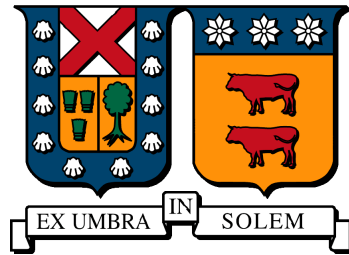


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO-CHILE



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE
ACCESORIO ROTATORIO PARA EQUIPO
DE CORTE LASER EN PROCESO DE
PULIDO PARA PROBETAS DE
NANOMATERIALES.**

GABRIEL MANSILLA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA : DRA. Ing. Sheila Lascano
PROFESOR CORREFERENTE : Carolina Parra

Julio 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: "Diseño e implementación de accesorio rotatorio para equipo de corte laser en proceso de pulido para probetas de nanomateriales"

Nombre del candidato(a): Gabriel Mansilla

Carrera / Grado: Ingeniero Civil Mecánico

Campus: Santiago San Joaquin ; **Departamento:** Ingeniería Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Sheila Lascano Farak, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 28/10/25

; Firma: _____

Sheila
Katherine
Lascano Farak
Firmado digitalmente
por Sheila Katherine
Lascano Farak
Fecha: 2025.10.28
07:37:27 -03'00'

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 13/10/25

; Firma: _____

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos

Quisiera agradecer, en primera instancia, a mis padres, Rodrigo y Mery, quienes siempre me apoyaron y dieron lo mejor de sí para brindarme la vida que tengo; por eso, y por mucho más, siempre les estaré eternamente agradecido.

A mis amigos, que fui conociendo a lo largo de toda mi vida, siempre les estaré agradecido. Cada uno de ustedes me ha impactado de alguna forma, y gracias a eso, hoy soy quien soy.

Por último, quisiera agradecer a la universidad, tanto a los profesores, a los apoyos académicos y a la selección de balonmano USM, por siempre creer en mí.

”Do not pray for easy lives, my friends.
Pray to be stronger men”.

John F. Kennedy.

Location : Five

Date: November of 1968

Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad diseñar e implementar un dispositivo rotatorio capaz de modificar equipos de corte láser para trabajos sobre estructuras cilíndricas, a solicitud del grupo de investigación en nanomateriales del Departamento de Ingeniería Mecánica del campus San Joaquín.

Para ello, primero se presenta al lector la metodología de diseño en la que se basó el desarrollo del prototipo final. En una primera fase, se tradujeron los requerimientos del cliente a un lenguaje de ingeniería, definiendo los objetivos de diseño, las restricciones y las funciones que debe cumplir el dispositivo. Además, se realizó un análisis funcional del prototipo mediante herramientas como el árbol de funciones, el diagrama de caja negra y el diagrama de caja transparente.

Posteriormente, se generaron tres conceptos de diseño, los cuales fueron sometidos a un proceso de selección utilizando un método de pesos ponderados.

Tras la selección del concepto, se llevó a cabo el proceso de arquitectura del diseño, en el que se realizó una primera aproximación a la disposición de los distintos componentes. Luego, se procedió con la configuración del diseño, donde se definieron los módulos o subsistemas del prototipo, finalizando con el diseño de detalle.

Por último, se demuestra la correcta implementación del dispositivo a través del registro de las distintas pruebas realizadas en el laboratorio con probetas, evidenciando su configuración y desempeño adecuados.

Abstract

The purpose of this work is to design and implement a rotary device capable of modifying laser cutting equipment for operations on cylindrical structures, as requested by the nanomaterials research group of the Department of Mechanical Engineering at the San Joaquín campus.

To achieve this, the design methodology used in the development of the final prototype is first presented to the reader. In an initial phase, the client's requirements were translated into engineering language, defining the design objectives, constraints, and functions that the device must fulfill. In addition, a functional analysis of the prototype was carried out using tools such as the function tree, the black box diagram, and the transparent box diagram.

Subsequently, three design concepts were generated and subjected to a selection process using a weighted decision matrix method.

After selecting the final concept, the design architecture process was carried out, in which a preliminary arrangement of the different components was proposed. Then, the design configuration phase followed, where the modules or subsystems of the prototype were defined, concluding with the detailed design.

Finally, the correct implementation of the device is demonstrated through the documentation of the various tests conducted in the laboratory using test specimens, evidencing its proper configuration and performance.

Índice general

1. Metodología	3
1.1. El diseño como un proceso	3
1.2. Contexto y definición del problema	4
1.3. Definición del problema en términos de ingeniería	5
1.3.1. Atributos de diseño	5
1.3.2. Clasificación de atributos	5
1.3.3. Categorización de los atributos de diseño	6
1.3.4. Ponderación de los objetivos	6
1.3.5. Listado de atributos argumentado	6
1.4. Análisis funcional	6
1.4.1. Análisis interno	7
1.5. Generación y evaluación de conceptos	9
1.5.1. Generación de conceptos	9
1.5.2. Evaluación de conceptos	9
1.6. Arquitectura del diseño	9
1.7. Configuración del diseño	10
1.8. Diseño de detalle	10
1.9. Diseño final y ensamble	11
2. Marco Teórico	12
2.1. 5W+1H	12
2.2. Brainstorming	13
2.3. Metodo de jerarquerizacion analitica	15
2.4. Carta Morfologica	16
2.5. Matriz de Pugh	17
2.6. Diagrama esquemático del sistema	19

3. Diseño conceptual	21
3.1. Contexto y definición del problema	21
3.2. Definición del problema en términos de ingeniería	22
3.2.1. Atributos del diseño	22
3.2.2. Clasificación de los atributos	23
3.2.3. Categorización de los atributos	24
3.2.4. Ponderación de los objetivos	25
3.2.5. Listado de atributos argumentados	25
3.3. Análisis Funcional	26
3.4. Generación y evaluación de conceptos	29
3.4.1. Carta morfológica	36
3.4.2. Conceptos	36
3.4.3. Selección de concepto	39
4. Realización del diseño	41
4.1. Arquitectura del diseño	41
4.1.1. Diagrama esquemático del sistema	41
4.2. Configuración del diseño	43
4.2.1. Modulo de trabajo:	43
4.2.2. Modulo de Powertrain:	47
4.2.3. Modulo de electro-control:	53
4.3. Diseño de detalle	55
4.3.1. Armason	55
5. Implementación del dispositivo	60
5.0.1. Modo de uso	60
5.0.2. Pruebas de desempeño	62
6. Conclusión	70
Referencias	72

Índice de figuras

1.1. Diagrama de flujo del proceso de diseño	4
1.2. Ejemplo de diagrama de caja negra para un sistema de extrusión de material	7
1.3. Ejemplo de árbol de función para un sistema de extrusión de material	8
1.4. Ejemplo de diagrama de caja transparente para un sistema de extrusión de material	8
2.1. Ejemplo de matriz de jerarquerizacion	16
3.1. Caja negra de nuestro dispositivo rotatorio	27
3.2. Árbol de funciones dispositivo rotatorio	28
3.3. Caja transparente dispositivo rotatorio	28
3.4. Carta morfológica	36
3.5. Boceto concepto 1 de diseño.	37
3.6. Boceto concepto 2 de diseño.	38
3.7. Boceto concepto 3 de diseño.	39
4.1. Diagrama de componentes y funciones de la arquitectura del diseño.	42
4.2. Rende-rizado 3D de los módulos de trabajo y su disposición.	42
4.3. Plano que muestra los elementos pertenecientes al modulo de trabajo.	44
4.4. Esquema que muestra el diámetro y separación de los rodillos de apoyo.	44
4.5. Plano del manto del rodillo.	46
4.6. Plano Semi eje.	47
4.7. Plano conjunto Powertrain.	48
4.8. Especificaciones técnicas entregadas por el distribuidor.	48
4.9. Modelado 3D de polea de transmisión.	53
4.10. Diagrama logico modulo electrocontrol.	54

4.11. Diagrama de conexiones eléctricas entre driver tb6600 y arduino uno.	55
4.12. Modelado 3D del armazón en software Inventor.	56
4.13. Modelado 3D del conjunto ruedas de apoyo.	57
4.14. Esquema sobre carga de flexion y fuerza generada por rueda de apoyo.	57
4.15. Modelado en 3D del lado de accionamiento del dispositivo.	58
4.16. Modelado en 3D del dispositivo.	58
5.1. Diagrama de flujo explicando modo de uso.	60
5.2. Patrón de paso de láser.	63
5.3. Patrón obtenido en la prueba 1 a 460 RPM y con un espesor de 0,5 mm.	64
5.4. Patrón obtenido en la prueba 2 a 512 RPM y con un espesor de 0,5 mm.	64
5.5. Patrón obtenido en la prueba 3 a 460 RPM y con un espesor de 1 mm.	65
5.6. Patrón obtenido en la prueba 4 a 512 RPM y con un espesor de 1 mm.	65
5.7. Patrón obtenido en la prueba 5 a 256 RPM y con un espesor de 3 mm.	66
5.8. Patrón obtenido en la prueba 6 a 384 RPM y con un espesor de 3 mm.	66
5.9. Patrón obtenido en la prueba 7 a 384 RPM y con un espesor de 1 mm.	67
5.10. Patrón obtenido en la prueba 8 a 384 RPM y con un espesor de 0,5 mm.	67
5.11. Patrón obtenido en la prueba 9 a 345 RPM y con un espesor de 0,5 mm.	68

Índice de tablas

2.1. Ejemplo de Carta Morfológica.	17
3.1. Tabla de Objetivos, Restricción y Funciones	24
3.2. Tabla de características	25
3.3. Tabla de criterios y ponderaciones.	25
3.4. Distribución de criterios y subcriterios por categoría.	26
3.5. Comparación entre motor paso a paso y servomotor.	30
3.6. Comparación de técnicas de sujeción de probetas	31
3.7. Comparación de técnicas de transmisión de potencia	32
3.8. Comparación de métodos para el posicionamiento de probetas	34
3.9. Resumen de modelos de Arduino y sus características	35
3.10. Evaluación de conceptos	40
5.1. Mediciones del espesor de montaña (S_P) en cm.	68
5.2. Mediciones de la separación entre valles (S_V) en cm.	69

Introducción

En la búsqueda constante de nuevas tecnologías para la transmisión de electricidad, ha surgido una rama dedicada al estudio de las propiedades de ciertos nanomateriales con capacidad para conducir electrones, un campo innovador y fascinante que ha cobrado relevancia en los últimos años. La Universidad Técnica Federico Santa María, con el propósito de mantenerse a la vanguardia en ciencia y tecnología, ha promovido la investigación en esta área, especialmente a través del Departamento de Ingeniería Mecánica en el campus San Joaquín.

Uno de los enfoques clave en este ámbito es el desarrollo de probetas cilíndricas compuestas por nanomateriales con capacidad de transmisión eléctrica. Sin embargo, debido a la naturaleza del proceso de manufactura de estos electrodos, las nanoestructuras generadas dejan residuos en los espacios intersticiales, lo que incrementa la resistencia eléctrica y reduce la conductividad del material.

Para mitigar este efecto, es necesario eliminar el exceso de material mediante tecnología láser. En este contexto, el objetivo del presente trabajo es diseñar y desarrollar un dispositivo que modifique un equipo de corte láser existente para optimizar la limpieza de los electrodos, mejorando así su conductividad eléctrica.

Objetivos

Este trabajo de título tiene como misión desarrollar una solución de bajo costo y con un plazo de ejecución corto a mediano, que permita superar las limitaciones actuales del corte láser en planos 2D y facilite el procesamiento de probetas cilíndricas a partir de nanomateriales.

Para ello, se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Definir de manera clara y precisa la voz del cliente en términos de ingeniería, estableciendo los objetivos de diseño, restricciones y funciones del prototipo.
- Realizar un análisis funcional del prototipo de diseño.
- Generar y seleccionar conceptos tomando como referencia los requerimientos del cliente.
- Desarrollar un diseño detallado del sistema, sus subsistemas y componentes.
- Llevar a cabo la puesta en marcha del dispositivo en el laboratorio Maker-Space del Departamento de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María, en el campus San Joaquín.

Capítulo 1

Metodología

El objetivo de este capítulo es describir y explicar al lector la metodología de diseño que se utilizó como guía para llevar a cabo el desarrollo del prototipo. En esta sección se detallan las etapas, herramientas y criterios que permitieron estructurar el proceso de diseño, desde la identificación de los requerimientos iniciales hasta la definición de las soluciones constructivas que dieron forma al dispositivo final.

1.1. El diseño como un proceso

El proceso comienza con la definición conceptual [3] del diseño, en la cual se identifican y categorizan los atributos de diseño, estableciendo objetivos argumentados y priorizados. Posteriormente, se realiza un análisis funcional que incluye estudios tanto externos como internos, así como la búsqueda de soluciones.

A continuación, se lleva a cabo la generación y evaluación de conceptos, donde se desarrollan alternativas y se seleccionan las más adecuadas. La fase de configuración del diseño abarca el dimensionamiento, el análisis estructural y la selección de materiales, estableciendo la arquitectura del sistema.

Finalmente, la etapa de realización del diseño integra las actividades de manufactura, ensamblaje y generación de planos de fabricación, garantizando un resultado que cumpla con los requisitos funcionales y estructurales establecidos.

Este capítulo tiene como objetivo explicarle al lector la metodología de diseño en la que se basó para desarrollar el prototipo. Este proceso se presenta esquematizado en el siguiente diagrama de flujo en la Figura 1.1

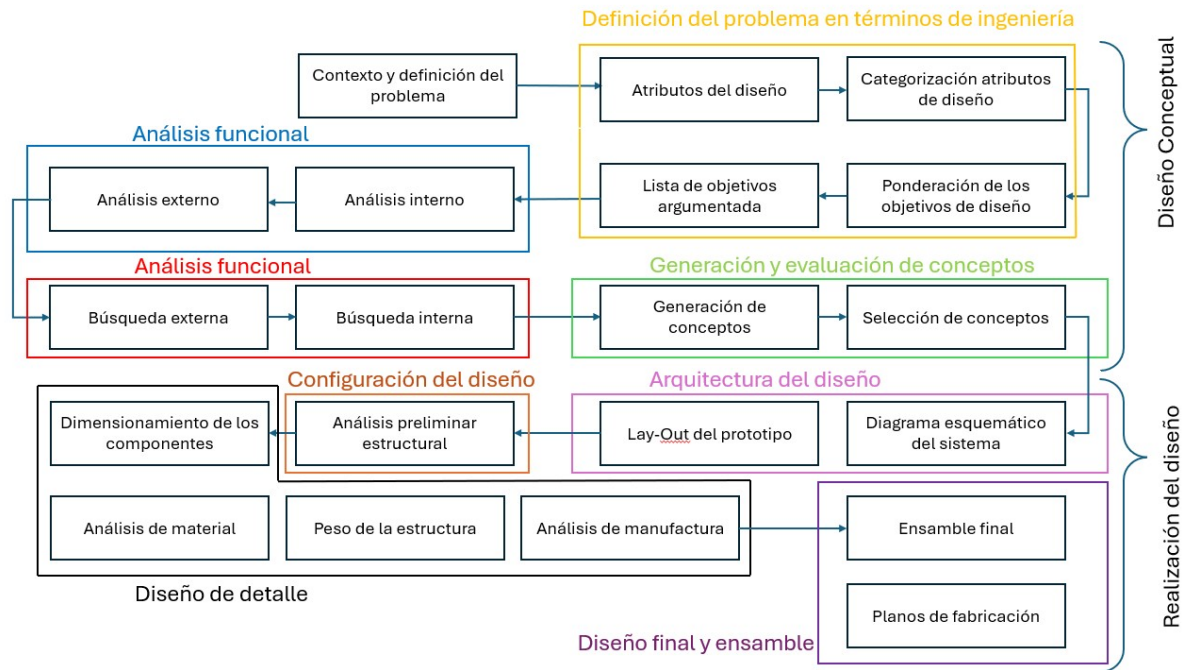


Figura 1.1: Diagrama de flujo del proceso de diseño

1.2. Contexto y definición del problema

Siempre, en los trabajos de diseño, lo primero que se debe hacer es comprender la problemática y la necesidad del cliente, ya que esta necesidad impulsa y justifica el trabajo. Por ello, es fundamental analizar el contexto del problema, pues los factores que lo rodean permiten entender mejor la situación y, en consecuencia, desarrollar una solución más adecuada.

Para ello, se recomienda redactar un párrafo que brinde contexto a la problemática. Este debe incluir aspectos como: si el diseño es solicitado para una industria en particular o con fines académicos, si existe un equipo de trabajo detrás de la solicitud, si el proyecto forma parte de un proceso de producción, el lugar donde se ubicará el prototipo final, entre otros factores relevantes.

Una metodología eficaz para comprender la problemática y proporcionar un contexto adecuado es la técnica de las 5W+1H.

1.3. Definición del problema en términos de ingeniería

En esta etapa, se busca transformar las necesidades en atributos o adjetivos concretos, vistos desde un enfoque más ingenieril. Ejemplos de estos atributos incluyen facilidad de uso, costo limitado, objetivos de diseño y funciones que debe cumplir el prototipo, entre otros.

Para ello, se debe comenzar con un listado lo más amplio y variado posible de atributos. Lo ideal es generar este listado en conjunto con el cliente; sin embargo, el equipo también puede realizar una sesión de brainstorming para proponer ideas. Es importante aplicar un filtro al final del proceso para agrupar atributos similares y conservar únicamente aquellos que realmente guarden relación con la definición del problema y su contexto.

1.3.1. Atributos de diseño

El primer paso para esta conversión es la creación de una lista de atributos. Esta es una forma sencilla y clara de representar las cualidades que debe tener el prototipo, lo que permite contar con una referencia visual y esquemática.

Como se mencionó en la sección anterior, es recomendable realizar una sesión de brainstorming para generar esta lista.

1.3.2. Clasificación de atributos

Clasificar estos atributos es un paso importante a la hora de definir el problema de nuestro cliente en un lenguaje más ingenieril, este paso nos permite identificar qué cosas debo lograr a través de trabajos de diseño, qué restricciones tengo para trabajar y qué funciones debe cumplir mi prototipo.

Para realizar esta clasificación debemos ir punto por punto del listado de atributos mencionado en la sección 1.3.1 y clasificar si; son algo que debo alcanzar con algún diseño en específico (Objetivos de diseño), son restricciones que limitan mi trabajo como diseñador (Restricciones) o funciones específicas que debe realizar mi prototipo (Funciones).

1.3.3. Categorización de los atributos de diseño

Al clasificar los atributos, se debe conservar el mismo listado elaborado en la sección 1.3.1, pero agrupado en tres secciones.

El siguiente paso consiste en una clasificación más flexible. En este caso, los atributos dentro de la familia de "Objetivos de diseño" deben organizarse en conjuntos con características afines, como Seguridad, Costos, Desempeño del prototipo, Impacto ambiental, Facilidad de uso, entre otros. El equipo de trabajo tiene libertad para definir tanto la cantidad como la naturaleza de estas categorías.

El propósito de esta etapa es agrupar los objetivos de diseño en conjuntos con similitudes, lo que permitirá esquematizar de manera clara los distintos aspectos que se deben abordar durante el proceso de diseño.

1.3.4. Ponderación de los objetivos

El objetivo de categorizar todos los atributos es poder utilizar una herramienta de método de jerarquización analítica, la cual nos permite de forma cuantitativa ordenar o priorizar aspectos cualitativos del diseño.

Ésto para tener un respaldo seguro y confiable, para pasos posteriores, y poder evitar malentendidos entre lo que se quiere lograr realmente y el prototipo final.

1.3.5. Listado de atributos argumentado

Este listado va más enfocado a jerarquizar los atributos dentro de su misma familia. Por ejemplo, si crea una familia de seguridad con tres atributos dentro de ella, esta lista me indica la jerarquización interna entre estos 3 atributos.

1.4. Análisis funcional

Una vez definido el problema y sus atributos, se procede a realizar un análisis funcional del diseño, tanto a nivel interno como externo. Este análisis permite identificar las funciones que el diseño debe cumplir y la manera en que las ejecuta, considerando las entradas y salidas de energía y materiales, así como los resultados obtenidos del proceso. Además, se lleva a cabo una comparación con productos similares disponibles en el mercado, con el objetivo de evaluar sus fortalezas y debilidades, y así identificar oportunidades para obtener una ventaja competitiva.

1.4.1. Análisis interno

Como primer paso para el desarrollo funcional del producto, se establecen los flujos de energía y materia que utilizará el diseño como insumo. Luego, es necesario establecer la función global que realizará. Para esto, utilizamos el diagrama de caja negra.

La función de un diagrama de caja negra es representar un sistema o dispositivo enfocándose únicamente en sus entradas, salidas y la función principal que realiza, sin detallar cómo se lleva a cabo el proceso internamente. Es útil para definir los límites del sistema, identificar los flujos de energía, materiales e información, y comprender el comportamiento global del diseño de manera simplificada.

A continuación, en la figura 1.2, se muestra a manera de ejemplo un diagrama de caja negra para que el lector tenga una referencia visual de cómo se estructura.

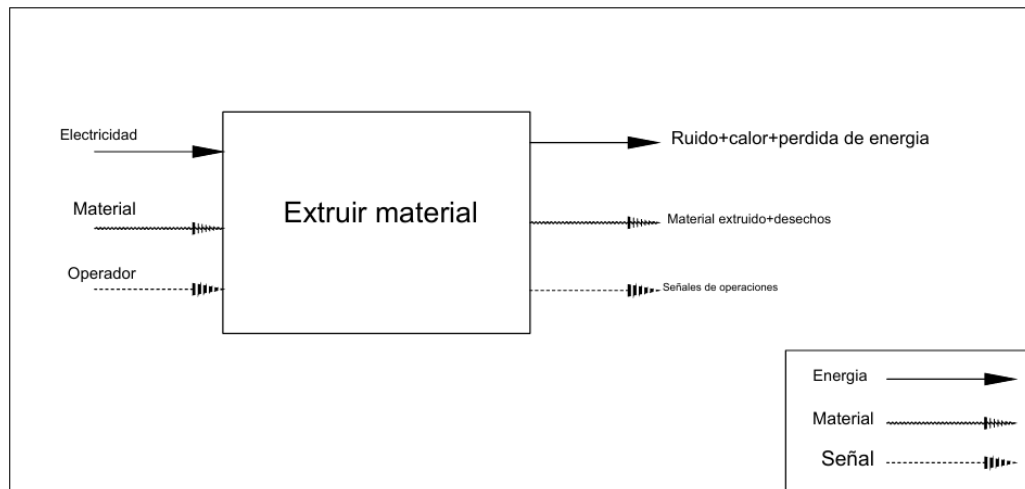


Figura 1.2: Ejemplo de diagrama de caja negra para un sistema de extrusión de material

Una vez terminada nuestra caja negra, se debe tomar las funciones descritas en la tabla obtenida en la sección 1.3.2 y realizar un árbol de funciones, que no es más que un diagrama que muestra la función principal, las funciones descritas en la tabla y las subfunciones necesarias.

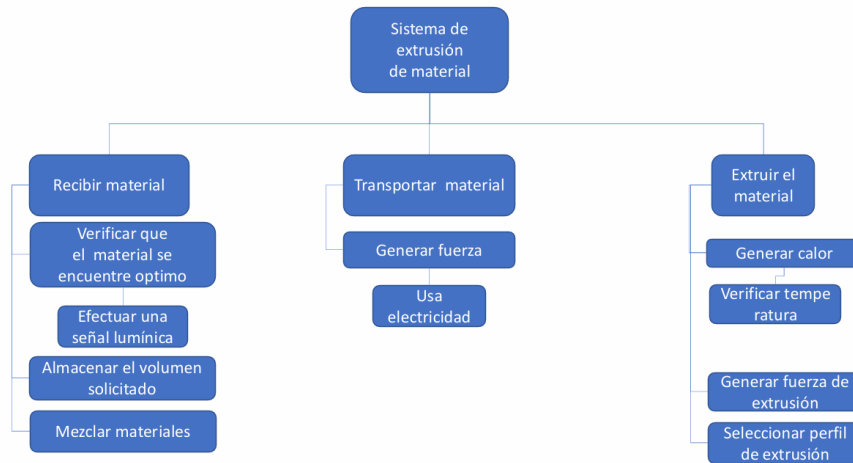


Figura 1.3: Ejemplo de árbol de función para un sistema de extrusión de material

El último paso de nuestro análisis funcional interno culmina con el desarrollo de un diagrama de caja transparente. Un diagrama de caja transparente es una representación gráfica que permite visualizar las distintas partes funcionales de un sistema, pero sin entrar en detalles sobre el funcionamiento interno de cada componente. Su principal objetivo es mostrar cómo interactúan las partes del sistema entre sí mediante entradas, procesos y salidas.

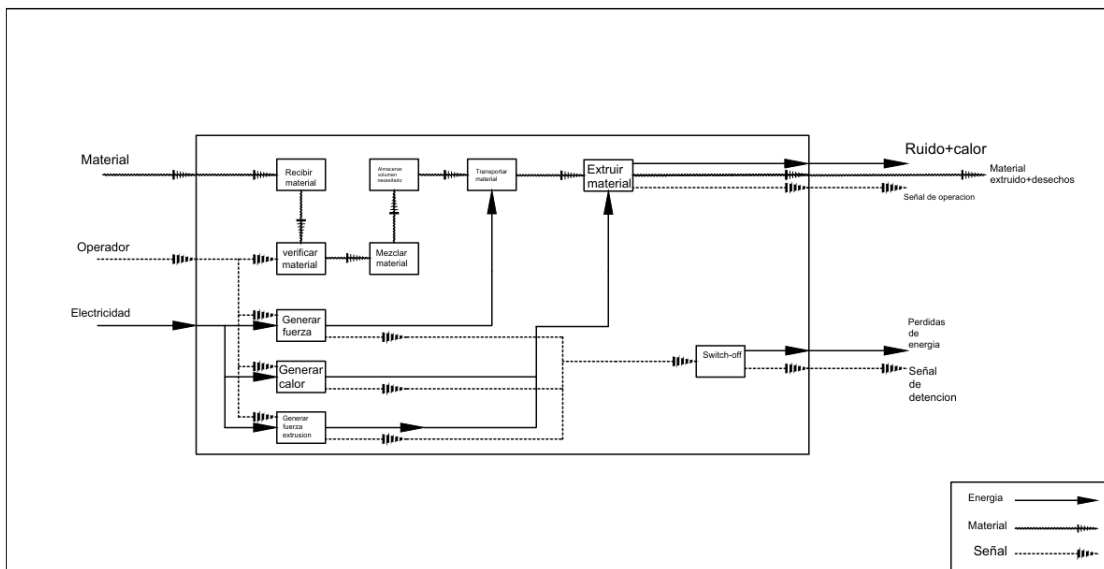


Figura 1.4: Ejemplo de diagrama de caja transparente para un sistema de extrusión de material

1.5. Generación y evaluación de conceptos

Una vez terminado el análisis funcional de nuestro prototipo, debemos generar distintos conceptos (ideas de diseño) para luego seleccionar la más adecuada.

Para eso, primero se realiza una búsqueda de información:

- **Búsqueda externa:** Búsqueda externa consiste en explorar fuentes externas, como patentes, libros, estándares, publicaciones científicas o bases de datos. El objetivo es recopilar ideas fuera del equipo de trabajo que sirvan de inspiración y apoyo para encontrar soluciones al problema de diseño.
- **Búsqueda interna:** Utilizando la información recopilada en la búsqueda externa, el equipo genera ideas y soluciones específicas para abordar los problemas de diseño.

1.5.1. Generación de conceptos

Al concluir la etapa de búsqueda de información, el equipo debe desarrollar diversas alternativas conceptuales para el producto que satisfagan las necesidades del cliente. Para ello, pueden emplearse técnicas como el brainstorming o herramientas como la carta morfológica.

1.5.2. Evaluación de conceptos

La selección de conceptos la realizaremos a través de una matriz de decisión, la idea es poder escoger la mejor solución de manera cuantitativa y con argumentos matemáticos que justifiquen la decisión. Específicamente, utilizaremos la matriz de Pugh.

1.6. Arquitectura del diseño

El siguiente paso en el diseño consiste en seleccionar el tipo de arquitectura a emplear. Tanto la carta morfológica como los conceptos propuestos indican que las funciones requeridas por el dispositivo pueden ser ejecutadas mediante componentes independientes que trabajan de manera coordinada. Este modo de operación resulta ideal para implementar un sistema con arquitectura modular. Dentro de este enfoque, existen

diferentes variaciones según la forma en que los módulos interactúan y cooperan entre sí. En este caso particular, la opción más adecuada es la arquitectura tipo "slot", ya que cada módulo tiene una ubicación específica para su operación y no es intercambiable con otros.

Para esto realizaremos los siguientes entrega-bles:

- Diagrama esquemático del sistema: El diagrama esquemático del sistema es una representación gráfica que organiza las funciones principales del producto en módulos independientes, facilitando la visualización del funcionamiento general del diseño. Su objetivo es dividir el sistema en bloques separados que permitan una planificación modular, mostrando las relaciones entre los módulos y las interacciones necesarias para su integración.
- Lay-out: Es una representación gráfica que muestra la distribución real de los distintos sub-sistemas, osea su ubicación espacial

1.7. Configuración del diseño

Una vez definidos los módulos y sus interacciones, es fundamental identificar los componentes esenciales y realizar una aproximación inicial a los elementos finales. Asimismo, se debe determinar qué componentes estándar del mercado se incorporarán al diseño y establecer los criterios que guiarán su selección.

En esta etapa nosotros realizaremos un "Análisis estructural preliminar" este entrega-ble busca lo mencionado anteriormente. Para esto, realizaremos las siguientes tareas:

- Escoger la geometría de nuestro diseño
- Escoger un criterio para análisis estructural
- Seleccionar material u materiales
- Análisis de cargas

1.8. Diseño de detalle

Esta sección retoma el trabajo descrito en la sección anterior y se comienza a dar forma al diseño final de nuestro prototipo. En esta etapa buscaremos realizar:

- Dimensionamiento de componentes
- Análisis de material
- Peso de la estructura
- Análisis de manufactura

Todo esto debe venir argumentado y detallado en un formato de memoria de cálculo.

1.9. Diseño final y ensamble

Nuestro trabajo de diseño culminará con la creación del ensamble final en formato CAD y con la entrega de plazos de fabricación de nuestro prototipo; para esto, debemos tener en cuenta normas de creación de planos, tolerancias geométricas y demás.

Capítulo 2

Marco Teórico

En este capítulo se describen las herramientas utilizadas, durante el proceso de diseño, mencionadas en el capítulo 1 de metodología.

2.1. 5W+1H

La metodología 5w+1H [2] por sus siglas en inglés, What, Why, Who, Where, When y How, consiste en estructurar un análisis detallado y organizado que permita abordar problemas, proyectos o situaciones con una visión integral.

Para este análisis es clave formular las preguntas para cada caso, a continuación se muestra una serie de preguntas base que se pueden utilizar:

- What? (¿Qué?)
 - ¿Qué está ocurriendo o se necesita hacer?
 - ¿Cuál es el problema o tarea principal?
 - ¿Qué recursos están disponibles o son necesarios?
- Why? (¿Por qué?)
 - ¿Por qué es importante abordar este tema?
 - ¿Qué causa el problema?
 - ¿Por qué se elige este enfoque?
- Who? (¿Quién?)

- ¿Quién está involucrado o afectado?
- ¿Quién será responsable de las acciones o decisiones?
- Where? (¿Dónde?)
 - ¿Dónde ocurre el problema o se aplicará la solución?
 - ¿En qué lugar se llevarán a cabo las actividades?
- When? (¿Cuándo?)
 - ¿Cuándo ocurre el problema o debe implementarse la solución?
 - ¿Qué plazos existen?
- How? (¿Cómo?)
 - ¿Cómo se implementará la solución?
 - ¿Qué procesos, técnicas o estrategias se utilizarán?

Responder cada pregunta mediante la investigación, la observación o la consulta con expertos. Es fundamental documentar las respuestas para tener una base sólida de información.

Usar las respuestas para desarrollar un plan de acción claro y fundamentado. La metodología garantiza que no se omitan aspectos críticos.

Poner en práctica las soluciones propuestas y medir los resultados, comprobando si se cumplen los objetivos planteados.

Esta metodología proporciona un marco lógico y completo para abordar problemas o diseñar soluciones de manera estructurada y efectiva .

2.2. Brainstorming

El brainstorming o lluvia de ideas es una técnica creativa utilizada para generar un amplio rango de ideas o soluciones sobre un tema específico en un tiempo limitado. Este método se caracteriza por fomentar la libertad de pensamiento y la suspensión del juicio crítico durante la fase inicial, permitiendo que las ideas fluyan sin restricciones. Entre sus ventajas destacan el estímulo de la creatividad, la identificación de soluciones

innovadoras, la posibilidad de explorar múltiples perspectivas y la eliminación de bloques mentales. Además, en un entorno colaborativo o individual, el brainstorming [4] ayuda a estructurar el pensamiento y priorizar ideas según su relevancia o viabilidad.

Pero ¿Cómo se realiza un brainstorming? Primero se debe esclarecer el propósito de tu lluvia de ideas.

- ¿Qué problema deseas resolver?
- ¿Qué ideas necesitas generar?
- Escribe el objetivo en una frase breve y clara para mantener el enfoque.

Luego se debe preparar el entorno de trabajo.

- Elige un lugar tranquilo, libre de distracciones.
- Reúne los materiales necesarios: papel y lápiz, tarjetas, notas adhesivas o herramientas digitales.
- Asigna un límite de tiempo (20-30 minutos) para mantener la concentración.

Haz una lluvia de ideas inicial, escribe todas las ideas que se te ocurran sin juzgar su calidad.

- Usa frases breves o palabras clave para cada idea.
- El objetivo en esta etapa es cantidad, no calidad.

Utiliza estímulos creativos, si las ideas no fluyen, emplea estrategias como:

- Preguntas clave: ¿Qué pasaría si...? ¿Cómo podría hacerlo de manera diferente?
- Mapas mentales: Escribe el tema central y conecta ideas relacionadas.
- Palabras aleatorias: Escoge una palabra al azar y relaciónala con el tema.
- Cambio de perspectiva: Piensa cómo otra persona abordaría el problema (un experto, un cliente, etc.).

Clasifica y organiza las ideas, una vez finalizada la lluvia de ideas:

- Agrupa las ideas en categorías o temas.

- Identifica las más prometedoras, interesantes o viables.

Profundiza y refina, selecciona 3-5 ideas principales y desarrolla cada una:

- Analiza su viabilidad, posibles obstáculos y beneficios.
- Si alguna idea no convence, descártala o combínala con otras.

Documenta tus resultados, registra las ideas y conclusiones en un lugar accesible, como un cuaderno, archivo digital o software de notas. Asegúrate de añadir suficientes detalles para retomarlas fácilmente en el futuro.

Repite si es necesario, si no encuentras una solución satisfactoria, revisa el proceso. Considera explorar desde otro enfoque o tomar un descanso antes de intentarlo nuevamente.

2.3. Metodo de jerarquerizacion analitica

Esta metodología, basada en el Análisis de Jerarquía Analítica (AHP) [6], es una herramienta de toma de decisiones multicriterio. Su propósito principal es ayudar a priorizar o jerarquizar opciones cuando se deben evaluar varios criterios que tienen diferentes niveles de importancia relativa. Es especialmente útil en contextos donde las decisiones no son obvias y es necesario un enfoque estructurado y objetivo.

El primer paso para utilizar esta herramienta es identificar los criterios que se quieren evaluar. Es deber del usuario establecer bien los criterios que quiere evaluar.

Segundo, se debe construir la matriz de comparación:

- Crea una matriz cuadrada donde los criterios se comparan entre sí.
- Coloca un valor de "1.^{en} la diagonal principal, ya que un criterio tiene la misma importancia que sí mismo.
- Evalúa la importancia relativa de un criterio sobre otro asignando valores según la escala de comparación. Por ejemplo: 1: Igual importancia. 3: Moderadamente más importante. 1/3 (0.3): Moderadamente menos importante. Otras proporciones como 5, 1/5, etc., según la diferencia de relevancia.

Para completar la matriz se debe seguir una cierta congruencia, el cual, por ejemplo: Si el criterio A es 3 veces más importante que el criterio B , entonces la celda $A \rightarrow B$ recibe el valor "3" la celda opuesta $B \rightarrow A$ recibe el valor inverso 1/3 (0.3).

Una vez completada la comparación entre criterios, se deben sumar los valores de cada fila de la matriz, para luego realizar la suma total de los valores obtenidos de la sumatoria de las filas.

Por último, se divide la puntuación obtenida por cada criterio sobre el total de puntos asignados para generar una ponderación.

Criterio	A	B	C	TOTAL	PONDERACION
A	1	3	3	7	67%
B	0,3	1	0,5	1,8	17%
C	0,3	0,3	1	1,6	15%
TOTAL				10,4	100%

Figura 2.1: Ejemplo de matriz de jerarquerizacion

2.4. Carta Morfológica

La carta morfológica es una herramienta utilizada en diseño y resolución de problemas para explorar sistemáticamente soluciones mediante la combinación de diferentes características o componentes de un producto, sistema o proceso. Se emplea principalmente en ingeniería, diseño industrial y gestión de proyectos para fomentar la creatividad y estructurar la toma de decisiones.

¿Para qué se usa?

- Generación de ideas: Explorar múltiples combinaciones para soluciones innovadoras.
- Evaluación de opciones: Comparar alternativas y seleccionar la mejor solución según criterios específicos.
- Documentación: Registrar sistemáticamente las opciones consideradas en el proceso de diseño.

¿Cómo se usa?

1. Definir el problema o producto: Identifica el objetivo o sistema que necesitas desarrollar o mejorar.
2. Descomponer el sistema: Divide el problema en sus funciones principales o componentes esenciales.
3. Generar alternativas: Para cada función o componente, lista todas las opciones posibles.
4. Construir la carta: Organiza las funciones como filas y sus alternativas como columnas en una tabla.
5. Explorar combinaciones: Analiza las combinaciones de opciones de cada fila para generar soluciones.

Función/Componente	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Fuente de luz	LED	Halógeno	Incandescente
Material del cuerpo	Metal	Plástico	Madera
Fuente de energía	Batería	Solar	Cable eléctrico
Diseño de la base	Circular	Cuadrada	Triangular

Tabla 2.1: Ejemplo de Carta Morfológica.

2.5. Matriz de Pugh

La Matriz de Pugh [1], también conocida como análisis de decisión matricial, es una herramienta para evaluar y comparar múltiples opciones frente a un conjunto de criterios. A continuación, se detalla el paso a paso para elaborarla:

1. Definir el objetivo.
 - Identificar claramente el problema o la decisión a tomar. Por ejemplo, elegir el diseño más adecuado para un componente mecánico.
2. Establecer los criterios de evaluación.
 - Listar los criterios clave que serán utilizados para evaluar las alternativas.

- Estos criterios deben ser específicos, relevantes y medibles (por ejemplo, costo, durabilidad, eficiencia, facilidad de fabricación, etc.).
3. Seleccionar las alternativas.
 - Identificar las alternativas que se van a evaluar. Estas pueden ser diferentes diseños, productos o soluciones.
 4. Crear la matriz.
 - Dibujar una tabla. Las filas representarán las alternativas, mientras que las columnas representarán los criterios de evaluación.
 - Agregar una columna adicional para el puntaje total.
 5. Comparar las alternativas.
 - Comparar cada alternativa para cada criterio.
 - Asignar una puntuación cualitativa:
 - 1: Se aleja del criterio.
 - 3: Cerca pero no ideal.
 - 5: Se acerca bastante al criterio.
 6. Ponderar los criterios (opcional).
 - Si los criterios tienen diferentes niveles de importancia, asignarles un peso proporcional (por ejemplo, un criterio crítico puede tener un peso de 5, mientras que uno menos importante tendrá un peso de 1).
 7. Calcular los puntajes.
 - Para cada alternativa, sumar los valores (1, 3, 5) o los valores ponderados para obtener un puntaje total.
 8. Analizar los resultados.
 - Identificar la alternativa con el puntaje más alto. Esta será la opción recomendada según los criterios establecidos.
 9. Validar los resultados.

- Revisar si los resultados son consistentes y reflejan las prioridades del problema.
- Si es necesario, ajustar los criterios o ponderaciones y repetir el proceso.

2.6. Diagrama esquemático del sistema

Un diagrama esquemático del sistema [5] organiza las funciones principales del producto en módulos independientes, mostrando su interacción y facilitando la planificación modular. A continuación, se describe una metodología para su elaboración:

1. Definir los objetivos del sistema.
 - Identificar el propósito general del sistema y las funciones principales que debe cumplir.
 - Establecer los requisitos clave, como eficiencia, modularidad, facilidad de integración y escalabilidad.
2. Analizar las funciones principales.
 - Desglosar el sistema en sus funciones esenciales y especificar qué tareas o procesos debe realizar.
 - Ejemplo: en un sistema de control de motor, funciones principales pueden incluir “entrada de datos”, “procesamiento”, “control del motor” y “visualización”.
3. Identificar los módulos del sistema.
 - Dividir las funciones principales en bloques modulares que representen subsistemas independientes. Cada módulo debe tener una tarea específica y bien definida.
 - Ejemplo: Sensores, unidad de procesamiento, actuadores, interfaz de usuario.
 - Asegurarse de que los módulos sean lógicos y estén separados según su función o propósito.
4. Establecer las interacciones entre módulos.

- Definir cómo los módulos se comunican entre sí (entradas y salidas). Estas interacciones pueden ser:
 - Físicas: Conexiones eléctricas, cables, componentes mecánicos.
 - Lógicas: Transmisión de datos o señales.
 - Representar estas interacciones mediante líneas, flechas o conectores en el diagrama.
5. Representar gráficamente el sistema.
- Dibujar los módulos en un diagrama utilizando figuras geométricas simples (rectángulos, círculos).
 - Conectar los módulos mediante flechas que indiquen el flujo de información, energía o material.
 - Incluir etiquetas claras para identificar los nombres y roles de cada módulo.
6. Revisar y validar el esquema.
- Verificar que el diagrama represente todas las funciones y relaciones relevantes del sistema.
 - Comprobar que los módulos estén organizados de manera lógica y que las interacciones estén bien definidas.
 - Consultar con el equipo de diseño para garantizar que el esquema es claro y útil para la planificación.
7. Documentar el diagrama.
- Agregar un título, leyenda y notas explicativas que describan los módulos y sus relaciones.
 - Guardar una versión actualizada del diagrama para futuras referencias en el diseño e implementación.

Capítulo 3

Diseño conceptual

En este capítulo se desarrolla el trabajo descrito en el capítulo 1 hasta el punto 1.5. Se inicia con la definición del problema en términos de ingeniería, estableciendo de manera clara los requisitos y restricciones del diseño. A continuación, se lleva a cabo una jerarquización de los atributos de diseño, priorizando aquellos que tienen un mayor impacto en el desempeño y viabilidad del prototipo.

Posteriormente, se realiza un análisis funcional, en el cual se identifican las funciones principales y secundarias que debe cumplir el diseño para satisfacer los requerimientos establecidos. Este análisis permite visualizar la relación entre los distintos componentes y optimizar la solución propuesta.

Finalmente, el capítulo concluye con la selección del diseño más adecuado, basada en un proceso de evaluación que considera criterios del cliente. Este proceso asegura que la opción elegida cumpla con los objetivos planteados y sea factible de implementar.

3.1. Contexto y definición del problema

El Grupo de Investigación en Materiales y Manufactura Avanzada (GRIMA) de la Universidad Técnica Federico Santa María se encuentra actualmente desarrollando investigaciones en electrodos basados en nanomateriales. Durante el proceso de fabricación y debido a las propiedades del material final, resulta necesario eliminar la primera capa de las probetas, ya que contiene impurezas que podrían afectar el desempeño de las piezas en aplicaciones futuras.

Para este propósito, el equipo GRIMA utiliza tecnología láser que permite remover

estas impurezas sin causar daño mecánico a las probetas. Específicamente, emplean un equipo de corte láser marca Trotec, modelo Speedy 400, ubicado en el campus San Joaquín de la universidad. Inicialmente, las pruebas se realizaron en probetas de geometría circular con un diámetro de 20 mm, las cuales no presentaron mayores dificultades para ser trabajadas con el equipo. Sin embargo, el siguiente paso en la investigación exige el procesamiento de modelos cilíndricos más pequeños, con un diámetro de 10 mm y un espesor de 1 mm.

Este nuevo desafío ha generado un obstáculo importante, ya que el equipo de corte láser disponible no está diseñado para trabajar con objetos tridimensionales, limitándose a superficies planas en 2D. Esto impide continuar con el desarrollo experimental de las probetas cilíndricas requeridas.

Ante esta limitación, el equipo GRIMA realizó una búsqueda de soluciones disponibles en el mercado, pero los dispositivos encontrados exceden el presupuesto del proyecto. Por esta razón, el grupo decidió solicitar el diseño y la fabricación de un prototipo que permita superar las restricciones del corte láser en 2D y haga posible trabajar con piezas cilíndricas en 3D. Este prototipo representa una solución económica y funcional que permitirá avanzar en la investigación de nanomateriales sin comprometer la viabilidad del proyecto.

3.2. Definición del problema en términos de ingeniería

Si se traduce la problemática del cliente a un lenguaje más directo e ingenieril, el objetivo principal de esta solicitud es diseñar un equipo complementario al sistema de corte láser existente en la universidad. Este equipo debe ser capaz de sostener las probetas y, al mismo tiempo, permitir el paso del láser a lo largo de toda la superficie de las mismas. Con la precaución de proteger el equipo de corte láser a toda costa y generando una solución fácil y sencilla tanto de utilizar como de mantener por los mismo investigadores.

3.2.1. Atributos del diseño

A continuación se muestra un listado de los atributos, los cuales se obtuvieron trabajando en conjunto al cliente:

- Rotar pieza cilíndrica.

- Sujeción de la pieza.
- Permitir diámetros distintos de pieza.
- Fácil de fabricar.
- Bajo costo de fabricación.
- Fácil de implementar.
- Delicadeza a la hora de sujetar la pieza.
- Largo de la pieza de hasta 90 cm.
- Espacio de trabajo: $100 \times 62 \times 20$ cm.
- Proteger el cañón láser.
- Sincronizar el paso del láser y el giro de la pieza.
- Correcta colocación dentro del equipo de corte láser.

3.2.2. Clasificación de los atributos

Los atributos se clasificarán en objetivos, funciones y restricciones, cada uno influyendo de manera diferente en el proceso de diseño. Los objetivos definirán las características que deben tenerse en cuenta al elegir conceptos, materiales y subconjuntos. Las funciones establecerán las tareas que el equipo debe ser capaz de realizar, mientras que las restricciones delimitarán el diseño al establecer las condiciones mínimas y los parámetros que no deben ser superados.

Objetivos	Restricción	Funciones
<ul style="list-style-type: none"> ■ Permitir diámetros distintos de pieza <ul style="list-style-type: none"> • Fácil de fabricar • Fácil de implementar ■ Delicadeza a la hora de sujetar la pieza ■ Proteger cañón láser ■ Largo de pieza de hasta 90 cm ■ Bajo costo de fabricación ■ Correcta colocación dentro del equipo de corte láser 	<p>Espacio de trabajo de 100 × 62 × 20 cm</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Rotar pieza cilíndrica ■ Generar giro ■ Sujeción de la pieza ■ Transmitir giro ■ Posicionar probeta ■ Controlar giro ■ Iniciar movimiento

Tabla 3.1: Tabla de Objetivos, Restricción y Funciones

3.2.3. Categorización de los atributos

Los atributos pueden agruparse según su similitud, lo que permite asignar una mayor relevancia al grupo que ejerza mayor influencia en el diseño. Este proceso implica clasificar los atributos en diferentes categorías: Performance, Protección y cuidado y Facilidad de uso y fabricación.

Performance	Protección y cuidado	Facilidad de uso y fabricación
<ul style="list-style-type: none"> ■ Permitir diámetros distintos de pieza ■ Largo de pieza de hasta 90 cm ■ Correcta colocación dentro del equipo de corte láser 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Delicadez a la hora de sujetar la pieza ■ Proteger el cañón láser 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fácil de fabricar ■ Fácil de implementar ■ Bajo costo de fabricación

Tabla 3.2: Tabla de características

3.2.4. Ponderación de los objetivos

Utilizamos el método descrito en la sección para generar la tabla 3.3 en la que podemos visualizar las distintas ponderaciones y jerarquización que tendrá cada categoría de atributo.

Criterios	Performance	Protección y cuidado	Facilidad de uso y fabricación	Total	Ponderación
Performance	1	3	0,3	4,3	33,59 %
Protección y cuidado	3	1	0,3	7	54,69 %
Facilidad de uso y fabricación	0,3	0,2	1	1,5	11,72 %
Total				12,8	100,00 %

Tabla 3.3: Tabla de criterios y ponderaciones.

3.2.5. Listado de atributos argumentados

Siguiendo con la metodología mencionada en 3.2.4 y con la descripción dada en la sección 1.3.5 podemos obtener la siguiente tabla resumen:

1. Protección y cuidado (54,69 %)	2. Performance (33,59 %)	3. Facilidad de uso y de fabricación (11,72 %)
1.1 Proteger el cañón láser (43,75 %)	2.1 Largo de pieza hasta 90 cm (16,44 %)	3.1 Fácil de fabricar (7,89 %)
1.2 Delicadez a la hora de sujetar pieza (10,94 %)	2.2 Correcta colocación dentro del equipo de corte láser (11,75 %)	3.2 Fácil de implementar (2,03 %)
	2.3 Permitir diámetros distintos de pieza (5,40 %)	3.3 Bajo costo de fabricación (1,80 %)

Tabla 3.4: Distribución de criterios y subcriterios por categoría.

La tabla 3.4 muestra el orden y relevancia de los distintos atributos, mostrando su orden y sus pesos absolutos en el diseño.

3.3. Análisis Funcional

Como se menciona en la sección 1.4.1 comenzaremos nuestro análisis funcional realizando nuestro diagrama de caja negra sobre nuestro prototipo, expuesto en la figura 3.1.



Figura 3.1: Caja negra de nuestro dispositivo rotatorio

Notamos tres entradas y tres salidas de nuestra caja negra, vemos que ingresa nuestro actor principal que es la probeta, energía para nuestro proceso y señal proveniente del operador. Al lado derecho, en la salida, nos encontramos con la misma probeta post proceso de desbaste, desperdicios y pérdidas de energía en forma de calor y ruido.

Antes de indagar más en el funcionamiento de nuestro prototipo, debemos esquematizar de manera clara todas las funciones que debería cumplir nuestro dispositivo, ver figura 3.2.

de energía para alimentar nuestro equipo, las probetas sobre las que se trabajarán y acciones del operador; este último será agente importante para el funcionamiento de nuestro dispositivo, él será el encargado de configurar el giro, posicionar de manera correcta la probeta e iniciar el ciclo de trabajo, la energía se utilizara ,como se mencionó anteriormente, para generar el movimiento y será transmitido hacia la probeta.

3.4. Generación y evaluación de conceptos

Como se mencionó en la sección 1.5 el primer paso para generar los conceptos de diseño es la búsqueda de información, a continuación se presenta a modo de resumen los resultados de la búsqueda externa.

Cabe destacar que esta búsqueda va orientada a tecnologías que nos permitan realizar las funciones descritas en el ítem 3.3.

- Para generar el giro: Es evidente que a la hora de pensar en generar algún movimiento de giro en la época actual inmediatamente se llega a un consenso de un motor eléctrico pero, cual sera el tipo adecuado para este trabajo, se busco la información de dos tipos de motor el cuales son los motores paso a paso (step-motor) o servomotor.

Característica	Motor Paso a Paso	Servomotor
Principio de funcionamiento	Movimiento por pasos discretos controlados eléctricamente	Control de posición mediante bucle de retroalimentación
Control	Abierto (sin necesidad de retroalimentación)	Cerrado (requiere un sistema de retroalimentación)
Precisión de posición	Alta (determinada por el número de pasos por vuelta)	Muy alta (gracias al control de retroalimentación)
Velocidad	Moderada, disminuye con cargas pesadas	Alta, mantiene el par incluso a altas velocidades
Par a bajas velocidades	Alto	Moderado
Par a altas velocidades	Disminuye significativamente	Se mantiene estable
Respuesta dinámica	Lenta en comparación con el servomotor	Rápida, ideal para aplicaciones dinámicas
Consumo de energía	Alto incluso en reposo (para mantener la posición)	Eficiente; consume menos energía en reposo
Complejidad del control	Simple (control directo de pasos)	Complejo (requiere controlador PID o similar)
Costo	Menor	Mayor
Aplicaciones típicas	Impresoras 3D, CNC pequeños, robots de precisión	Robótica industrial, automatización, drones

Tabla 3.5: Comparación entre motor paso a paso y servomotor.

- Sujeción de probeta: A la hora de sujetar las probetas se encontró 3 sistemas que podrían solucionar nuestra problemática; sistema de prensa-riel, sistema de 3 pinzas (plato de torno) y polines de apoyo.

Técnica de sujeción	Descripción	Ventajas	Desventajas
Sistema de prensa-riel	Consiste en una prensa que se desliza a lo largo de un riel, permitiendo ajustar la posición de la probeta con precisión. Este sistema es común en ensayos de materiales donde se requiere una sujeción firme y ajustable.	<ul style="list-style-type: none"> • Ajuste preciso de la posición de la probeta. • Firmeza en la sujeción. • Versatilidad para diferentes tamaños de probetas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede requerir un tiempo adicional para el ajuste. • Dependiendo del diseño, puede tener limitaciones en cuanto al tamaño máximo de la probeta.
Sistema de 3 pinzas (plato de torno)	Utiliza un plato de torno con tres mordazas que se ajustan automáticamente para sujetar la probeta. Es ideal para piezas cilíndricas y se emplea en procesos de mecanizado y ensayos que requieren una sujeción centrada y uniforme.	<ul style="list-style-type: none"> • Sujeción centrada y uniforme. • Rápido ajuste de la probeta. • Alta estabilidad durante el ensayo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitado a probetas con geometría adecuada. • Puede generar marcas o daños en la superficie de la probeta.
Polines de apoyo	Consiste en rodillos de apoyo sobre los cuales se coloca la probeta, permitiendo movimiento relativo. Se usa en ensayos que requieren desplazamiento libre o cargas distribuidas.	<ul style="list-style-type: none"> • No genera puntos de presión elevados. • Permite movimiento controlado. • Aplicable a diferentes tipos de ensayos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor estabilidad si no se combina con otro mecanismo de sujeción. • Puede haber deslizamientos indeseados.

Tabla 3.6: Comparación de técnicas de sujeción de probetas

- Transmisión del giro: Para transmitir la potencia desde el sistema que genera el giro hasta el sistema sujeta la probeta es natural que debe haber una conexión mecánica entre estos sub-sistemas, para esto se encontraron dos posibles soluciones; correa de transmisión y sistema de engranajes.

Técnica de transmisión	Descripción	Ventajas	Desventajas
Correa de transmisión	Utiliza una correa flexible que conecta dos poleas, transmitiendo movimiento y potencia entre ellas. Es común en aplicaciones industriales y automotrices.	<ul style="list-style-type: none"> • Operación silenciosa. • Capacidad de absorber vibraciones. • Permite distancias considerables entre ejes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posible deslizamiento bajo cargas elevadas. • Requiere mantenimiento y ajuste de tensión periódicos. • Menor eficiencia en comparación con engranajes.
Sistema de engranajes	Consiste en ruedas dentadas que engranan directamente entre sí para transmitir movimiento y potencia. Se emplea en maquinaria que requiere transmisión precisa y sin deslizamiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Transmisión de potencia sin deslizamiento. • Alta eficiencia y precisión. • Adecuado para altas cargas y velocidades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Genera más ruido durante la operación. • Menor capacidad para absorber vibraciones. • Requiere lubricación y mantenimiento específicos.

Tabla 3.7: Comparación de técnicas de transmisión de potencia

- Posicionamiento de probeta: Como se menciona en la sección anterior y como se demuestra en la 3.3 el posicionamiento sera realizado de manera manual pero, ¿como podemos asegurarnos de que sea correcta? esto se intenta responder con la búsqueda de información, se visualizaron dos opciones una plantilla de trabajo o un sistema de sujeción auto-centrado.

Método de posicionamiento	Descripción	Ventajas	Desventajas
Plantilla de trabajo	Dispositivo o guía que asegura la correcta colocación de la probeta, evitando errores humanos y garantizando la repetibilidad en el posicionamiento. Este enfoque se alinea con la metodología Poka-Yoke, que busca prevenir errores en procesos de manufactura. [?]	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de errores humanos. • Mejora en la consistencia del posicionamiento. • Fácil de implementar y utilizar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede requerir fabricación personalizada para diferentes probetas. • Menor flexibilidad ante cambios en el diseño de la probeta.
Sistema de sujeción auto-centrado	Mecanismo que ajusta automáticamente la probeta en una posición central y alineada, asegurando una sujeción uniforme y precisa durante el ensayo. [?]	<ul style="list-style-type: none"> • Alineación automática y precisa. • Reducción del tiempo de preparación. • Adaptabilidad a diferentes tamaños y formas de probetas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor complejidad mecánica. • Coste de adquisición y mantenimiento más elevado.

Tabla 3.8: Comparación de métodos para el posicionamiento de probetas

- **Controlar giro:** Como siempre se pensó en un motor eléctrico de dimensiones pequeñas es natural que para controlar el giro de este se piensa en una placa de arduino o algún sistema complementario. A continuación se presenta la informa-

ción encontrada.

Modelo	Función principal	Usos comunes	Características clave
Arduino Uno	Desarrollo general y aprendizaje	Prototipos, automatización básica, sensores	Microcontrolador ATmega328P, 14 pines digitales, 6 entradas analógicas, 16 MHz
Arduino Mega	Proyectos avanzados con múltiples conexiones	Robótica, automatización industrial, impresoras 3D	Microcontrolador ATmega2560, 54 pines digitales, 16 entradas analógicas
Arduino Nano	Desarrollo compacto y portátil	Dispositivos portátiles, wearables, sensores	Similar al Uno, pero en tamaño reducido, puerto mini-USB
Arduino Micro	Integración en proyectos embebidos	Controladores personalizados, HID (teclado/ratón)	ATmega32U4, conexión USB nativa
Arduino Due	Alto rendimiento y procesamiento	Aplicaciones científicas, procesamiento de señales	Microcontrolador ARM Cortex-M3, 32 bits, 84 MHz
Arduino Leonardo	Conexión USB nativa y simulación de dispositivos	Interfaces personalizadas, emulación de teclado o ratón	ATmega32U4, USB nativo, similar al Micro
Arduino MKR	Conectividad IoT y baja potencia	Monitoreo remoto, IoT, redes LoRa, Wi-Fi, GSM	Múltiples variantes con Wi-Fi, GSM, LoRa, bajo consumo energético
Arduino Portenta	Alto rendimiento para IA y aplicaciones industriales	Visión artificial, IoT industrial, procesamiento paralelo	Procesadores de 32 bits, capacidad de computación avanzada

Tabla 3.9: Resumen de modelos de Arduino y sus características

- Iniciar movimiento: Desde un origen siempre se pensó utilizar energía eléctrica para alimentar nuestro dispositivo, la pregunta era de donde y como íbamos a

controlar esta energía, debido a que uno de los requerimientos fue facilidad de uso e implementación inmediatamente se pensó en una conexión a la red eléctrica con un interruptor, este interruptor tiene la función de iniciar el ciclo de trabajo.

3.4.1. Carta morfológica

La información y alternativas mostradas en la sección anterior sirven para crear la carta morfológica descrita en la sección 2.4.















Función	Concepto		
Generar giro	Servomotor 	Motor paso a paso 	
Sujeción de probeta	Riel-prensa 	Plato de torno 	Polines de apoyo 
transmisión del giro	Correo de transmisión 	Sistema de engranajes 	
Posicionamiento probeta	Plantilla de trabajo 	Sistema auto centrado 	
Controlar giro	Arduino Uno 	Arduino Nano 	Arduino Mega 
Iniciar movimiento	Batería externa 	Conexión a red 	

Figura 3.4: Carta morfológica

3.4.2. Conceptos

Con toda la información recolectada y mostrada en la carta morfológica, se procede a la generación de 3 conceptos de diseño que utilizan distintas soluciones físicas.

- Concepto 1: Rodillos de apoyo”: Se utilizan rodillos de apoyo para sujetar la probeta al mismo tiempo que se utilizan para rotar la pieza, se utiliza un sistema de poleas con una correa de transmisión para transmitir el giro del motor paso a paso (controlado por arduino uno), este concepto se ideó que utilizara como

fuentes de energía una conexión a la red eléctrica local. El posicionamiento de la probeta se realiza mediante plantillas de trabajo (ver figura 3.5).

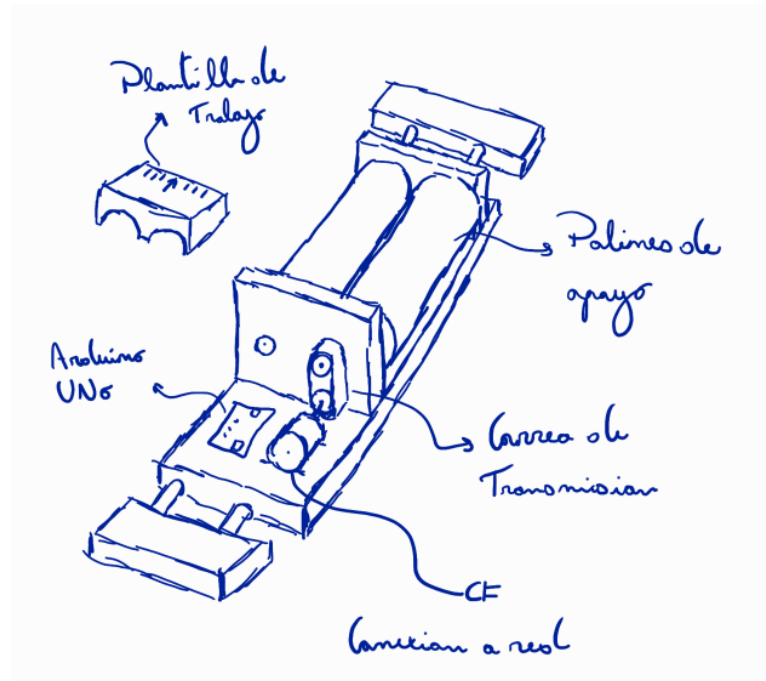


Figura 3.5: Boceto concepto 1 de diseño.

- Concepto 2: Riel prensa: Se utiliza un sistema de prensa que se apoya sobre un riel para desplazarse a lo largo de todo el prototipo, donde una parte quedaría fija y otra parte sería móvil, el uso sería manual donde el operador sería el encargado de generar el apriete de la prensa. Se idea con un servomotor (mas arduino nano) conectado a una fuente de voltaje (batería) para generar el movimiento, este último sería transmitido a través de una cadena cinemática de ruedas dentadas (ver figura 3.6).

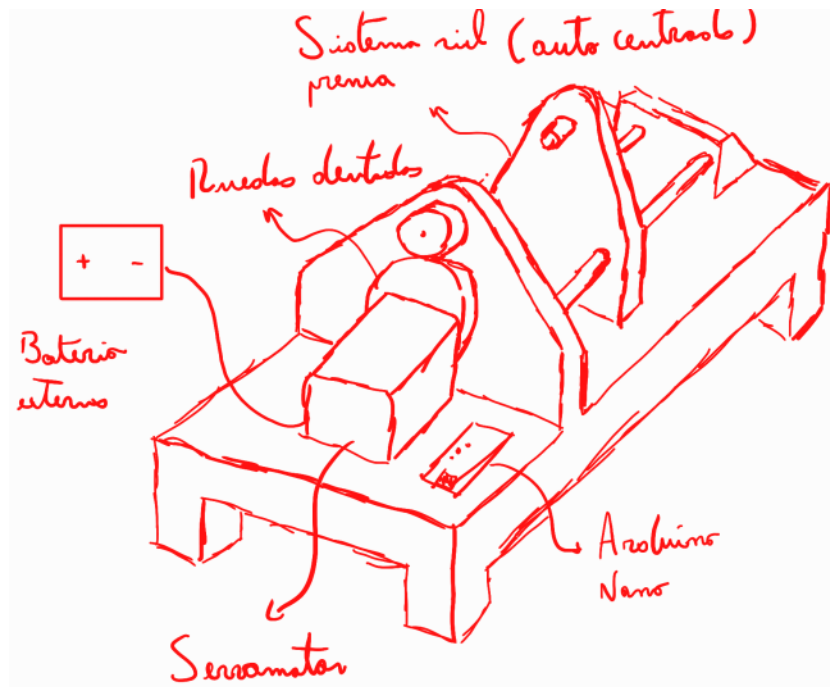


Figura 3.6: Boceto concepto 2 de diseño.

- Concepto 3: Este concepto utiliza un plato de torno para la sujeción de la probeta con un sistema de riel para auto posicionar el elemento. Para generar el giro hace uso de un motor paso a paso controlado por un arduino mega los cuales se alimentan de una conexión a red, por ultimo para transmitir el giro se utiliza una correa de transmisión (ver figura 3.7).

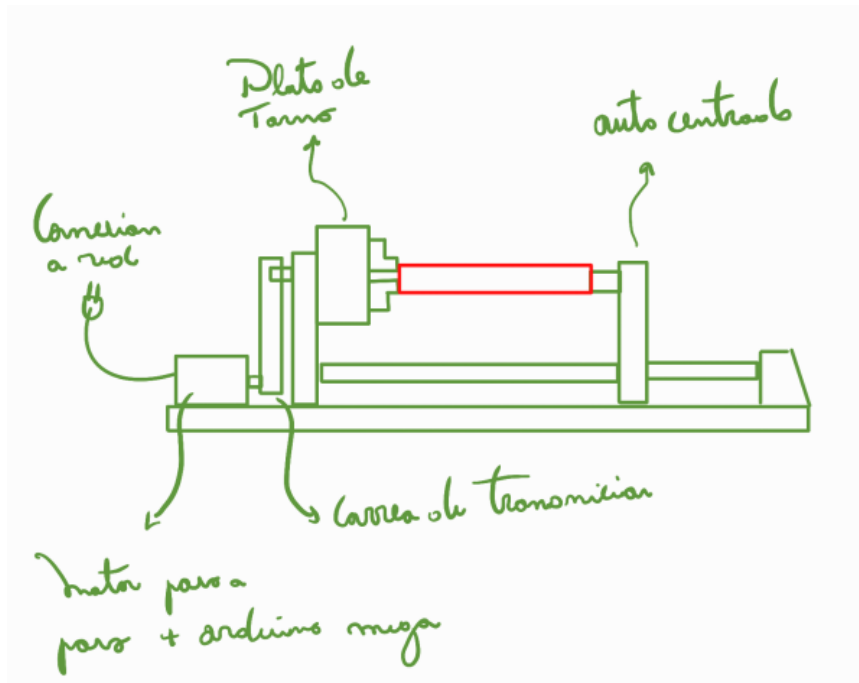


Figura 3.7: Boceto concepto 3 de diseño.

3.4.3. Selección de concepto

Según la metodología explicada en la sección 2.5 como criterios de evaluación se eligen los objetivos de diseño expuestos en la tabla 3.4.

El método de evaluación se entiende como: 5 cumple el criterio de diseño de la mejor manera, 3 cumple el criterio de diseño pero no a cabalidad, 1 no cumple o se aleja del criterio de diseño.

A continuación mostramos los resultados de nuestra selección de concepto ver tabla 3.10

Criterios	Peso Absoluto	Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3	
		Evaluación	Peso	Evaluación	Peso	Evaluación	Peso
Proteger el cañón láser	43,75 %	5	2,19	3	1,31	1	0,44
Delicadeza al sujetar la pieza	10,94 %	5	0,55	3	0,33	3	0,33
Largo de pieza hasta 90 cm	16,44 %	5	0,82	5	0,82	5	0,82
Correcta colocación en el equipo	11,75 %	3	0,35	5	0,59	5	0,59
Permitir diámetros distintos	5,40 %	5	0,27	3	0,16	5	0,27
Fácil de fabricar	7,89 %	5	0,39	3	0,24	1	0,08
Fácil de implementar	2,03 %	5	0,10	3	0,06	3	0,06
Bajo costo de fabricación	1,80 %	5	0,09	3	0,05	1	0,02
Puntaje total		4,77		3,56		2,60	
Ranking		1		2		3	

Tabla 3.10: Evaluación de conceptos

Como conclusión de los resultados entregados en la tabla 3.10 podemos notar que el concepto 1 (ver imagen 3.5) es el que mejor soluciona los problemas de diseño vistos a través de los criterios dados por el cliente.

Capítulo 4

Realización del diseño

En este capítulo se da continuidad al trabajo finalizado en la etapa de diseño conceptual, avanzando conforme a lo especificado en el capítulo 1.

El capítulo concluye con el diseño detallado de las piezas que conforman el prototipo, incluyendo sus dimensiones, materiales y especificaciones técnicas. Además, se presenta una vista en conjunto del prototipo, permitiendo una comprensión global de su estructura y funcionamiento.

4.1. Arquitectura del diseño

El siguiente paso en el proceso de diseño consiste en seleccionar el tipo de arquitectura a emplear. Según lo observado en la carta morfológica y en los conceptos propuestos, las funciones que debe cumplir el dispositivo pueden llevarse a cabo mediante componentes independientes que operan en conjunto. Este enfoque es adecuado para implementar un sistema de arquitectura modular. Dentro de esta arquitectura, existen distintas variaciones según la manera en que los módulos se relacionan y colaboran entre sí. En este caso, la opción más adecuada es la arquitectura tipo "slot", donde cada módulo ocupa una posición específica y no puede intercambiarse con otro.

4.1.1. Diagrama esquemático del sistema

Realizamos un diagrama de componentes y funciones mostrado en la figura 4.1 para la generación de tres módulos distintos de trabajo y sus relaciones.

- Powertrain: Modulo encargado de la generación y transmisión del movimiento,

desde el motor eléctrico hacia los rodillos de apoyo. Este modulo cuenta con elementos como; motor eléctrico, correa de transmisión, poleas de transmisión. Mas adelante se detalla el diseño y selección de cada de los componentes y su disposición en conjunto.

- Modulo de trabajo: Modulo encargado de sujetar correctamente la probeta para el trabajo sobre esta. Acá encontramos los rodillos de apoyo, rodamientos y elementos comerciales que permiten el buen funcionamiento de este modulo.
- Modulo de electro-control: Modulo encargado de controlar los movimientos del dispositivo. En este encontramos; arduino, driver para el motor eléctrico, transformador y botón de inicio de la operación.

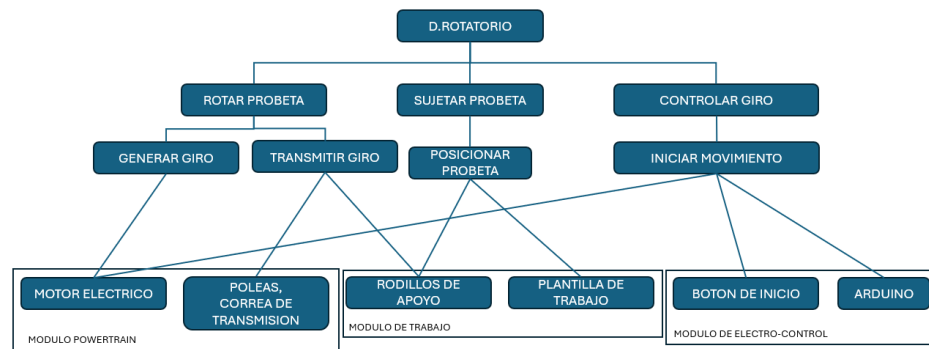


Figura 4.1: Diagrama de componentes y funciones de la arquitectura del diseño.

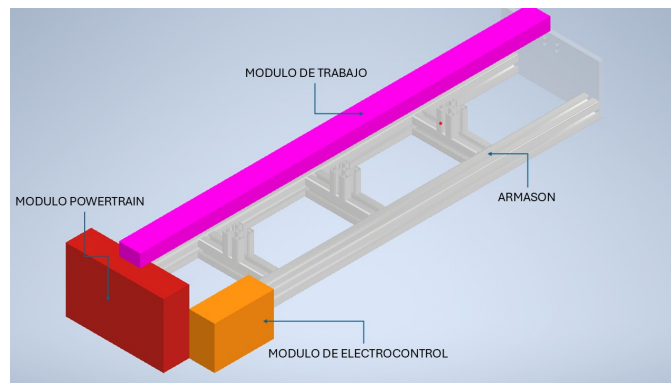


Figura 4.2: Rendimiento 3D de los módulos de trabajo y su disposición.

En la figura 4.2 se observa el desplazamiento físico de los distintos módulos mencionados anteriormente. Además, se distingue una armazón encargada de sostener todos los módulos de manera adecuada.

4.2. Configuración del diseño

Después de definir el concepto en módulos y sus interacciones, es fundamental determinar los componentes esenciales y realizar una primera estimación de los elementos finales. Asimismo, es necesario identificar los componentes estándar disponibles en el mercado que formarán parte del diseño y establecer los criterios para su selección.

Primero, se elaborará un esquema general de las partes y la configuración de cada módulo mencionado en la sección 2.6. Posteriormente, se procederá con la selección o el diseño de los elementos clave.

■ 4.2.1. Modulo de trabajo:

Este subsistema consta de dos rodillos de apoyo que se encargan de sostener y girar las probetas de nanomateriales para su proceso de pulido, además de los apoyos respectivos que necesitan estos rodillos para su correcto giro. El detalle de todos sus elementos se nota en la figura 4.3.

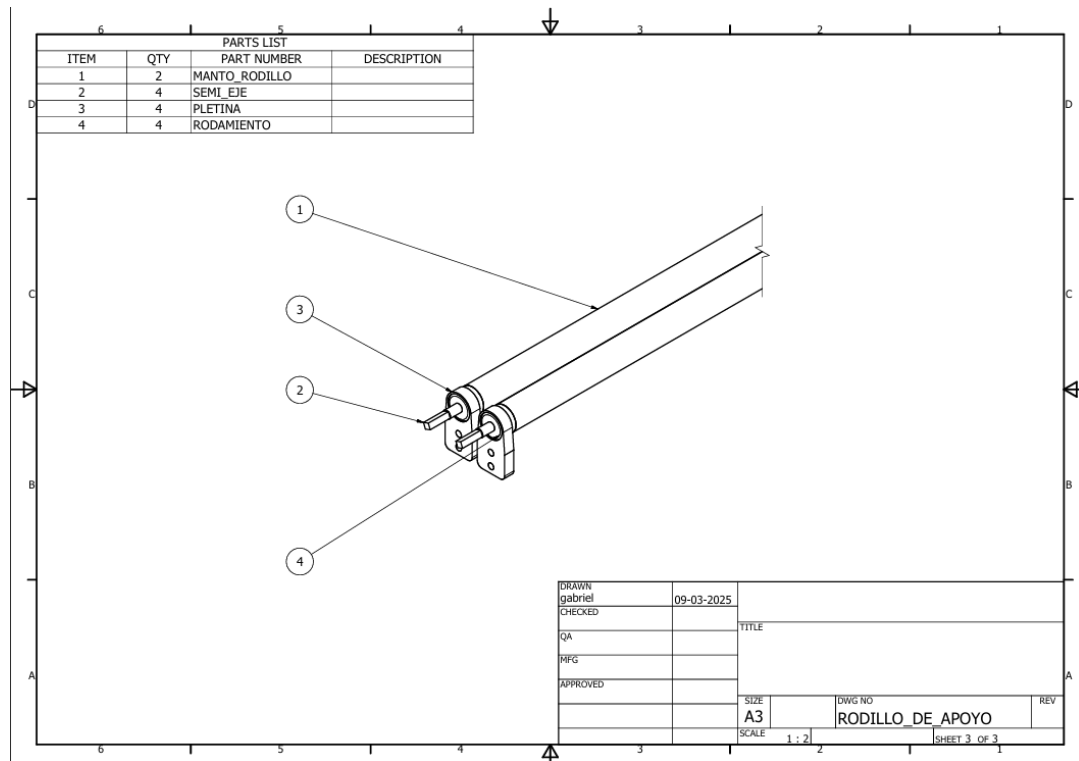


Figura 4.3: Plano que muestra los elementos pertenecientes al modulo de trabajo.

- Manto de rodillo: Estos son los elementos principales de nuestro prototipo ya que son los encargados de sujetar y rotar las probetas para su pulido. El diseño de estos elementos tiene como parámetro de entrada las dimensiones de la probeta (diámetro y largo). En la figura 4.4 notamos las dimensiones tanto de diámetro y separación que deben tener nuestro rodillos de apoyo.

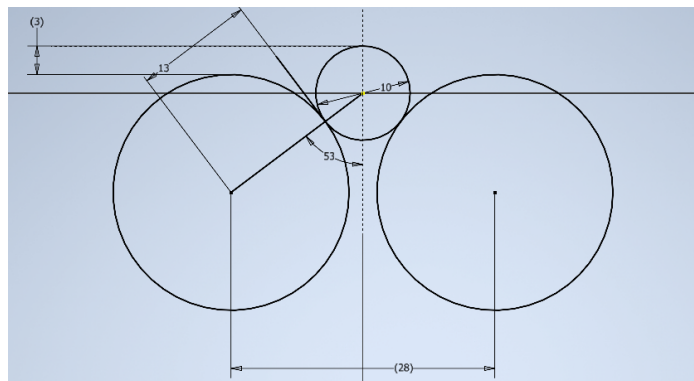


Figura 4.4: Esquema que muestra el diámetro y separación de los rodillos de apoyo.

Para la obtención de estas dimensiones se decidió por seguir un método gráfico utilizando como herramienta el software de modelado Autodesk Inventor, como diámetro de probeta se decidió dejar en 10 mm ya que es la medida estándar de probeta, para empezar el proceso de diseño se decidió fijar el diámetro de rodillo $D = 25$ mm ya que es una medida relativamente estándar y fácil de encontrar en el mercado nacional ya sea en perfil de material sólido o tuberías de distintos materiales, con este valor se empezó a iterar el ángulo de contacto entre la probeta y los rodillos, se buscó que primeramente evitara choques entre los rodillos de apoyo, evitara la caída del elemento a rotar entre el espacio de los rodillos y un despeje relativamente seguro entre la parte superior de la probeta y la parte superior de los rodillos (esto como medida de seguridad para evitar choques del cañón láser).

Finalmente las dimensiones quedaron:

- Diámetro rodillos de apoyo (D) = 25 [mm]

- Separación entre rodillos (T) = 28 [mm]

- Ángulo de contacto (α) = 53 [°]

- Despeje (C) = 3 [mm]

Como materia prima se decidió utilizar barras sólidas de poliamida de 1" de diámetro [7], debido a su bajo costo, bajo peso y facilidad de mecanizado.

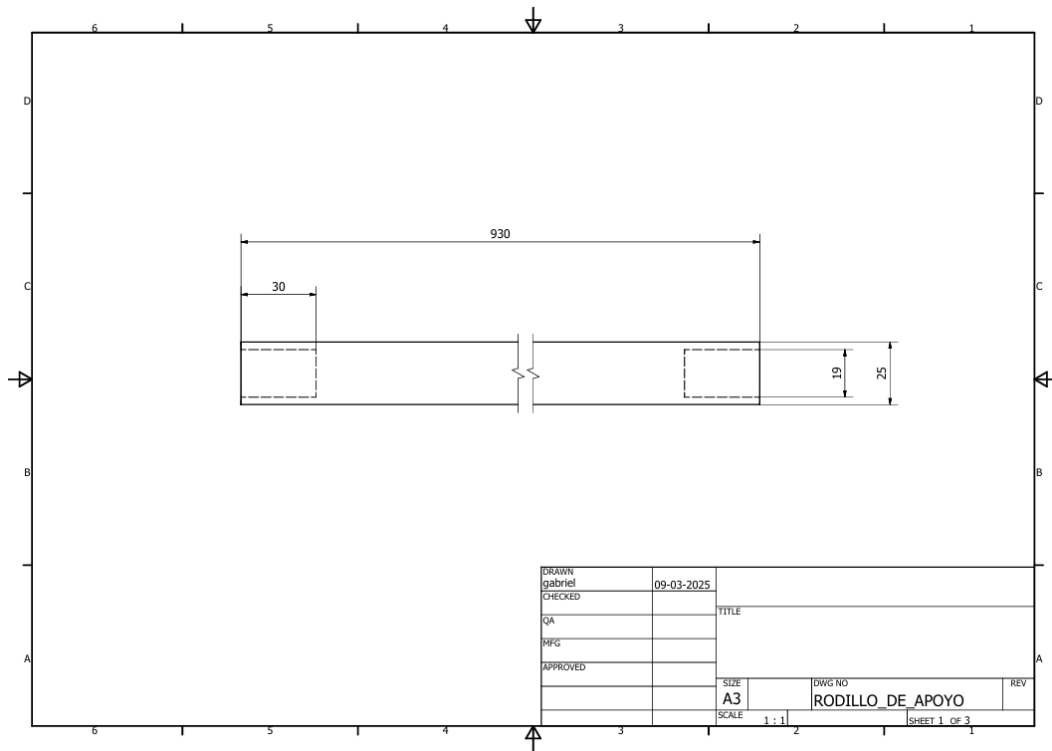


Figura 4.5: Plano del manto del rodillo.

- Semi eje: Observando la figura 4.3 notamos que este elemento que complementa al manto de rodillo, es por esta razón que sus dimensiones las dictamina este elemento.

Esta pieza cuenta con un largo total de 75 mm de largo, donde se encuentra dividida en cuatro secciones de diferente diámetro y perfil. La primera sección es de forma circular y de 19,1 mm de diámetro y 28 mm de largo (esta parte se introduce con interferencia en los agujeros del manto de rodillo ver figura 4.5), a continuación se encuentra otra sección circular de 25 mm de diámetro y 5 mm de largo que actúa como tope, después sigue otra sección circular de diámetro de 8 mm y 23 mm de largo (en esta sección ira apoyado el rodamiento con interferencia), por último ocurre un cambio de sección (sección cuadrada L = 5,7 mm) de largo de 30 mm. (ver figura 4.6)

Se decidió utilizar tochos de aluminio como materia prima debido a su facilidad de mecanizado y resistencia ajustada para el trabajo.

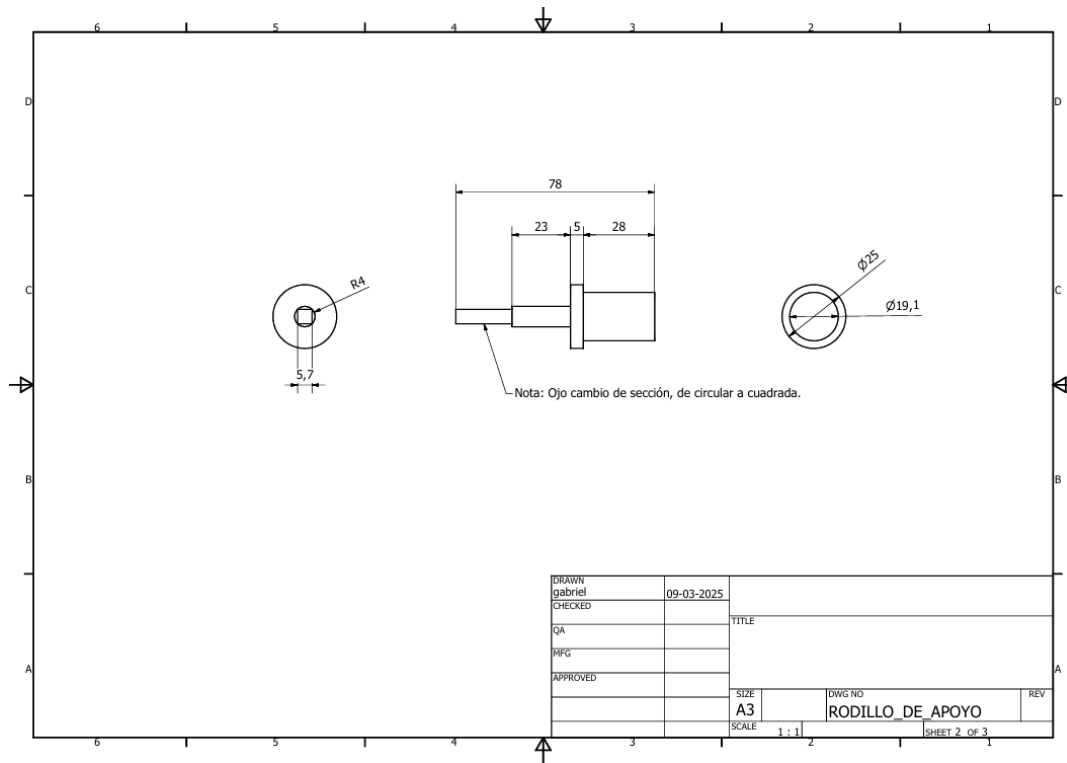


Figura 4.6: Plano Semi eje.

4.2.2. Modulo de Powertrain:

Este módulo es el encargado de generar y transmitir el movimiento; se incluyen elementos como motor-eléctrico, correa de transmisión, poleas, etc.

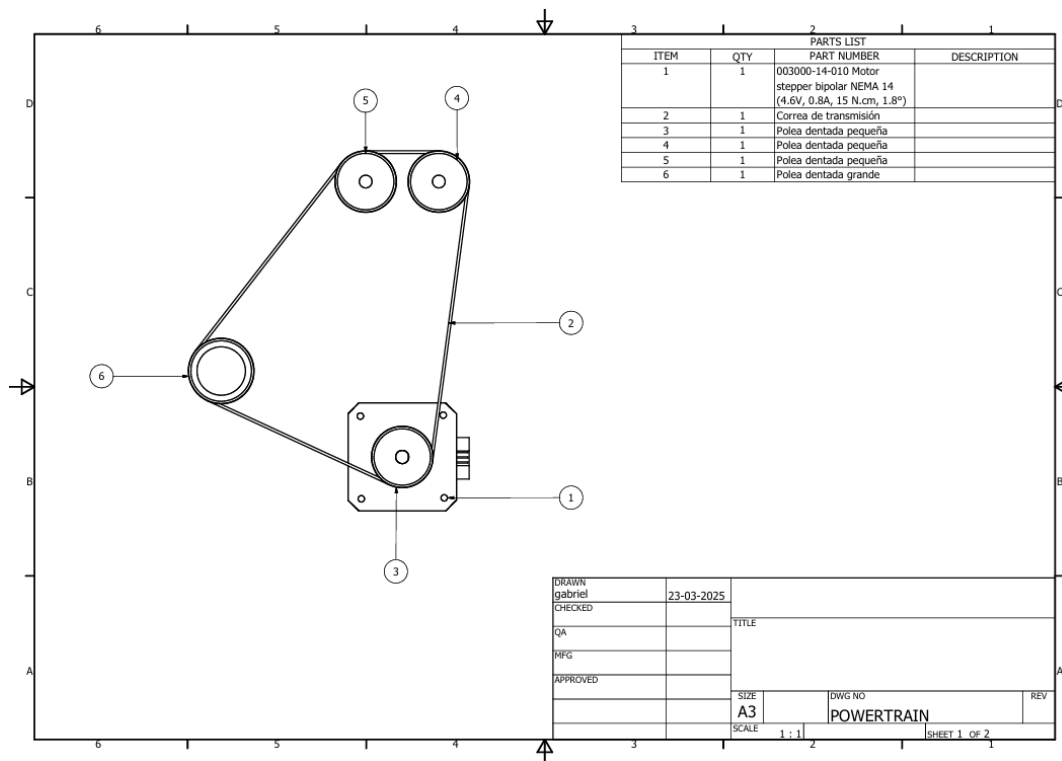


Figura 4.7: Plano conjunto Powertrain.

En la figura 4.7 se notan los elementos principales que componen este módulo.

- Motor Eléctrico:

Como primera instancia se selecciona inmediatamente el motor en específico Nema 14 [8] debido a su alto uso en equipos de impresión 3D (específicamente modelo Ender V3), dejando un buen estigma sobre la capacidad y confiabilidad de este elemento. Pero aún así se decidió realizar un cálculo sobre el torque necesario para esta aplicación.

Cimech 3D	
Tipo de motor	Paso a paso bipolar
Ángulo desplazamiento	1.8°/paso
Torque (Holding)	15 N.cm
Voltaje de operación	4.06 V
Corriente máxima/fase	0.8 A
Resistencia de una fase	5.8 ohms
Inductancia	6.5 mH ± 20% (1KHz)
Número de cables	4

Figura 4.8: Especificaciones técnicas entregadas por el distribuidor.

Como caso de estudio se analiza el factor de servicio, tomando como indicador el torque necesario para mover el sistema con movimientos suaves y controlados.

Datos del Problema

- Cantidad de cilindros: $n = 2$
- Diámetro de cada cilindro: $d = 25 \text{ mm} = 0,025 \text{ m}$
- Radio de cada cilindro: $r = \frac{d}{2} = 0,0125 \text{ m}$
- Longitud de cada cilindro: $L = 93 \text{ cm} = 0,93 \text{ m}$
- Densidad del material: $\rho = 1,3 \text{ g/cm}^3 = 1300 \text{ kg/m}^3$
- Torque del motor: $\tau_m = 15 \text{ Ncm}$

Cálculo del Volumen de un Cilindro

El volumen de un cilindro se obtiene con la ecuación:

$$V = \pi r^2 L \quad (4.1)$$

Sustituyendo valores:

$$V = \pi(0,0125)^2(0,93)$$

$$V = \pi(0,00015625)(0,93)$$

$$V = \pi(0,0001453125)$$

$$V \approx 0,0004564 \text{ m}^3$$

Cálculo de la Masa de un Cilindro

La masa de cada cilindro se obtiene con:

$$m = \rho V \quad (4.2)$$

Sustituyendo valores:

$$m = (1300)(0,0004564)$$

$$m \approx 0,5933 \text{ kg}$$

Para dos cilindros:

$$m_{\text{total}} = 2 \times 0,5933 = 1,1866 \text{ kg} \quad (4.3)$$

Cálculo del Momento de Inercia

El momento de inercia para un cilindro girando sobre su propio eje es:

$$I = \frac{1}{2}mr^2 \quad (4.4)$$

Sustituyendo valores:

$$I = \frac{1}{2}(1,1866)(0,0125)^2$$

$$I = \frac{1,1866}{2}(0,00015625)$$

$$I = 0,5933 \times 0,00015625$$

$$I \approx 0,0000927 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Cálculo del Torque Requerido

El torque necesario es:

$$\tau_r = I\alpha \quad (4.5)$$

Asumiendo una aceleración angular de $\alpha = 1 \text{ rad/s}^2$:

$$\tau_r = 0,0000927 \times 1$$

$$\tau_r = 0,0000927 \text{ Nm}$$

Convertimos a Ncm:

$$\tau_r = 0,0000927 \times 100$$

$$\tau_r = 0,00927 \text{ Ncm}$$

Cálculo del Factor de Servicio El factor de servicio se obtiene con:

$$FS = \frac{\tau_m}{\tau_r} \quad (4.6)$$

Sustituyendo valores:

$$FS = \frac{15}{0,00927}$$

$$FS \approx 1618$$

Conclusión

- El torque requerido para mover los dos cilindros es 0,00927 Ncm.
- El factor de servicio del motor es 1618, lo que indica que el motor está sobre-dimensionado y apto para los trabajos a realizar.

■ Correa de transmisión:

Para usos donde se necesita precisión en los movimientos, según la literatura, se recomienda correas dentadas (sincronizadoras). Para el tipo de motor que seleccionamos anteriormente se disponen de los modelos GT3 u GT2 (ofrecidas por el mismo distribuidor) de distintos espesores. Se selecciono un modelo de la gama GT3 de 6 mm debido a su alta disponibilidad en el mercado, al igual que con el caso anterior se realiza un calculo para verificar su buen funcionamiento.

Datos del Problema

- Torque del motor: $\tau_m = 15 \text{ Ncm}$
- Torque requerido: $\tau_r = 0,00927 \text{ Ncm}$
- Velocidad del motor: $N = 1000 \text{ RPM}$
- Diámetro de los cilindros: $d = 25 \text{ mm}$

- Masa total: $m_{total} = 1,1866$ kg
- Correa a evaluar: GT3 de 6 mm de ancho

Cálculo de la Potencia Transmitida

La potencia mecánica transmitida se calcula como:

$$P = \tau \cdot \omega \quad (4.7)$$

Donde:

- $\tau = 0,15$ Nm (convertido de 15 Ncm)
- La velocidad angular en radianes por segundo:

$$\omega = \frac{N \cdot 2\pi}{60} \quad (4.8)$$

$$\omega = \frac{1000 \times 2\pi}{60} = 104,72 \text{ rad/s} \quad (4.9)$$

Por lo tanto:

$$P = 0,15 \times 104,72 \quad (4.10)$$

$$P \approx 15,71 \text{ W} \quad (4.11)$$

Capacidad de Transmisión de la Correa GT3 de 6 mm

Para una correa GT3 de 6 mm de ancho, las especificaciones típicas indican que puede transmitir:

$$\tau_{capacidad} \approx 120 \text{ Ncm} \quad (4.12)$$

Cálculo del Factor de Seguridad

El factor de seguridad se obtiene con:

$$FS = \frac{\tau_{capacidad}}{\tau_r} \quad (4.13)$$

Sustituyendo valores:

$$FS = \frac{120}{0,00927} \quad (4.14)$$

$$FS \approx 12950 \quad (4.15)$$

Conclusión

- El torque requerido para la aplicación es muy bajo comparado con la capacidad de la correa.
- La correa GT3 de 6 mm está sobre-dimensionada, proporcionando un alto margen de seguridad.

■ Polea de transmisión:

El diseño de las poleas se realizó en base a las especificaciones de la correa seleccionada, tomando como dato clave su paso de 3 mm y espesor de 6 mm.

Con estos datos se pudo construir el perfil de la polea en el software Inventor.

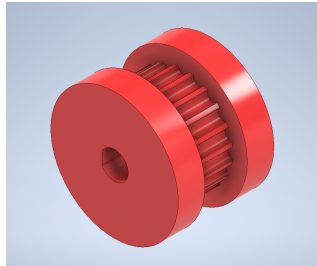


Figura 4.9: Modelado 3D de polea de transmisión.

Este elemento se manufacturará a través de la tecnología de corte láser utilizando como materia prima planchas de 10 mm de espesor de acrílico para la parte de los dientes; para las tapas se utilizarán planchas del mismo material, pero de 4 mm de espesor.

■ 4.2.3. Modulo de electro-control:

Este módulo cumple con el rol de controlar el giro de nuestro motor eléctrico y también de dar puesta en marcha a nuestro dispositivo. Para lograr esto se necesita:

- Driver de motor compatible (recordar que nuestro motor es un Nema 14), según catalogo corresponde a un TB 6600.
- Robot arduino programable, en este caso se selecciono un modelo UNO debido a su simplicidad y facil uso.
- Transformador capaz de cambiar el voltaje de 220 a 20 V aprox.
- Interruptor simple con 4 conexiones.

El principio de funcionamiento de este sistema es el siguiente: el Arduino convierte las instrucciones ingresadas por el usuario en lenguaje computacional. Estas interpretaciones se envían al driver, que las transforma en pulsos eléctricos para controlar el movimiento del motor. El transformador se utiliza para alimentar el driver, y es en esta etapa donde se implementa la puesta en marcha del sistema.

Cuando el Arduino se enciende, comienza a enviar señales al driver para controlar el motor. Sin embargo, el driver no enviará los pulsos eléctricos al motor hasta que reciba alimentación a través del interruptor.

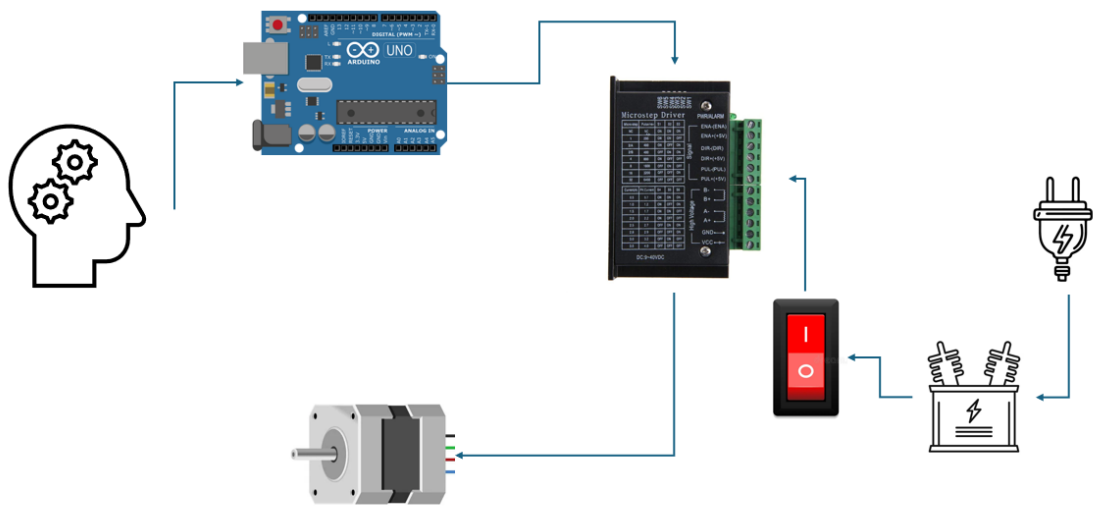


Figura 4.10: Diagrama logico modulo electrocontrol.

En esta sección aprovechamos también para mostrar el plano eléctrico que muestra las conexiones específicas entre el driver y el Arduino (ver imagen 4.11)

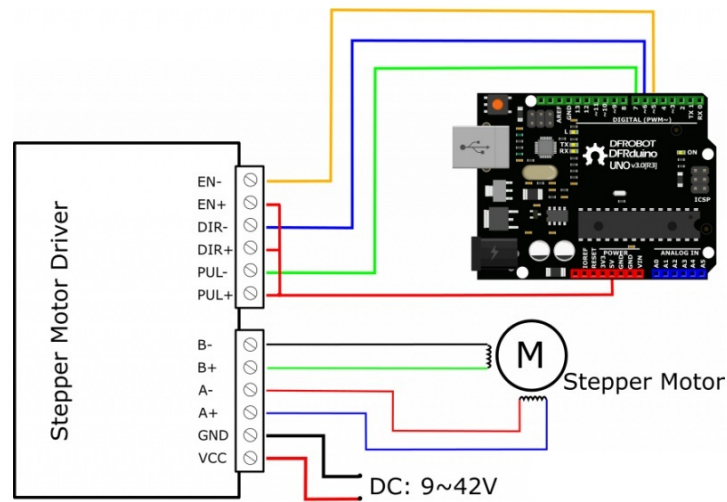


Figura 4.11: Diagrama de conexiones eléctricas entre driver tb6600 y arduino uno.

4.3. Diseño de detalle

En esta sección se realiza la selección y diseño de elementos finales de nuestro dispositivo, como son el armazón, técnicas de unión y el resto de elementos necesarios para el correcto funcionamiento del prototipo (rodamientos, pernos, golillas, etc.).

Empezaremos nuestro diseño de detalle definiendo las dimensiones y materiales de nuestro armazón, elemento que une todos nuestros módulos en una sola estructura.

4.3.1. Armason

Para la fabricación del armazón, se decidió utilizar perfiles T-SLOT de aluminio como estructura principal. También se emplearán planchas de acrílico para crear paredes donde se fijarán los elementos.

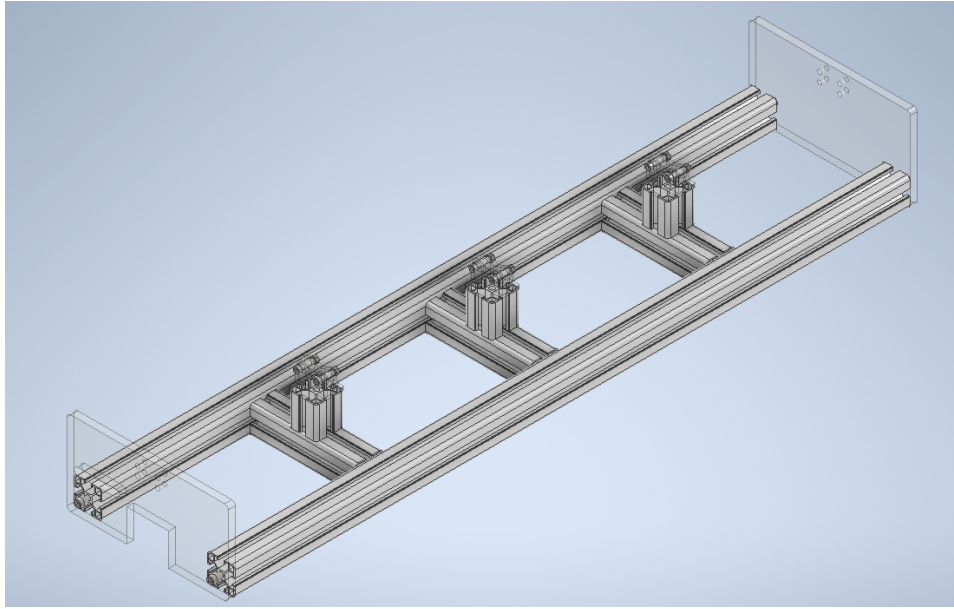


Figura 4.12: Modelado 3D del armazón en software Inventor.

El armazón cuenta con dos perfiles T-SLOT que actúan como largueros de la estructura, siendo fundamentales para proporcionar estabilidad al conjunto. Se decidió incorporar tres perfiles transversales, los cuales cumplen dos funciones: evitar torsiones en el eje axial del armazón y generar una base estable para la instalación de las ruedas de apoyo (ver figura 4.13).

Estas ruedas tienen la función de prevenir flexiones excesivas en los rodillos de apoyo (ver figura 4.3), reduciendo así el riesgo de fracturas no deseadas. Los elementos rodantes se ubican por debajo de los rodillos de apoyo, permitiendo su libre rotación y proporcionando una contramedida efectiva contra las cargas de flexión (ver figura 4.14).

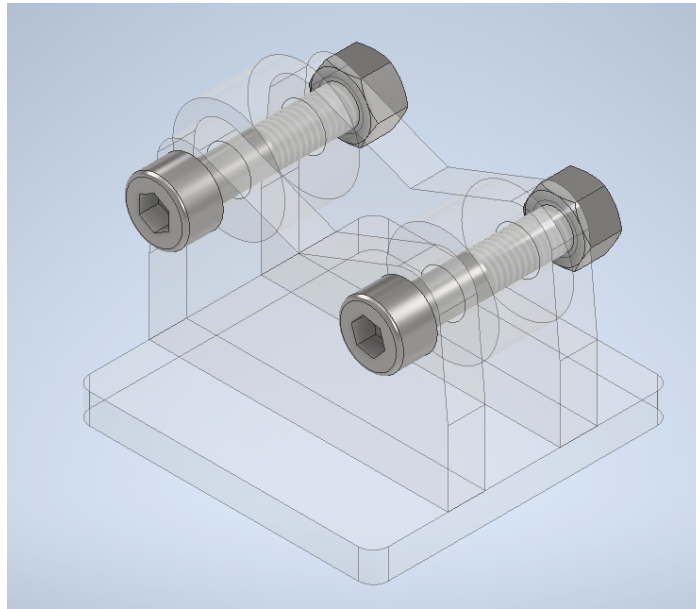


Figura 4.13: Modelado 3D del conjunto ruedas de apoyo.

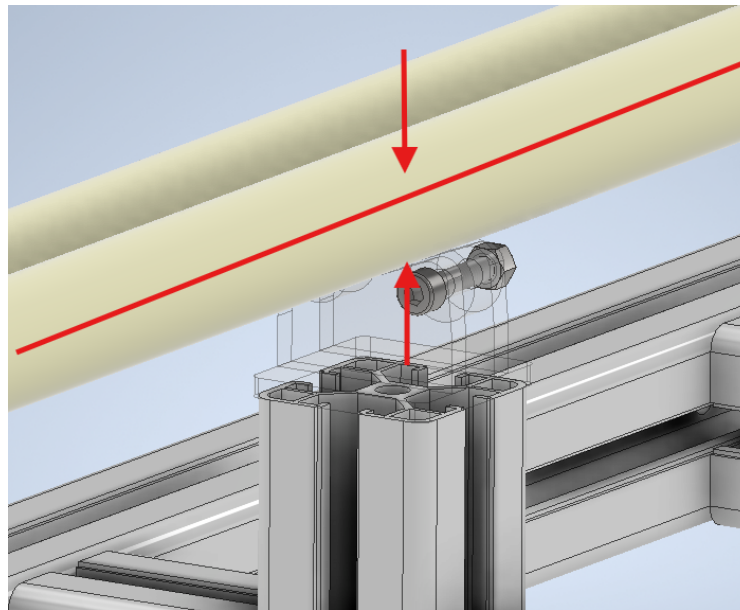


Figura 4.14: Esquema sobre carga de flexion y fuerza generada por rueda de apoyo.

Para terminar el diseño de nuestro armazón, se colocan planchas de acrílico de 10 mm de espesor en ambos extremos; esto nos da una superficie de trabajo para poder integrar los demás módulos.

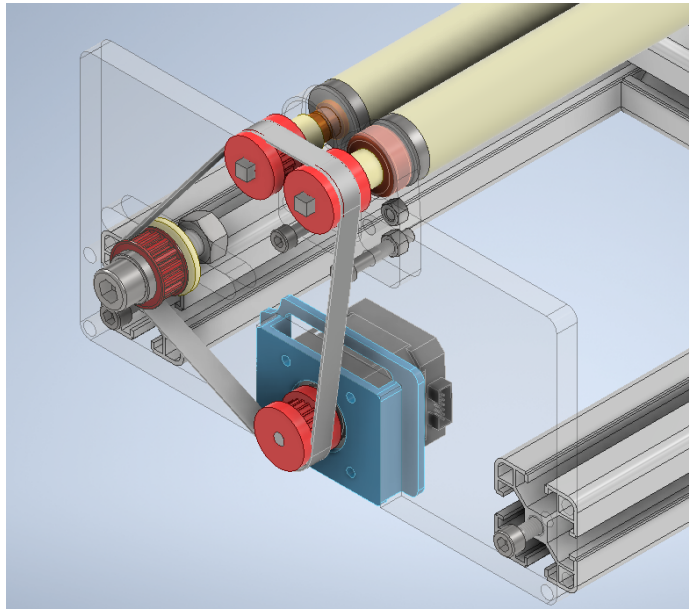


Figura 4.15: Modelado en 3D del lado de accionamiento del dispositivo.

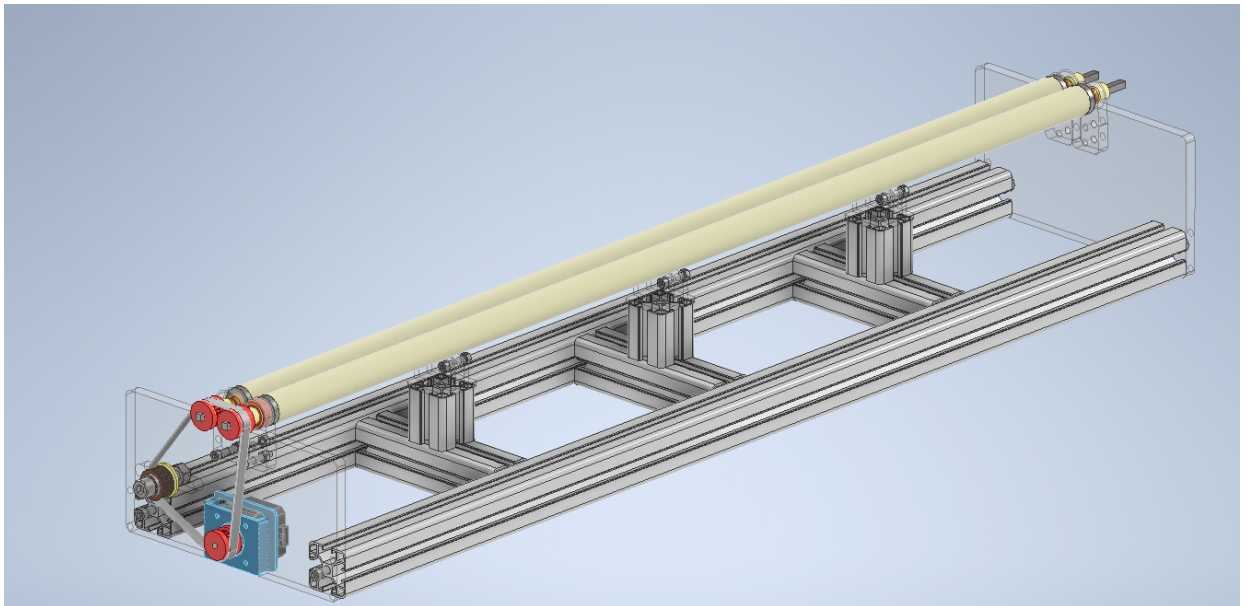


Figura 4.16: Modelado en 3D del dispositivo.

En la figura 4.16 se presenta un modelo tridimensional del dispositivo final. En esta representación se aprecia de manera clara la disposición de los diferentes módulos que componen el prototipo. Es posible destacar el armazón como elemento principal de unión y soporte estructural, ya que permite integrar de forma ordenada y funcional cada

uno de los componentes del sistema. De esta manera, se concluye la etapa de diseño, consolidando una solución que responde a los requerimientos planteados y que está lista para ser fabricada y ensamblada.

Capítulo 5

Implementación del dispositivo

En este capítulo se muestra al lector el modo de uso del dispositivo, detallando paso a paso cómo lograr su correcto funcionamiento. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de desempeño y calibración del equipo.

5.0.1. Modo de uso

El modo de uso del dispositivo se muestra a continuación en el siguiente diagrama de flujo (ver imagen 5.1), nos iremos deteniendo en cada punto para explicar detalles.

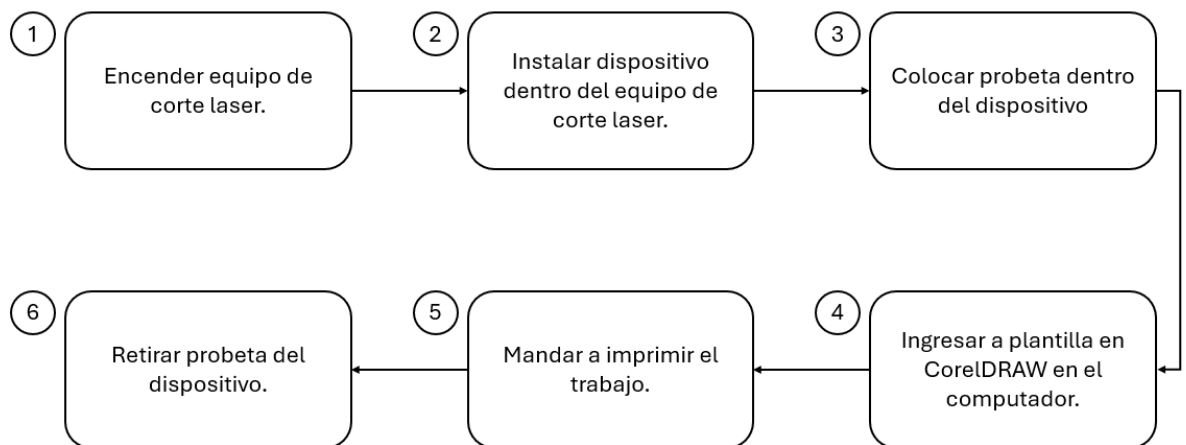


Figura 5.1: Diagrama de flujo explicando modo de uso.

- Paso 1 (Encender equipo de corte láser) : El modo de uso inicia con el encendido u puesta en marcha del equipo de corte láser, este se realiza girando ,en sentido

horario, la llave de arranque ubicada en la parte derecha del equipo. Importante antes de avanzar al siguiente paso que el equipo halla terminado su reconocimiento (no abrir ventana antes del sonido de confirmación), no olvidar también encender el extractor de humo.

- Paso 2 (Instalar dispositivo) : Una vez terminado el reconocimiento interno que realiza el equipo de corte láser, se crea un ambiente seguro para poder instalar el dispositivo dentro del corte por láser. Para esto primero debemos instalar la plantilla de posicionamiento dentro de la bandeja de trabajo, asegurando que este quede en la esquina inferior izquierda topando con ambos bordes. Una vez colocada la plantilla dentro de la mesa de trabajo cuidadosamente se coloca el dispositivo contra la plantilla asegurando que no queden separaciones entre estos. Una vez colocado se conecta la batería al arduino y se externaliza el cable de alimentación al toma corriente mas cercano.
- Paso 3 (Colocar probeta en dispositivo) : Una vez conectado el dispositivo al toma corriente debemos colocar la probeta que se quiera trabajar sobre los rodillos de apoyo, para esto nos ayudaremos con la plantilla de centrado que debemos instalar sobre los rodillos de apoyo y contra la pared izquierda del dispositivo, una vez hecho esto se prosigue a colocar la probeta sobre los rodillos y topando levemente con la plantilla, una vez hecho esto se prosigue a calibrar la altura del cañón con normalidad por encima de la probeta priorizando calibrar la altura en una posición central de la probeta (usar guías de la plantilla de centrado), una vez calibrada la altura retirar plantilla de centrado, cerrar equipo de corte láser (cuidado por donde externaliza el cable de corriente), retira el cañón a la esquina superior izquierda y cierra la ventana de la cortadora láser.
- Paso 4 (Preparar trabajo de grabado) : Una vez colocada la probeta sobre los rodillos de apoyo es necesario configurar el trabajo a realizar en el Software CorelDraw. En el escritorio del computador utilizado para realizar trabajo en el equipo láser se encuentra una plantilla de corte llamada 'Plantilla probetas' la cual se encuentra seteada con las dimensiones de la mesa de trabajo, dentro de este se puede visualizar la posición de trabajo definida por las plantillas y como único parámetro a variar se encuentra el largo de la probeta. Una vez definido el largo de la probeta se necesita verificar que la posición de esta en la plantilla sea la correcta y que el espesor de línea también lo sea. Una vez verificado esto se

puede empezar el trabajo.

- Paso 5 (Realizar el trabajo de corte): Dentro del software CorelDraw en la pestaña de archivo se encuentra la opción de 'imprimir', al seleccionar esta pestaña se despliega la ventana de impresión del software, es importante verificar que la ventana de impresión concuerde con las dimensiones de la mesa de impresión (1001 x 610 mm). Una vez verificado esto se puede apretar el botón de 'imprimir' dentro de la ventana de impresión, esto enviara el trabajo al Software de control de Trotec, en este ambiente se arrastra el trabajo a la ventana de impresión, se verifica que la configuración activa sea 'Disp. Rotatorio' dentro del Software, antes de empezar el proceso se necesita verificar la extracción de aire, una vez que este todo verificado, se necesita encender el dispositivo rotatorio con su interruptor, para luego enviar el trabajo al equipo láser dando inicio al proceso.
- Paso 6 (Retirar la probeta) : Una vez que el equipo de corte láser haya indicado que finalizo su ciclo de trabajo debemos apagar nuestro dispositivo rotatorio con su interruptor, una vez hecho esto se puede abrir la ventana y acceder al interior del equipo de corte láser para retirar nuestra probeta.

5.0.2. Pruebas de desempeño

Una vez finalizado el prototipo del dispositivo, se realizaron pruebas de rendimiento para encontrar qué configuración de parámetros obtiene los mejores resultados y así poder predecir el comportamiento de nuestro elemento. Dentro de los parámetros que se pueden variar, encontramos: velocidad de giro (de los rodillos de apoyo) y espesor de línea (dentro de software CoreDraw).

El desempeño se medirá con respecto al patrón que se obtiene a través de las distintas configuraciones, patrón que deja el láser al pasar sobre la probeta. Para esto se utilizaron probetas de madera de 12 mm de diámetro y 36 cm de largo. A continuación se muestra un diagrama del patrón de paso del láser y los aspectos importantes que se van a considerar en las pruebas. Las franjas azules representan el lugar por donde no pasó el láser generando una especie de montaña, los valles se consideran como zonas donde sí pasó el láser y nos interesa la separación entre estas.



Figura 5.2: Patrón de paso de láser.

Durante las pruebas se realizarán mediciones del espesor de montaña y de valle, representados en la figura 5.2. Se tomaron mediciones en tres puntos distintos a lo largo de la probeta y, con ayuda de tinte azul, se efectuaron observaciones a través del microscopio electrónico del Departamento de Ingeniería Mecánica en el campus San Joaquín.

A continuación se muestran las fotos obtenidas a través del microscopio:

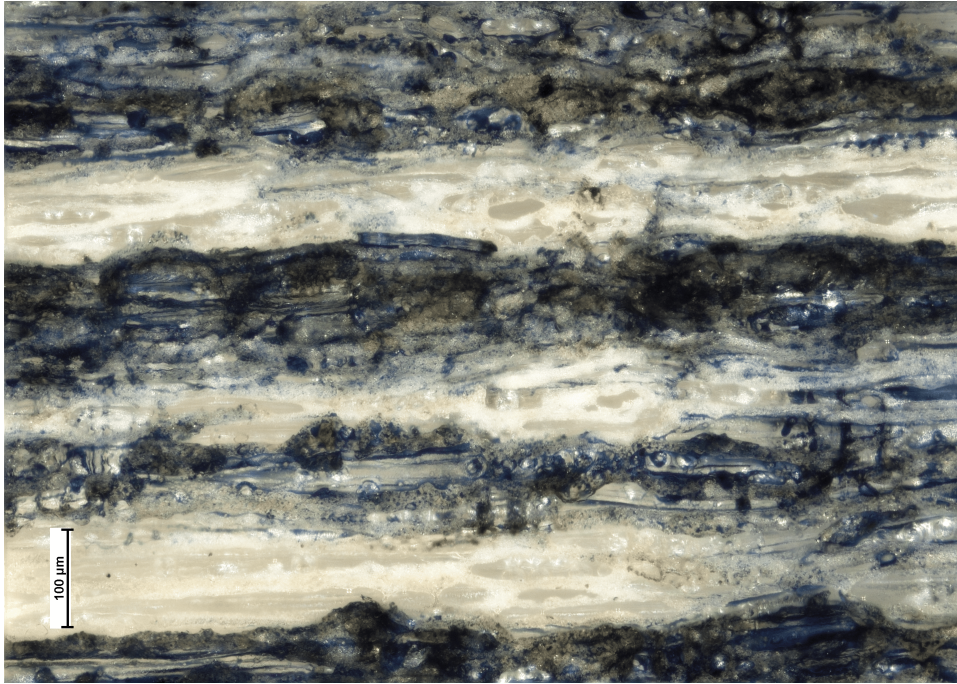


Figura 5.3: Patrón obtenido en la prueba 1 a 460 RPM y con un espesor de 0,5 mm.

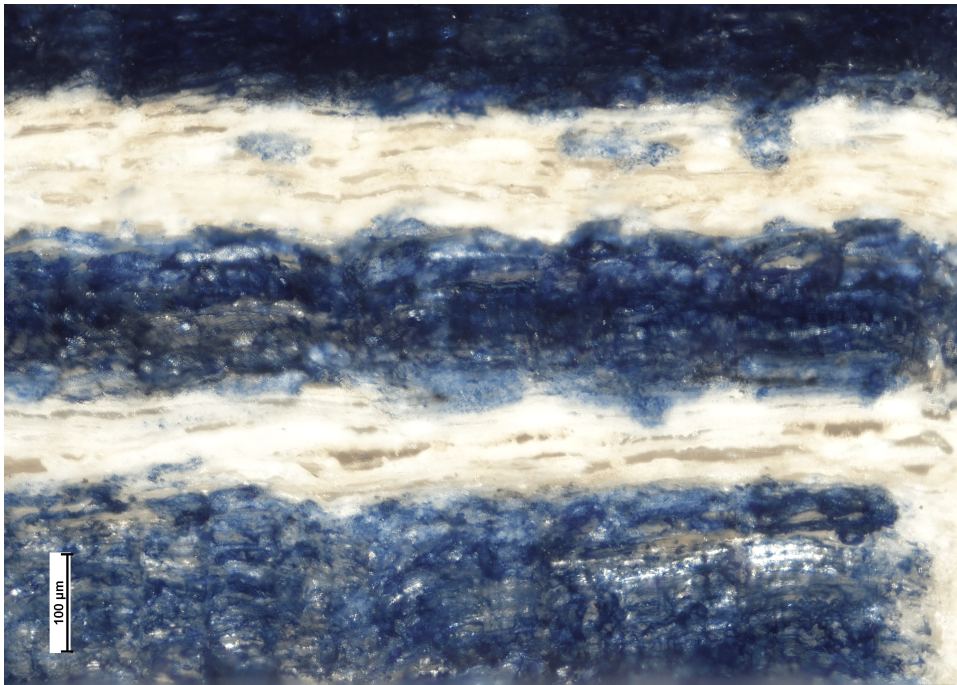


Figura 5.4: Patrón obtenido en la prueba 2 a 512 RPM y con un espesor de 0,5 mm.

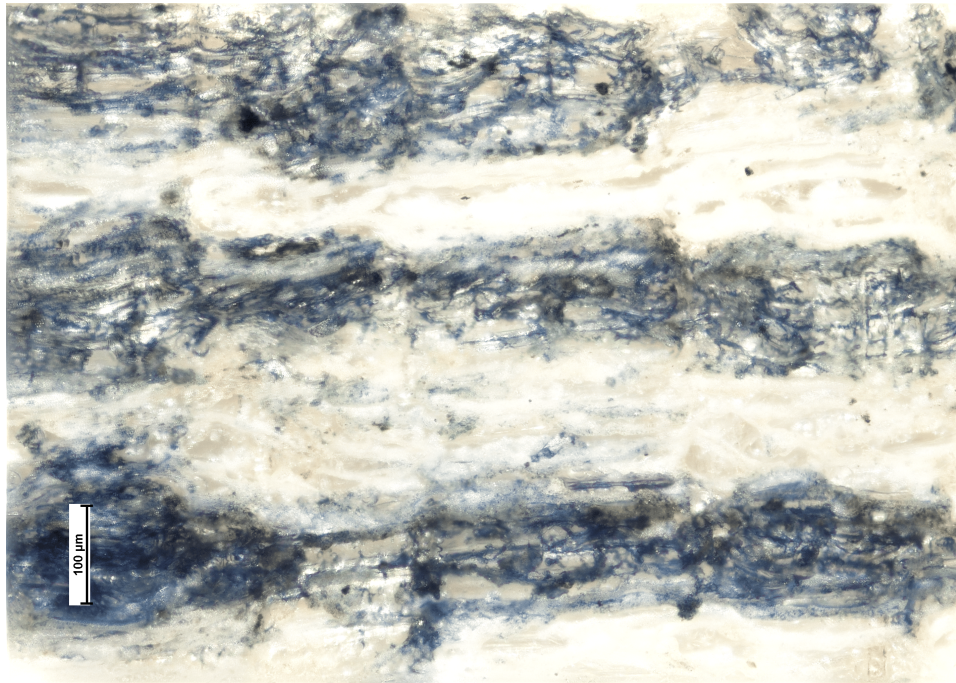


Figura 5.5: Patrón obtenido en la prueba 3 a 460 RPM y con un espesor de 1 mm.

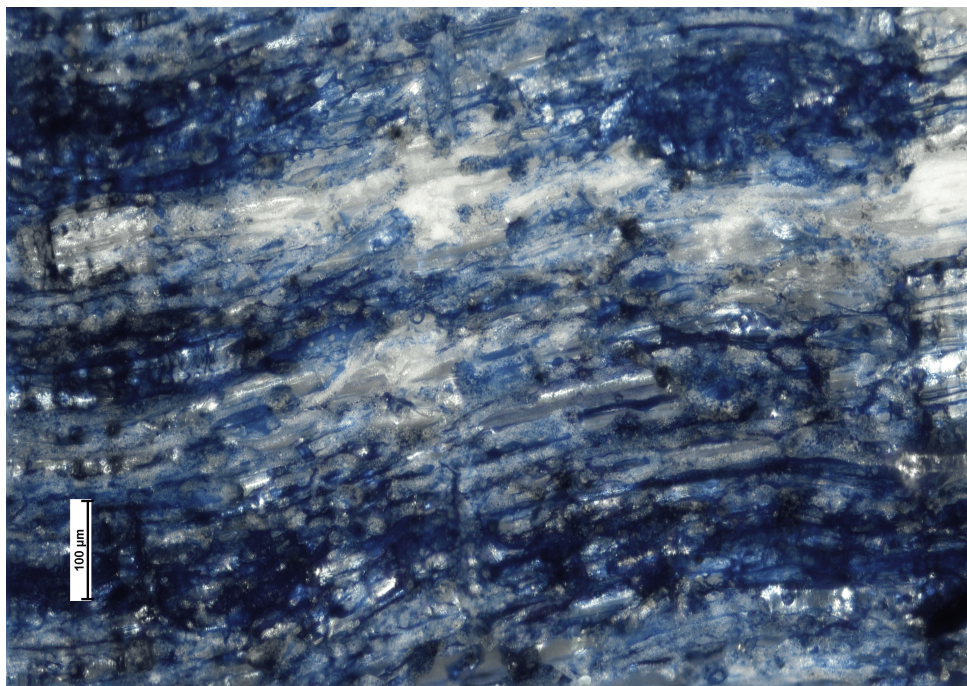


Figura 5.6: Patrón obtenido en la prueba 4 a 512 RPM y con un espesor de 1 mm.

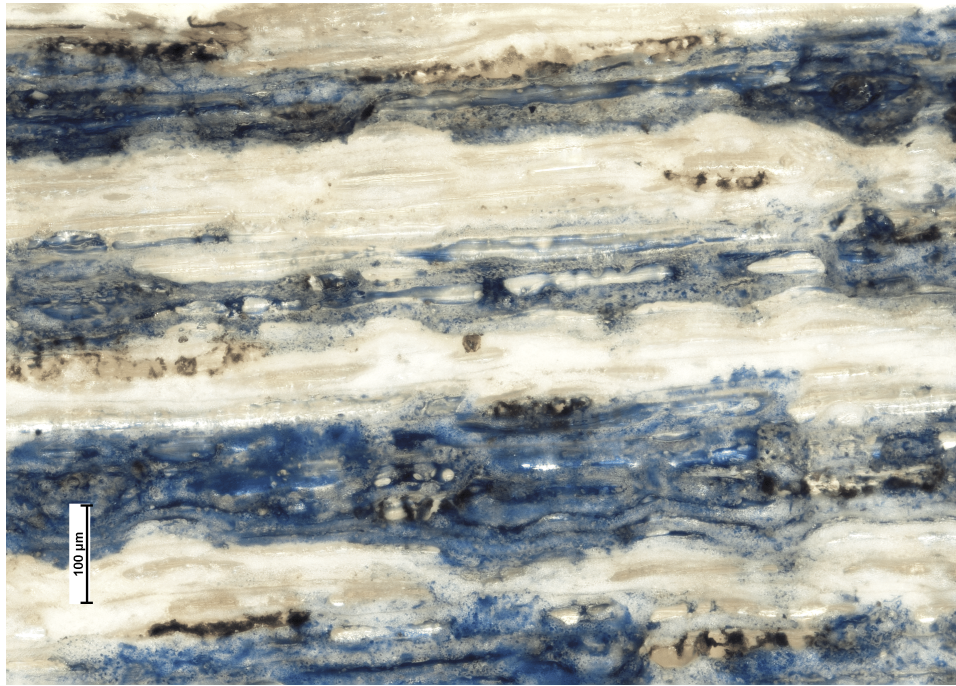


Figura 5.7: Patrón obtenido en la prueba 5 a 256 RPM y con un espesor de 3 mm.

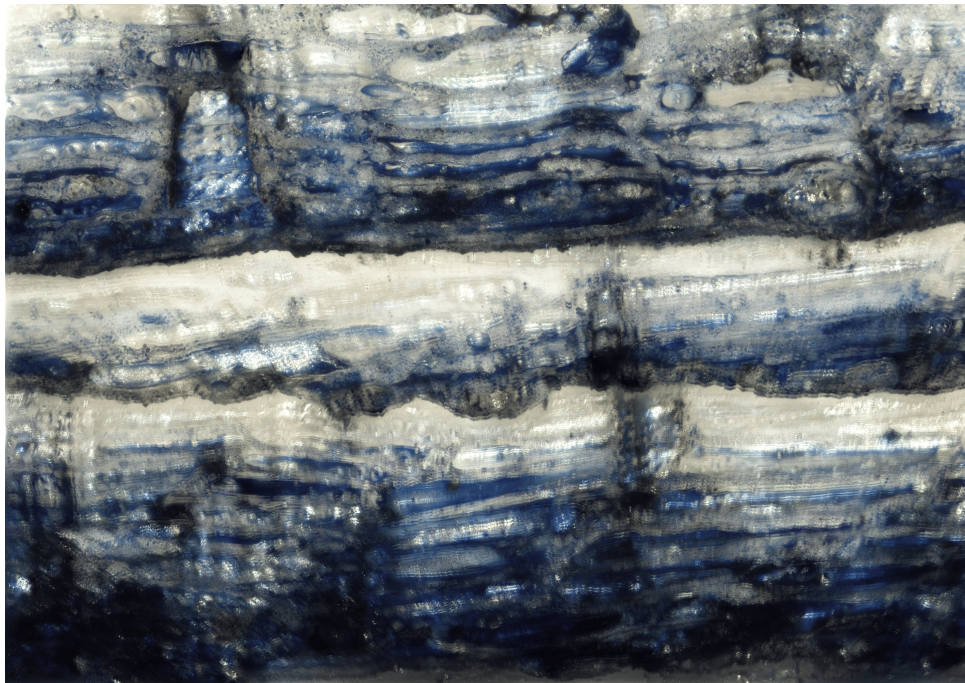


Figura 5.8: Patrón obtenido en la prueba 6 a 384 RPM y con un espesor de 3 mm.



Figura 5.9: Patrón obtenido en la prueba 7 a 384 RPM y con un espesor de 1 mm.

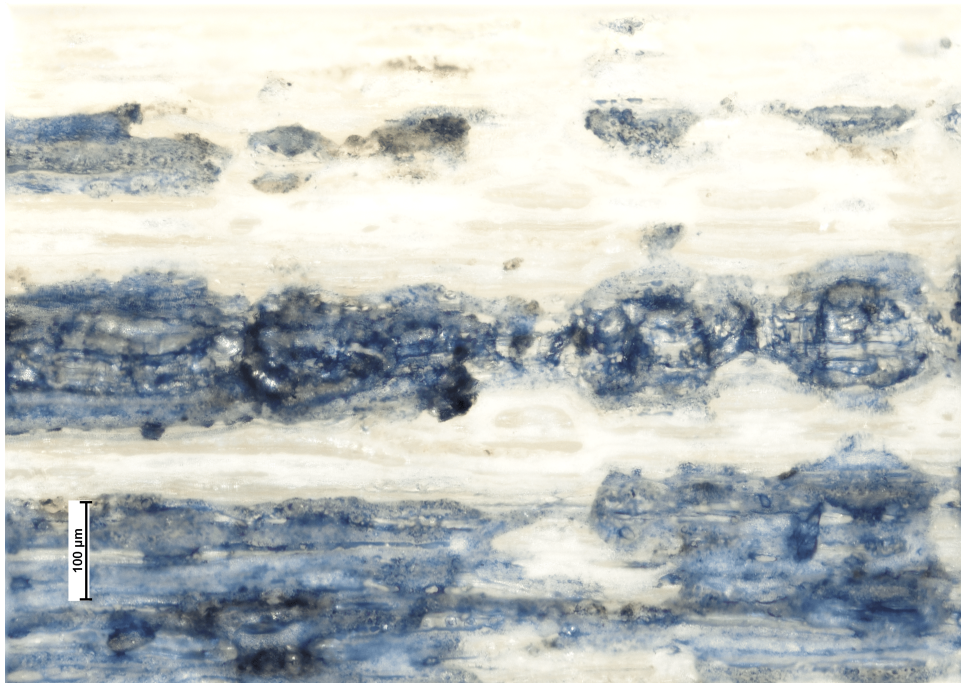


Figura 5.10: Patrón obtenido en la prueba 8 a 384 RPM y con un espesor de 0,5 mm.

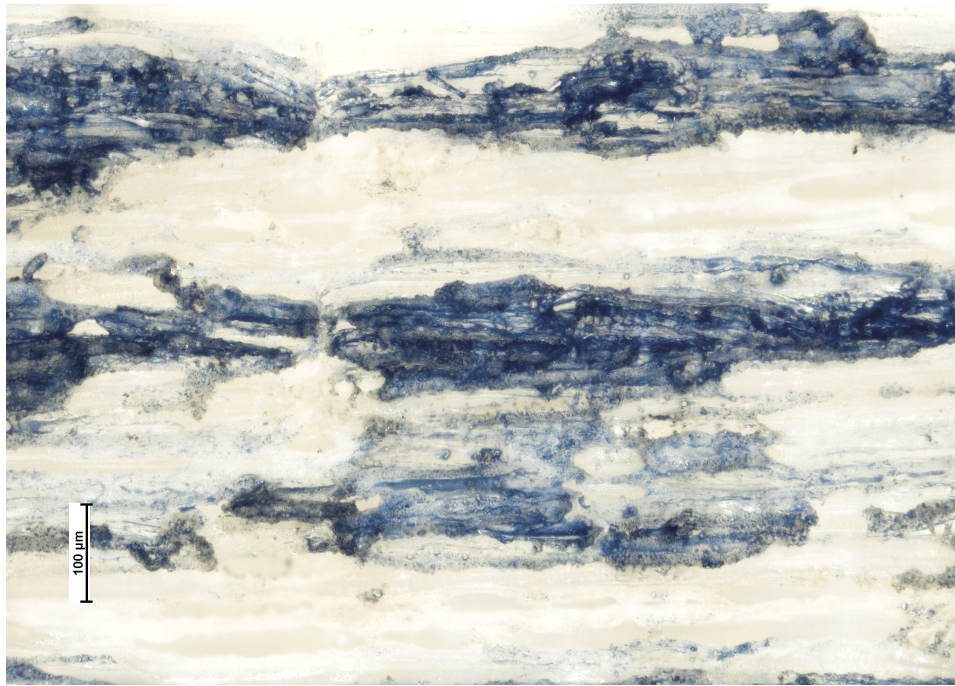


Figura 5.11: Patrón obtenido en la prueba 9 a 345 RPM y con un espesor de 0,5 mm.

Tabla 5.1: Mediciones del espesor de montaña (S_P) en cm.

Nº Prueba	1º Medición	2º Medición	3º Medición	Desv.	Promedio	Micrómetro
P1 X 10	3,3	3,2	3,5	0,15	3,3	139
P2 X 10	4	4,5	3,5	0,50	4	167
P3 X 10	4	2,5	3	0,76	3,2	132
P4 X 10	-	-	-	-	-	-
P5 X 10	3	2	3	0,58	2,7	111
P6 X 10	2	2,5	3	0,50	2,5	104
P7 X 10	3	3	4	0,58	3,3	139
P8 X 10	3	2,5	3	0,29	2,8	118
P9 X 10	3	2	2	0,58	2,3	97

Tabla 5.2: Mediciones de la separación entre valles (S_V) en cm.

N° Prueba	1° Medición	2° Medición	3° Medición	Desv.	Promedio	Micrómetro
P1 X 10	5,3	5,3	5,3	-	5,3	221
P2 X 10	7	6,5	7	0,29	6,8	285
P3 X 10	5,5	5,5	5,5	-	5,5	229
P4 X 10	-	-	-	-	-	-
P5 X 10	4,5	4,5	4,5	-	4,5	188
P6 X 10	2,5	3,5	3,5	0,58	3,2	132
P7 X 10	8	8	8	-	8	333
P8 X 10	5,4	5	5	0,23	5,1	214
P9 X 10	5	5	4,5	0,29	4,8	201

En las Tablas 5.1 y 5.2 se presentan las mediciones obtenidas en las distintas pruebas realizadas. Las mediciones se obtuvieron midiendo distancias en centímetros sobre la imagen y luego transformándolas a micrómetros utilizando la escala adjunta en la misma. Se descartó la prueba número 4 debido a errores en la aplicación del tinte sobre la probeta. De igual forma, la prueba número 6 fue eliminada debido a que el ángulo obtenido en las fotografías no fue el adecuado, lo que generó una perspectiva errónea. Se destacan las pruebas 5 y 9, que presentan los mejores resultados en términos de desviación estándar y promedio de ambas medidas a controlar.

Se destaca con énfasis la configuración utilizada en la prueba número 5, correspondiente a 256 RPM y un espesor de línea de 3 mm, la cual arrojó el mejor resultado en términos de rendimiento, específicamente en el patrón de paso del láser. Se obtuvo un espesor de montaña de 111 micrómetros y una separación entre valles de 188 micrómetros en promedio, con desviaciones estándar de 0,58 y 0 micrómetros, respectivamente.

Capítulo 6

Conclusión

El proceso de diseño comienza con la definición de los requerimientos del cliente y con su traspaso a un lenguaje de ingeniería en; Objetivos de diseño, Restricciones y Funciones. Esto en conjunto a la jerarquización que se realiza de los atributos permitió un trabajo más objetivo y con fundamentos para los pasos posteriores.

El uso combinado de las metodologías de caja negra y caja transparente en un análisis funcional permite obtener una visión integral del sistema evaluado. La metodología de caja negra, al centrarse en las entradas y salidas sin considerar el funcionamiento interno, es útil para comprender el comportamiento global del sistema desde una perspectiva externa, ideal para pruebas funcionales y validación de requisitos. Por otro lado, la caja transparente permite analizar la estructura interna del sistema, identificar fallos específicos, optimizar procesos y evaluar la coherencia entre los componentes internos. En conjunto, ambas metodologías aportan una evaluación más completa, mejorando la precisión del análisis y la eficacia en la toma de decisiones de diseño.

Los conceptos de diseño fueron generados y evaluados en base a los atributos de diseño, permitiendo así generar 3 enfoques distintos pero con un mismo objetivo. La selección es el paso más importante en donde se utilizan pesos ponderados y matrices de selección como la de Pugh. Cabe destacar que los tres conceptos generados resuelven la problemática inicial solo que el concepto seleccionado es el más adecuado en los ojos del cliente.

El diseño de detalle se realizó a nivel modular permitiendo llevar un orden a la hora de seleccionar materiales y elementos, no obstante no se tiene que olvidar el objetivo general del trabajo, muchas veces se quiere enfocar mucho en los detalles y se pierde la imagen general retrasando el trabajo de diseño.

Para finalizar la puesta en marcha se logro llevar a cabo en el espacio makerspace donde se recomienda trabajar a bajas RPM (230-300) y espesores gruesos de linea (3-5 mm). A menor RPM se obtienen mejores resultados pero existe un limite en el cual los pasos del láser se sobreponen. Del uso del dispositivo se recomienda especial cuidado con los sistemas electrónicos y conexiones eléctricas ya que estos son los que son mas propensos a fallos. Por ultimo es importante utilizar las plantillas de trabajo diseñadas para el equipo.

Bibliografía

- [1] Universidad Católica de Colombia. Aplicación de la matriz de pugh para la adquisición de maquinaria, 2019. Trabajo de grado.
- [2] Universidad Politécnica de San Luis Potosí. Metodología 5w+1h, 2021. Apuntes de clase.
- [3] George E. Dieter and Linda C. Schmidt. Engineering design, 2009.
- [4] R. B. Gallupe, L. M. Bastianutti, and W. H. Cooper. Un análisis empírico del brainstorming electrónico y tradicional, 1991.
- [5] Universidad Técnica Federico Santa María. Diseño de sistemas mecánicos: Diagrama esquemático del sistema, 2018. Informe académico. Disponible en: Repositorio UTFSM.
- [6] Thomas L. Saaty. Conflict resolution: Analytic hierarchy approach, 1989.
- [7] Mecánica Plástica. Ficha Técnica PA6. Julio 2025.
- [8] Cimech 3D. Motor stepper bipolar Nema 14 15 N cm. Julio 2025