	8	12	96
Fresadora CNC	30	1	30
Impresora 3D	3	55	165
Soldadora TIG	15	1	15
Herramientas menores	1,88	5	9,4
TOTAL			315.4

Realizado por: Cazar, D.;Tenemaza, E. 2022

Tabla 40-3: Costos directos totales

Descripción	Costo [USD]
Costos de materiales e insumos	729,17
Costos de mano de obra	278,75
Costos de máquinas y herramientas	315,4
Transporte	25
TOTAL	1348,32

Realizado por: Cazar, D.;Tenemaza, E. 2022

3.11.2. Costos indirectos

Los costos indirectos corresponden a aquellos gastos necesarios para realizar a cabo el proyecto, es decir aquellos que permiten la ejecución del día a día de las labores relacionadas al avance del proyecto, tales como consumo eléctrico, implementos de limpieza, entre otros.

Tabla 41-3: Costos indirectos

Costos indirectos	Unidad	Cantidad	Precio Unitario [USD]	Total [USD]
Diseño e ingeniería de la maquinaria	Horas	60	10	600
TOTAL				600

Realizado por: Cazar, D.;Tenemaza, E. 2022

3.11.3. Costo total

Tabla 42-3: Costo total

Descripción	Costo [USD]
Costos directos	1348,32
Costos indirectos	600
TOTAL	1948,32

Realizado por: Cazar, D.;Tenemaza, E. 2022

3.11.4. Costo de producción de una prótesis

Tabla 43-3: Costo de producción de una prótesis

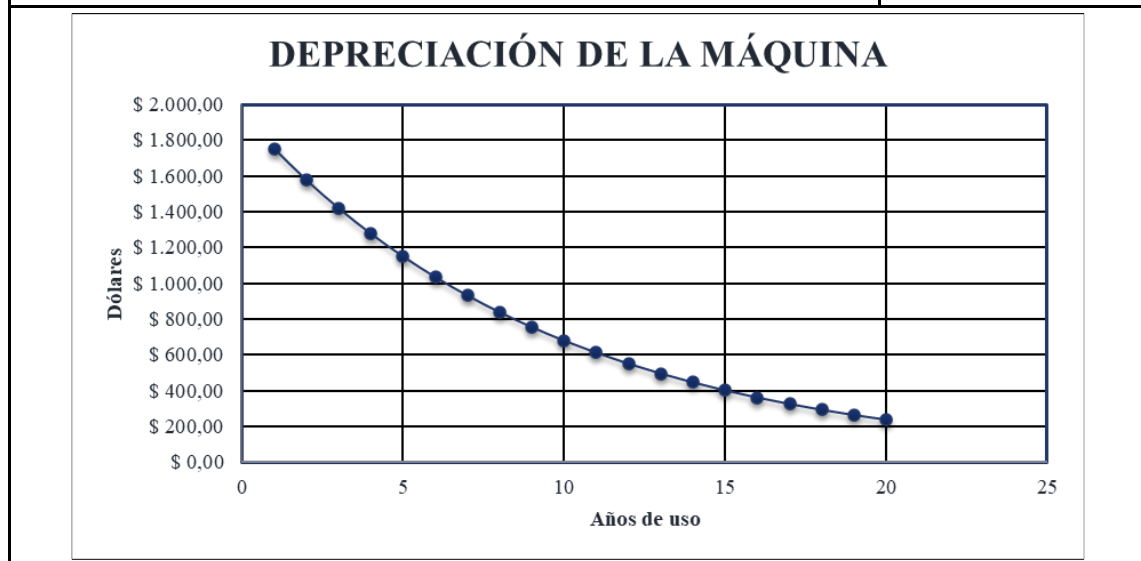
Descripción	Costo (USD)
Ecoflex 00-30 (por unidad)	3
Silicon Thinner	0,16
Costos de electricidad	0,11
Mano de obra	8
TOTAL	11,27

Realizado por: Cazar, D.; Tenemaza, E. 2022

3.11.5. Depreciación de la máquina

Tabla 44-3: Valor rescatable al finalizar la vida útil del equipo

VALOR INICIAL	\$ 1.948,32
VALOR DE RESCATE	\$ 194,83
VIDA ÚTIL	20



Realizado por: Cazar, D.; Tenemaza, E. 2022

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Validación CAE de la cámara de inyección

Mediante el software de elementos finitos Ansys 2020 R1, se pudo determinar que la deformación en la cámara de inyección corresponde a un valor de 0,0049 mm debido a las propiedades mecánicas del acero inoxidable, es una deformación aceptable debido a que la cámara de inyección se encuentra sometida a una alta presión ejercido por el pistón por el fluido que este contenido.

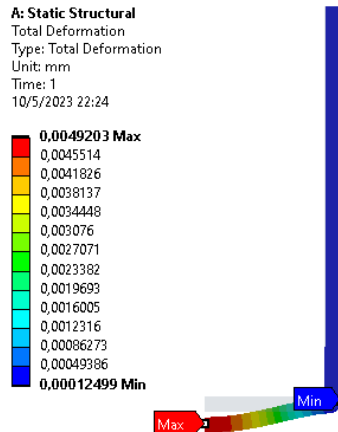


Ilustración 73-3: Deformación máxima de la cámara de inyección

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

De acuerdo con el análisis de resistencia realizado en Ansys 2020 R1, se puede observar que el esfuerzo equivalente de Von Mises máximo que experimenta la cámara de inyección es 13.55 MPa, en el gráfico se puede apreciar que la zona de mayor esfuerzo es donde se encuentra el acople de 1/4" por el cambio de sección.

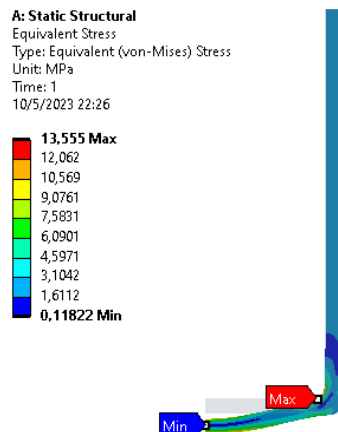


Ilustración 74-3: Análisis del esfuerzo máximo

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

El factor de seguridad mínimo que se obtuvo para carga estática de acuerdo con el análisis CAE es de 15, en otras palabras, la cámara de inyección no falla por esfuerzos de fluencia. Este factor de seguridad comprende toda el área inferior del tanque, en donde se comprobó que los esfuerzos son máximos.

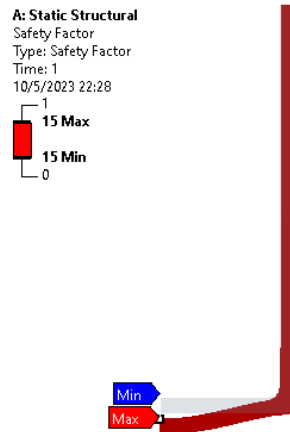


Ilustración 75-3: Factor de seguridad de la cámara de inyección

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

4.2. Validación CAE del rodete

Mediante el software de elementos finitos Ansys 2020 R1, se pudo determinar que la deformación en rodete corresponde a un valor de 0,18 mm debido a las propiedades mecánicas del material Plástico ABS, es una deformación aceptable debido a que rodete solo se encuentra en contacto con el fluido.

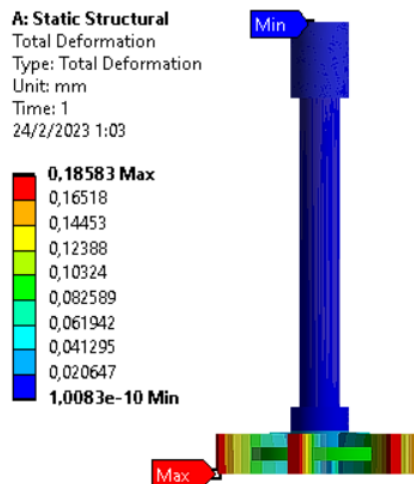


Ilustración 76-3: Análisis de la deformación del rodete

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

De acuerdo con el análisis de resistencia realizado en Ansys 2020 R1, se puede observar que el esfuerzo equivalente de Von Mises máximo que experimenta el rodete es 29.474 MPa, en el

gráfico se puede apreciar que la zona de mayor esfuerzo es donde se encuentra el cambio de sección en el eje.

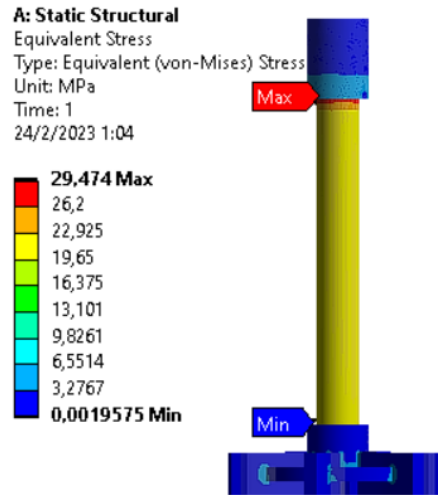


Ilustración 77-3: Análisis del esfuerzo equivalente

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

El factor de seguridad mínimo que se obtuvo para carga estática de acuerdo con el análisis CAE es de 4.72, en otras palabras, el rodete no falla por esfuerzos de fluencia. Este factor de seguridad es confiable para asegurar el diseño.

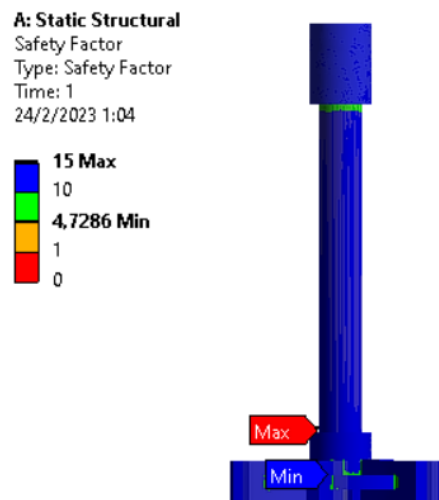


Ilustración 78-3: Análisis del factor de seguridad

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

4.3. Validación CAE del anclaje de la cámara de inyección

Mediante el software de elementos finitos Ansys 2020 R1, se pudo determinar que la deformación en la zona de anclaje corresponde a un valor despreciable, por otro lado, en las zonas donde se conectan las tuberías de alimentación y descarga se generan deformaciones de 0,015 mm las cuales no afectarán al desempeño del componente.

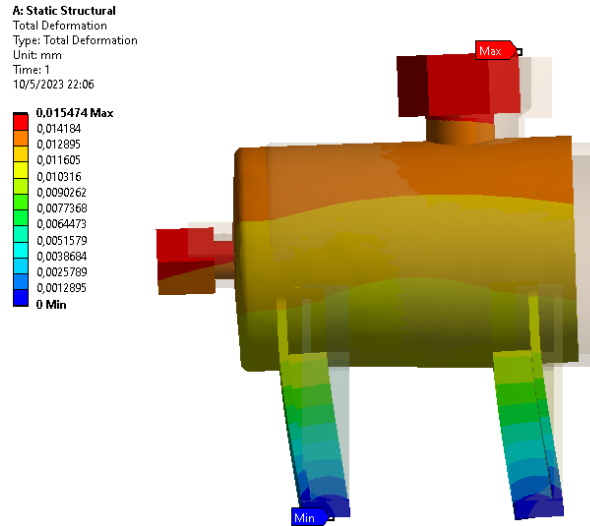


Ilustración 79-3: Análisis de la deformación máxima de anclaje

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

De acuerdo con el análisis de resistencia realizado en Ansys 2020 R1, se puede observar que el esfuerzo equivalente de Von Mises máximo que experimenta la cámara de inyección es de 51.797 MPa, en el gráfico se puede apreciar que la zona de mayor esfuerzo es en la zona de anclaje.

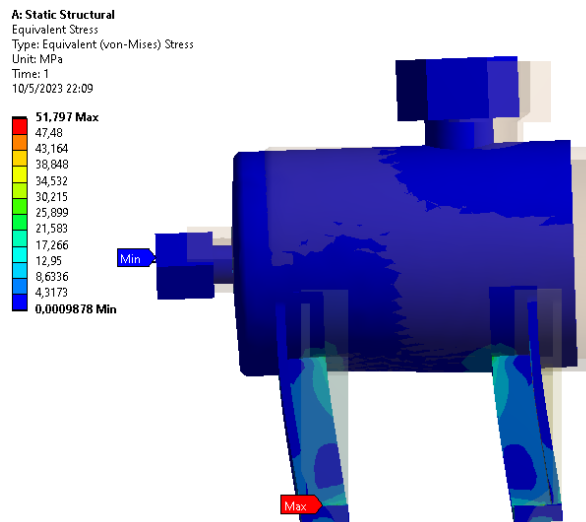


Ilustración 80-3: Análisis del esfuerzo equivalente en la zona de anclaje

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

El factor de seguridad mínimo que se obtuvo para carga estática de acuerdo con el análisis CAE es de 4, en otras palabras, el anclaje no falla por esfuerzos de fluencia. Este factor de seguridad está dentro de los parámetros, superando el valor mínimo recomendado de 2.

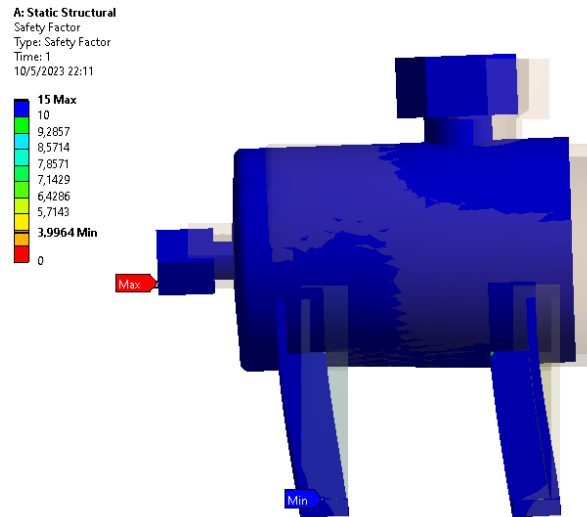


Ilustración 81-3: Análisis del factor de seguridad de anclaje

Realizado por: Tenemaza, E.; Cazar, D. 2022

CONCLUSIONES

- Se pudo determinar los parámetros correctos de diseño y selección de materiales, para el caso de la máquina se utilizaron materiales que sean resistentes a la corrosión debido a que con el paso del tiempo dicha corrosión podría afectar a la emulsión de silicona y por ende afectar a la calidad de la prótesis, por otro lado para el material de la prótesis se utilizó el material recomendado por el grupo de investigación GIEBI, en este caso la silicona Mold Max 29NV, sin embargo cabe destacar que dicho material resulta muy incómodo de por sí para ser utilizado como prótesis dado a su rugosidad y propiedades mecánicas. Por esta razón, se añadió a la emulsión un nuevo material como el estireno y que actúa como diluyente de la mezcla, cuya virtud facilita la realización del proceso de inyectado con mayor facilidad, además, brinda a la prótesis una elasticidad mucho mayor y así brindar mayor confort a su usuario.
- Se analizaron diferentes opciones para el diseño de la mezcladora inyectora en función de su eficiencia y facilidad de producción de la prótesis. En esta situación, uno de los mayores retos que se presentaron fue escoger el tipo de mecanismo de inyección, aspecto que fue solventado por un pistón neumático.
- Se consiguió determinar, mediante el diseño conceptual el análisis funcional que debía tener la máquina para una operatividad de manera óptima, además de definir las diferentes alternativas de prototipo. Mediante el método de factores ponderados se escogió la más adecuada para nuestra aplicación.
- Se logró diseñar los diferentes componentes de la máquina en función de los parámetros establecidos en el diseño de detalle para poder solventar las necesidades requeridas para dicho proyecto.
- Mediante el análisis de elementos finitos de los componentes más críticos de la máquina mezcladora inyectora, se validó su resistencia y desempeño, para posteriormente llevarlos a la práctica a través de la construcción del prototipo.
- Se realizó la construcción del prototipo escogido en función de los parámetros de diseño, cumpliendo cada una de las exigencias planteadas por el grupo de investigación GIEBI, previo a la obtención de prótesis de muñón de calidad.

RECOMENDACIONES

- Mediante distintas pruebas realizadas con el material Mold Max 29Nv dispuesto por el grupo de investigación GIEBI (Grupo de Investigación y Estudios en Bioingeniería) se llegó a la conclusión de que dicha silicona no es óptima para la realización de prótesis, ya que pueden producir irritación y molestia a sus usuarios, es por esto que se planteó una opción alternativa para el material con el cual se deberían realizar las prótesis, en este caso se trata del caucho de silicona de grado alimenticio el cual permite obtener una prótesis cómoda y sin agentes químicos perjudiciales para la salud de las personas.
- Es importante que, previo al proceso de mezclado e inyectado en la máquina, se realice una limpieza de cada uno de los componentes, con el propósito de evitar que ciertos residuos permanezcan al finalizar cada proceso de inyección y mezclado, y entren en contacto con la emulsión de silicona. Esto afectaría la calidad de la prótesis.
- Se recomienda utilizar silicona que sea de grado médico, porque estas pueden estar en contacto directo con la piel, son hipoalergénicas y son adecuados para una variedad de aplicaciones, como la fabricación de prótesis.
- Se recomienda aplicar desmoldante tanto en la cámara de mezclado, tuberías, cámara de inyección y molde para facilitar tanto el proceso de limpieza, como el de desmoldeo posterior al curado de la prótesis.

BIBLIOGRAFÍA

- BOSSI, N.** *Moldes y máquinas de inyección para transformación de plásticos*. Segunda ed. México: McGRAW-HILL.
- BUDYNAS, R. G.; & NISBETT, J. K.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Novena ed. México, D.F: McGRAW-HILL, 2012. ISBN 978-607-15-0771-6.
- CALLISTER, W.; & RETHWISCH, D.G.** *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Novena ed. Barcelona : Editorial Reverté, 2016. ISBN 978-84-291-7251-5.
- CUEVA, C.N.; & FLORES, C.J.** Diseño de una mezcladora dosificadora de cremas cosméticas. Escuela Politécnica Nacional. 2008.
- GÓMEZ, C.M.; et al.** Diseño y construcción de una máquina mezcladora y dosificadora de barbotina. Universidad Autónoma de Bucaramanga. 2005.
- JOSEPH, B. D.; & NOSTRAND, V.** *Injection molds and molding, a practical manual*. Segunda ed.
- LÓPEZ, G.H.; et al.** “Reconstrucción 3D para el desarrollo de prótesis de miembro inferior”. *Revista UIS Ingenierías*. 2020. pp. 73-85.
- NORTON, R.** *Diseño de maquinaria*. Segunda ed. México: McGRAW-HILL.
- RAMÍREZ RAMOS, Celia.** Diseño y simulación del proceso de cristalización de azúcar en un sistema batch con agitador de paso variable (Maestría). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla – México. 2014.
- WERNKE, M.; et al.** “Control de la temperatura de la piel y la sudoración mediante un liner protésico que incorpora un material que cambia de estado”. 2019.

ANEXOS

ANEXO A: ADQUISICIÓN DE INSUMOS PARA PODER REALIZAR LAS PRUEBAS PERTINENTES CON SILICÓN MOLD MAX 29NV



Riobamba, 27 de enero de 2023

Ingeniero
Javier Gavilanes
DOCENTE FACULTAD DE MECÁNICA
Presente. -

De mi consideración:

Reciba un atento saludo, por medio del presente solicito a usted comedidamente su colaboración con INSUMOS NECESARIOS para realizar manufactura aditiva de las piezas que pertenecen a:

- EL TRABAJO DE TITULACIÓN (X)
- EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
- OTROS

Cuyo Tema es "Diseño y construcción de una máquina mezcladora-inyectora de silicona para el desarrollo de muñones flexibles para prótesis de miembros superiores"

Autores:

- EDWIN SEBASTIÁN TENEMAZA VILLACRÉS con C.I.: 0603814351
- DAVID ALEJANDRO CAZAR ALBUJA con C.I.: 1721640967

Perteneciente a la Facultad de: MECÁNICA

Carrera: MECÁNICA

Detalle de insumos solicitados

CANTIDAD	DESCRIPCION DETALLADA	USO:
1	MOLD MAX A	SILICÓN
1	MOLD MAX B	SILICÓN

Por la favorable atención, anticipo mi agradecimiento.

Atentamente,


EDWIN SEBASTIAN TENEMAZA
ALUMNO FACULTAD MECÁNICA
"Saber para Ser"


DAVID ALEJANDRO CAZAR ALBUJA
ALUMNO FACULTAD MECÁNICA

*Recibido
31/01/2023
17:49*

ANEXO B: ADQUISICIÓN DE DESMOLDANTE Y COMPONENTE (B) PARA REALIZAR PRUEBAS DE FLEXIBILIDAD



Riobamba, 1 de febrero de 2023

Ingeniero
Javier Gavilanes
DOCENTE FACULTAD DE MECÁNICA
Presente. -

De mi consideración:

Reciba un atento saludo, por medio del presente solicito a usted comedidamente su colaboración con INSUMOS NECESARIOS para realizar manufactura aditiva de las piezas que pertenecen a:

- EL TRABAJO DE TITULACIÓN (X)
- EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
- OTROS

Cuyo Tema es "Diseño y construcción de una máquina mezcladora-inyectora de silicona para el desarrollo de muñones flexibles para prótesis de miembros superiores"

Autores:

- EDWIN SEBASTIÁN TENEMAZA VILLACRÉS con C.I.: 0603814351
- DAVID ALEJANDRO CAZAR ALBUJA con C.I.: 1721640967

Perteneciente a la Facultad de: MECÁNICA

Carrera: MECÁNICA

Detalle de insumos solicitados

CANTIDAD	DESCRIPCION DETALLADA	USO:
1	MANN	AEROSOL
1	MOLD MAX B	SILICÓN

Por la favorable atención, anticipo mi agradecimiento.

Atentamente,


EDWIN SEBASTIAN TENEMAZA
ALUMNO FACULTAD MECÁNICA
"Saber para Ser"


DAVID ALEJANDRO CAZAR ALBUJA
ALUMNO FACULTAD MECÁNICA

*Recibido
16/02/2023
16:10*

Manual de operación y mantenimiento

Mezcladora-Inyectora

Operación

La sección de operación es una referencia para el operador nuevo y un recordatorio para el experimentado. Esta sección incluye una explicación del uso de los interruptores, controles de la máquina, etc.

Las ilustraciones guían al operador a través de los procedimientos correctos de comprobación, arranque, operación y parada de la máquina.

Las técnicas de operación que se describen en esta publicación son básicas. La habilidad y la técnica las desarrolla el operador a medida que gana conocimientos de la máquina junto a sus propias capacidades y destrezas.

Antes de operar

En caso de que existan objetos cercanos al equipo apártelos hasta una distancia segura. Mantenga la atención a posibles peligros como cables, instrumentos de medición, etc.

Compruebe que la máquina mezcladora-inyectora esté ubicado en una superficie plana, a fin de vibraciones excesivas y daños en los componentes internos.

Asegúrese de que las conexiones estén en buen estado, de detectarse cables dañados o rotos interrumpa la operación inmediatamente.

Asegúrese de que el botón de emergencia se encuentre desactivado para que pueda operar con normalidad el pistón neumático.

Verifique que las entradas de aire se hallen conectadas al pistón neumático, que el compresor este cargado a 90 Psi y que el molde para la prótesis se encuentre conectado correctamente y con desmoldante por dentro para que sea fácil su extracción.

Operación de la máquina

Conectar el mezclador a la fuente de alimentación de 110 voltios, verter la parte (A) y la parte (B) de la silicona en el mezclador. Esperar aproximadamente 3 minutos antes de apagar el mezclador para que la emulsión de la mezcla sea homogénea.

Revisar que la cámara de inyección cuente con 100 ml de la emulsión para poder accionar el pistón neumático. Posteriormente, la mezcla será inyectada al molde de la prótesis y deberá esperar alrededor de 6 horas de curado para obtener una prótesis completa y apta para su uso.

Paro de emergencia

Para accionar el sistema neumático debe encontrarse conectado el compresor al panel del control que mínimo deberá estar cargado a 90 Psi, a fin de que el pistón de doble efecto pueda ser accionado. Está cuenta con un botón de inicio, un pulsador de emergencia y un timer. En caso de que se atasque el pistón o no inyecte con suficiente presión se deberá accionar el paro de emergencia para evitar que se perjudique el sistema neumático y, así también, regular las entradas y salidas de aire.

La presión mínima y máxima con la que puede trabajar el pistón neumático es de 90 Psi hasta 150 Psi.

Extracción de la prótesis

Para extraer la prótesis, dependiendo el tipo de silicona que se haya utilizado en la mezcla, deberá transcurrir aproximadamente un tiempo de 4-6 horas hasta obtener una prótesis de calidad y sin burbujas.

Mantenimiento

La sección de mantenimiento es una guía destinada al cuidado del equipo. Las instrucciones, ilustradas paso por paso, están agrupadas por intervalos de servicio. Dichos intervalos de mantenimiento incluyen referencias a instrucciones detalladas que vienen a continuación.

Información sobre limpieza del equipo

Posterior a culminar el proceso de mezclado-inyectado de la máquina es recomendable la limpieza después de 4 horas, ya que la silicona se habrá solidificado y resultará fácil su extracción del mezclador, de la cámara de inyección y del molde. No se recomienda usar agua para extraer la silicona, ya que no tienen un buen comportamiento cuando entra en contacto con la silicona.

Agitador y capacidades de llenado

El agitador está diseñado para mezclar hasta 400 ml de la emulsión de silicona. No es recomendable añadir más, ya que la medida sobrepasaría las capacidades del motor y se podría quemar.

Programa de intervalos de mantenimiento

El programa consiste en la revisión de los componentes internos de la máquina mezcladora-inyectora, limpieza y lubricar la cámara de inyección con WD-40. Se recomienda aplicar mantenimiento posterior a cada uso.

ANEXO D: PLANOS AS BUILT