



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño y desarrollo de
prototipos didácticos mediante
impresión 3D para la
enseñanza de Mecanismos**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniera Mecánica

P R E S E N T A N

Andrea Gutiérrez Torres

Rebeca Maldonado Andrade

Sinaí Sandoval Osorio

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

Dr. José Antonio Silva Rico



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado DISEÑO Y DESARROLLO DE PROTOTIPOS DIDACTICOS MEDIANTE IMPRESION 3D PARA LA ENSEÑANZA DE MECANISMOS que presenté para obtener el título de INGENIERA MECÁNICO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

ANDREA GUTIERREZ TORRES
Número de cuenta: 317311400



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado DISEÑO Y DESARROLLO DE PROTOTIPOS DIDACTICOS MEDIANTE IMPRESION 3D PARA LA ENSEÑANZA DE MECANISMOS que presenté para obtener el título de INGENIERA MECÁNICO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

REBECA MALDONADO ANDRADE
Número de cuenta: 316063498



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado DISEÑO Y DESARROLLO DE PROTOTIPOS DIDACTICOS MEDIANTE IMPRESION 3D PARA LA ENSEÑANZA DE MECANISMOS que presenté para obtener el título de INGENIERA MECÁNICO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

SINAI SANDOVAL OSORIO
Número de cuenta: 316070854

ÍNDICE

Glosario de siglas	3
Introducción	5
Planteamiento del Problema	6
Justificación	8
Objetivos	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
Marco teórico	10
La enseñanza de la materia de Mecanismos en ingeniería	10
La educación en ingeniería y los estilos de aprendizaje	10
a) La educación en ingeniería ante los desafíos de la Industria 5.0	10
b) Estilos de aprendizaje	11
c) Relevancia del aprendizaje kinestésico en ingeniería	12
d) El método Montessori en la educación superior	12
Fundamentos del diseño en ingeniería	14
Manufactura aditiva: la impresión 3D como método para la creación de prototipos y modelos físicos	15
La tecnología de modelado por deposición fundida	20
Metodología y Recursos	20
Metodologías de diseño aplicadas	21
Diseño y Desarrollo de Productos (DDP)	21
<i>Design Thinking</i> (DT)	22
Diseño Centrado en el Usuario (DCU)	24
Integración de las metodologías	24
Proceso de fabricación de los modelos físicos	25
Recursos técnicos utilizados	27
Softwares	27
Materiales y máquinas	27
Otras herramientas	28
Desarrollo	28
Diseño de los prototipos	28

Reconocimiento de la necesidad	28
Empatizar	33
Establecer requerimientos del usuario	37
Idear y generar conceptos.....	39
Seleccionar el concepto	40
Prototipar.....	41
Evaluar	43
Establecer especificaciones finales.....	45
Presentación del producto.....	47
Fabricación de los prototipos	47
Diseño CAD	47
Exportación a STL.....	49
Selección del material	50
Caracterización del material.....	52
Ajuste inicial de parámetros	54
Evaluación y ajuste	55
Preparación de código e impresión.....	56
Resultados	59
Conclusiones.....	73
Referencias	78
Anexo I – Mapas de empatía.....	82
Anexo II – Manual	86

GLOSARIO DE SIGLAS

ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)
ANFEI	Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales)
BJT	Binder Jetting Technology (Inyección de Aglutinante)
CAD	Computer-Aided Design (Diseño Asistido por Computadora)
COVID-19	COronaVirus Disease 2019 (Enfermedad por Coronavirus 2019)
CUAIEED	Coordinación de Universidad Abierta, Innovación Educativa y Educación a Distancia
DCU	Diseño Centrado en el Usuario
DDP	Diseño y Desarrollo de Productos
DED	Direct Energy Deposition (Deposición de Energía Dirigida)
DLP	Digital Light Processing (Procesamiento Digital de Luz)
DMLS	Direct Metal Laser Sintering (Sinterización Directa por Láser de Metal)
DT	Design Thinking
FDM	Fused Deposition Modeling (Modelado por Deposición Fundida)
I3D	Impresión 3D
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)
MDF	Medium Density Fiberboard (Tablero de Fibra de Densidad Media)

MEX	Material Extrusion (Extrusión de Material)
MJT	Material Jetting Technology (Inyección de material)
PBF	Powder Bed Fusion (Fusión de lecho de polvo)
PET-G	Polyethylene Terephthalate Glycol (Tereftalato de Polietileno Glicolizado)
PLA	Polylactic Acid (Ácido Poliláctico)
PNL	Programación Neurolingüística
SHL	Sheet Lamination (Laminado de hojas)
SLA	Stereolithography (Estereolitografía)
SLS	Selective Laser sintering (Sinterización Selectiva por Láser)
STEM	Science, Technology, Engineering, and Mathematics (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas)
STL	Standard Tessellation Language
TPU	Thermoplastic Polyurethane (Poliuretano Termoplástico)
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
VAK	Visual-Auditivo-Kinestésico
VPP	Vat Photopolymerization (Fotopolimerización en Cuba)

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la educación ha evolucionado en respuesta a las demandas cambiantes de la sociedad y la industria, así como a los avances en la comprensión de los procesos de aprendizaje. Más recientemente, eventos como la pandemia por COVID-19 evidenciaron la necesidad de revisar y adaptar continuamente los modelos educativos para responder a los nuevos retos y necesidades de la sociedad.

En este proceso, el desarrollo de recursos innovadores y de metodologías pedagógicas ha desempeñado un papel central en la optimización de la enseñanza y en la generación de experiencias formativas significativas. Un ejemplo relevante es el método Montessori, el cual en años recientes se ha buscado adaptar al nivel superior (Murray et al, 2022; Kallis, 2024; Warbourton, 2023). Dicho enfoque, ampliamente respaldado en los ámbitos científico, psicológico y social (Montessori Northwest, 2025), ofrece principios que pueden resultar especialmente valiosos en la educación en ingeniería.

El método Montessori se fundamenta en la autogestión del aprendizaje, promoviendo la independencia del estudiante y el desarrollo de competencias mediante la experimentación práctica. Sus estrategias incluyen actividades lúdicas, dinámicas y táctiles que estimulen el desarrollo cognitivo y permitan la integración significativa con el entorno (Huntington Montessori School, 2024). Dentro de este enfoque, los prototipos didácticos son una herramienta clave para materializar la teoría en práctica, al fomentar la exploración activa y la construcción progresiva del conocimiento.

Los prototipos didácticos son recursos educativos creados para promover el aprendizaje mediante la interacción práctica con conceptos teóricos (Yañez-Valdez, 2023). Su uso facilita una comprensión tangible de los conceptos, promueve el desarrollo de habilidades prácticas esenciales y favorece la retención de la información a largo plazo (Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería A.C. [ANFEI], 2015).

En el ámbito de la enseñanza de la ingeniería, estos beneficios resultan especialmente relevantes, ya que la ANFEI (2015) subraya la necesidad de implementar estrategias que integren la instrucción teórica con la práctica, favoreciendo principalmente el aprendizaje kinestésico. Como señala Mejía (2024), este enfoque resulta altamente efectivo en disciplinas como las artes, las ciencias y las ingenierías. En este estilo de aprendizaje, los estudiantes aprenden a través de los sentidos, especialmente el del tacto y del movimiento (Kristia y Krismiyati, 2023). Hoy en día, existen diversos recursos que toman en cuenta este estilo de aprendizaje, como los entornos de realidad aumentada (Zahid Iqbal y Campbell, 2023).

En este marco, la experiencia de cursar la asignatura de Mecanismos en la carrera de Ingeniería representó un punto de reflexión significativo para las autoras de este trabajo. Más allá de los contenidos técnicos, el proceso de aprendizaje conllevó diversos retos que evidenciaron la relevancia de las metodologías empleadas. Esta vivencia, compartida también con otros compañeros, motivó el interés por analizar las estrategias de enseñanza empleadas en la Facultad de Ingeniería, además de explorar áreas de oportunidad que permitan fortalecer un aprendizaje más integral y significativo.

A partir de estas consideraciones surge la propuesta del presente proyecto, orientado a ofrecer a los estudiantes de ingeniería una experiencia de aprendizaje basada en la interacción directa con los contenidos, con el fin de fortalecer la asimilación de los temas abordados en la asignatura de Mecanismos.

El presente trabajo tiene como propósito documentar y analizar el desarrollo de un proyecto académico orientado a la creación de recursos didácticos para la asignatura de Mecanismos. Para ello, se implementaron herramientas tecnológicas y metodológicas, entre las que destacan: software de diseño asistido por computadora (del inglés *Computer-Aided Design*, CAD), tecnologías de impresión 3D (I3D), metodologías de diseño y fabricación, así como conceptos e ideas clave sobre algunos modelos de enseñanza-aprendizaje.

La propuesta se enfocó en desarrollar un manual que reuniera información y describiera el procedimiento para fabricar modelos físicos de juntas, mecanismos básicos y otros sistemas mecánicos más complejos a través de la manufactura aditiva, con la finalidad de facilitar la comprensión de los temas de la materia. Adicionalmente, se consideraron otros contenidos y aspectos relevantes de la asignatura con el propósito de fortalecer el aprendizaje y el desarrollo de competencias de los estudiantes.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años, el uso de recursos digitales para apoyar el proceso educativo ha aumentado considerablemente, especialmente a partir de la pandemia por COVID-19. Este suceso obligó a los sistemas educativos de todo el mundo a adaptarse rápidamente a modelos de enseñanza remota, lo que evidenció tanto el potencial como las limitaciones de las herramientas tecnológicas, especialmente en áreas de formación práctica como la ingeniería.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Mok, 2022), más de 220 millones de estudiantes universitarios en el mundo vieron interrumpidas sus actividades académicas presenciales debido

a las restricciones sanitarias. Esta situación evidenció desigualdades en el acceso a la educación, y a la vez otros desafíos, como:

- Brecha digital: la falta de acceso a dispositivos electrónicos y conexión a internet de calidad dificultó la participación de muchos estudiantes en las clases virtuales (Ramírez y Cázares, 2024).
- Capacitación docente: no todos los profesores contaban con las habilidades ni herramientas necesarias para impartir clases en entornos digitales, lo cual afectó la calidad educativa (Valdez, 2023).
- Reducción de la interacción y el aprendizaje colaborativo: el modelo en línea limitó las discusiones en tiempo real, la experimentación en laboratorios y el trabajo en equipo, esenciales en las ingenierías (Lloyd y Ordorika, 2021).
- Problemas de salud mental: el aislamiento, la incertidumbre y la carga académica aumentaron los niveles de estrés y ansiedad en la comunidad universitaria (Salinas et al., 2023).
- Falta de concentración: de acuerdo con un estudio realizado por la UNAM (Lloyd y Ordorika, 2021) entre el 32.6% y el 43% del estudiantado universitario consideró que su concentración empeoró durante la pandemia, mientras que solo el 19.6% y el 4.9% indicó que se mantuvo igual o mejor.

En el ámbito de la educación en ingeniería, el aprendizaje práctico, visual y kinestésico resulta fundamental para el desarrollo de competencias. Materias como Mecanismos, que requieren analizar el comportamiento de sistemas mecánicos, dependen en gran medida de la visualización del movimiento, la interacción entre componentes y la comprensión del principio de funcionamiento de mecanismos reales. Sin embargo, durante la enseñanza remota, e incluso en la enseñanza presencial tradicional, se ha detectado que los estudiantes enfrentan dificultades para relacionar los conceptos teóricos con aplicaciones tangibles, lo que afecta su capacidad para analizar, diseñar o interpretar mecanismos correctamente.

Estas limitaciones no se deben únicamente al modelo de enseñanza, sino también a la falta de recursos didácticos manipulables que les permitan explorar, observar y experimentar el funcionamiento de los mecanismos. El uso exclusivo de diagramas, simulaciones digitales o explicaciones verbales puede resultar insuficiente para los estudiantes que aprenden mejor mediante la exploración física y la observación directa.

Por tanto, se vuelve necesario diseñar e implementar recursos didácticos que fortalezcan el aprendizaje práctico, favoreciendo la comprensión integral de los conceptos y promoviendo el desarrollo de habilidades técnicas desde una etapa temprana de formación. De acuerdo con Ramírez y Cázares (2024), el futuro de la educación en estas disciplinas se perfila como un modelo híbrido incorporando lo mejor de la enseñanza presencial con herramientas digitales. Sin embargo, este

modelo híbrido exige recursos didácticos adecuados, actualizados y accesibles, por lo que surge la siguiente pregunta:

¿Qué tipo de recursos didácticos pueden apoyar la enseñanza de la asignatura de Mecanismos para facilitar el aprendizaje práctico, visual y kinestésico de los estudiantes de ingeniería?

JUSTIFICACIÓN

La enseñanza de la materia de Mecanismos representa un reto significativo para muchos estudiantes de ingeniería, quienes frecuentemente enfrentan dificultades para traducir los resultados matemáticos y las simulaciones digitales en una comprensión mecánica tangible. Aunque dominan el uso de software técnico y la resolución algebraica, existe una desconexión entre la teoría y su aplicación práctica, lo que impacta en su aprendizaje integral y el desarrollo de competencias clave para su formación profesional.

Este proyecto surge como una respuesta tanto a una necesidad colectiva como a una experiencia personal de aprendizaje, con el propósito de reforzar la enseñanza de Mecanismos a través del desarrollo de un manual de fabricación y ensamble de prototipos físicos, fabricados mediante impresión 3D. La intención es ofrecer a los estudiantes una herramienta que facilite la comprensión de conceptos abstractos mediante el aprendizaje visual y kinestésico.

Diversos estudios, como el de López y Galaviz (2019), han demostrado que el aprendizaje visual mejora significativamente la asimilación de contenidos. De igual forma, el aprendizaje kinestésico, a través de la manipulación directa de materiales, fomenta una comprensión más profunda, duradera y activa. A lo largo de la historia, la práctica y la experimentación han sido pilares fundamentales en el desarrollo de la ciencia y la ingeniería, así lo demuestran figuras como Nikola Tesla, Benjamín Franklin y Leonardo da Vinci, quienes recurrieron a la observación y a la creación de prototipos para alcanzar descubrimientos que impactaron en la sociedad. En este sentido, el manual propuesto busca promover la construcción y el ensamblaje de mecanismos, trasladando la experiencia del aula al entorno físico del estudiante.

La experiencia reciente de la pandemia por COVID-19 evidenció las limitaciones del aprendizaje exclusivamente teórico. Aunque las plataformas digitales permitieron la continuidad académica, la enseñanza práctica, especialmente en áreas como ingeniería, se vio gravemente afectada, obligando a docentes y alumnos a adaptar sus estrategias de aprendizaje (Valdez, 2023). De acuerdo con la Coordinación de la Universidad Abierta, Innovación Educativa y Educación a Distancia (CUAIEED) de la UNAM (2021), más del 80% del profesorado reportó un incremento en el tiempo dedicado a la docencia, mientras que el 63% de los docentes y el 70% de los estudiantes reconocieron que las tecnologías digitales profundizaron las

desigualdades educativas. Además, al menos 6 de cada 10 estudiantes recurrieron al autoaprendizaje, lo que resalta la necesidad de materiales accesibles, autónomos y prácticos.

En este contexto, el manual también responde a los principios establecidos en el programa 2.5 del Plan de Desarrollo Institucional de la UNAM, que promueve la incorporación de tecnologías de la información para transformar los procesos de enseñanza-aprendizaje (Agüero et al., 2021). El uso de la impresión 3D como herramienta educativa no solo fortalece la comprensión conceptual de los mecanismos, sino que también incentiva la innovación, el aprendizaje activo y la adquisición de habilidades técnicas alineadas con las demandas actuales del sector productivo.

Por otro lado, el desarrollo de habilidades prácticas sigue siendo una deuda pendiente en la formación de ingenieros en México. Como señalan López y Galaviz (2019), los planes de estudio han privilegiado el componente teórico, dejando en segundo plano el trabajo de laboratorio, la construcción de prototipos y los procesos de manufactura. Por ello, este proyecto también propone un enfoque donde los propios estudiantes puedan diseñar, fabricar y documentar sus modelos físicos, promoviendo la autonomía, la toma de decisiones y la colaboración.

En síntesis, esta propuesta busca responder a una necesidad educativa: ofrecer a los estudiantes de ingeniería un recurso educativo integral, visual, práctico y accesible. El manual no solo aborda la teoría de los mecanismos, sino que también una guía en la fabricación de modelos mediante manufactura aditiva, fomentando así un aprendizaje activo que complemente y enriquezca la formación tradicional.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar recursos didácticos para la materia de Mecanismos, mediante la fabricación de prototipos físicos impresos en 3D, que promuevan el aprendizaje práctico, interactivo y significativo por parte del estudiante.

Objetivos específicos

1. Diseñar y fabricar prototipos físicos de mecanismos utilizando tecnología de manufactura aditiva, optimizando materiales y parámetros de impresión.
2. Evaluar la viabilidad de la impresión 3D como proceso de fabricación en términos de precisión dimensional, acabado superficial, tiempo de producción, consumo de material y costos.
3. Aplicar metodologías de diseño centradas en el usuario, considerando las necesidades de los estudiantes de ingeniería mecánica.

4. Fomentar el desarrollo de habilidades prácticas y la toma de decisiones técnicas mediante el uso de prototipos funcionales.
5. Promover el aprendizaje autónomo y la colaboración entre estudiantes a través de los recursos didácticos generados.

MARCO TEÓRICO

La enseñanza de la materia de Mecanismos en ingeniería

La enseñanza de la ingeniería exige que los estudiantes desarrollen tanto conocimientos teóricos como habilidades prácticas. En este contexto, la asignatura de Mecanismos permite a los alumnos analizar, diseñar e interpretar sistemas de movimiento utilizados en máquinas y estructuras. En la Facultad de Ingeniería de la UNAM, esta materia tiene como objetivo que los estudiantes adquieran las bases necesarias para el diseño, análisis y síntesis de sistemas mecánicos planos.

Un mecanismo, en términos generales, es un conjunto de elementos interconectados que transforman movimiento y fuerza para cumplir una función específica (Norton, 2009). En el plan de estudios de la asignatura, se abordan aspectos tanto cinemáticos como dinámicos de estos sistemas, incluyendo mecanismos de cuatro barras, trenes de engranes y el diseño y análisis de sistemas leva-seguidor.

Actualmente, el programa académico de la materia de Mecanismos dentro de la Facultad de Ingeniería contempla seis bloques temáticos con una duración total de 64 horas teóricas (Facultad de Ingeniería, 2023), sin incluir actividades prácticas como parte de la carga académica formal. Es decir, a diferencia de otras materias con clases en laboratorio, Mecanismos no cuenta con un espacio destinado específicamente para la experimentación o la manipulación directa de modelos. Aunque el programa sugiere diversas estrategias de enseñanza, como la exposición oral y audiovisual del profesor, lecturas de libros especializados, ejercicios dentro y fuera del aula y el uso de software para análisis y simulación, estas estrategias no siempre logran responder a las necesidades de todos los estilos de aprendizaje, particularmente de los estudiantes con un estilo kinestésico. En respuesta a esta limitación, algunos docentes han optado por complementar sus clases con actividades prácticas, tales como simulaciones virtuales, trabajo colaborativo, desarrollo de proyectos o el uso de modelos físicos demostrativos dentro del aula.

La educación en ingeniería y los estilos de aprendizaje

a) La educación en ingeniería ante los desafíos de la Industria 5.0

La evolución de la industria hacia modelos inteligentes y sostenibles, representados por la Industria 5.0, exige que las instituciones de educación superior adapten sus

métodos de enseñanza. Según Haro y Ayala (2024), los ingenieros deben adquirir competencias no solo técnicas, sino también habilidades como el trabajo colaborativo, la creatividad, la gestión de proyectos y el dominio de herramientas digitales.

Bajo este contexto, es necesario implementar nuevas metodologías de enseñanza que ayuden a desarrollar competencias que cumplan con las necesidades de esta industria. Estas metodologías, según lo analizado y expuesto por Velásquez y Echeverrú (2023), deben fomentar el pensamiento crítico, el análisis de datos y la resolución de problemas. Asimismo, debe haber un enfoque tecnológico en donde los ingenieros reciban formación en temas como la fabricación aditiva, automatización, gestión de datos, simulación y diseño virtual, entre otras. Para ello, las metodologías de enseñanza deben incluir el uso de herramientas y software de vanguardia, así como proyectos prácticos que permitan a los estudiantes aplicar sus conocimientos.

Las metodologías de enseñanza, además, deben considerar los distintos estilos de aprendizaje que presentan los estudiantes, con el fin de favorecer un proceso formativo más inclusivo y efectivo.

b) Estilos de aprendizaje

En el ámbito educativo, el reconocimiento de los estilos de aprendizaje individuales ha cobrado relevancia como una estrategia para optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Entre los modelos más utilizados destaca el modelo VAK, que clasifica las preferencias sensoriales de aprendizaje en tres categorías: visual, auditivo y kinestésico, de ahí sus siglas (López y Galaviz, 2019). Este modelo tiene su fundamento en la Programación Neurolingüística (PNL), desarrollada por John Grinder y Richard Bandler en la década de 1970. La PNL parte del principio de que el comportamiento humano está determinado por los sentidos y que estos influyen en la manera en que codifican el aprendizaje y la experiencia (Escobar y Arango, 2013).

Cada categoría o estilo de aprendizaje presenta sus propias características, asociadas a un sentido predominante:

- **Visual:** aprendizaje a través de lo que se ve; preferencia por esquemas, animaciones, vídeos e ilustraciones.
- **Auditivo:** mayor facilidad para procesar información mediante la escucha; disfrute de la discusión y la expresión oral, aunque con posibles dificultades en la expresión escrita.
- **Kinestésico:** aprendizaje mediante la acción, el movimiento y la manipulación directa de objetos (Kristia y Krismiyati, 2023; Rosdiana et al., 2022).

Actualmente, existen múltiples recursos que atienden a estos estilos, presentaciones interactivas, audiolibros, podcast, tutoriales en vídeo, software de simulación y aplicaciones educativas, entre muchos otros. Sin embargo, el rápido avance tecnológico y eventos recientes como la pandemia por COVID-19 han evidenciado la necesidad de crear nuevos materiales didácticos que integren estas innovaciones y se adapten a contextos cambiantes.

c) Relevancia del aprendizaje kinestésico en ingeniería

En las disciplinas STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), el aprendizaje kinestésico resulta especialmente relevante, ya que combina la teoría con la aplicación práctica. Por ello, no sorprende que se desarrollen cada vez más recursos educativos con este enfoque, incorporando tecnologías como manufactura aditiva, realidad aumentada, inteligencia artificial y aprendizaje automático. Un ejemplo es el proyecto de Zahid Iqbal y Campbell (2023), en el que se emplean dichas tecnologías para facilitar la comprensión de conceptos complejos en Química.

En el caso particular de la ingeniería, el aprendizaje kinestésico favorece que el estudiante participe activamente en todo el proceso, experimentando y manipulando los elementos involucrados. Un estudio de Kristia y Krismiyati (2023) sobre estudiantes de Ingeniería en Computación y Redes encontró que el 82% de su muestra presentaba una preferencia por el aprendizaje kinestésico o por su combinación con el estilo visual. Este hallazgo subraya la importancia de incorporar estrategias y materiales con un fuerte componente práctico en la enseñanza de la ingeniería. Asimismo, López y Galaviz (2019) encontraron, en su estudio sobre la relación de los diferentes estilos de aprendizaje y el desempeño académico, que el rendimiento académico promedio de los estudiantes kinestésicos (85.52) es muy similar al de quienes presentan estilos visuales (86.25) y auditivos (86.90). Lo anterior evidencia que, cuando se atienden sus necesidades específicas, los estudiantes kinestésicos pueden alcanzar un rendimiento tan destacado como el de sus compañeros con otros estilos de aprendizaje.

Estos hallazgos refuerzan la importancia de que las metodologías de enseñanza en ingeniería integren estrategias que respondan a la diversidad de estilos de aprendizaje. En este sentido, enfoques pedagógicos flexibles, como el Método Montessori, ofrecen un punto de referencia valioso para diseñar entornos educativos que favorezcan la autonomía, la experimentación y el aprendizaje activo, elementos clave para potenciar el rendimiento de todos los estudiantes.

d) El método Montessori en la educación superior

El método Montessori, desarrollado por la Dra. María Montessori, se fundamenta en la autonomía, la exploración activa y el aprendizaje a través de la experiencia directa (Montessori Northwest, 2025). Aunque históricamente este método ha sido aplicado

principalmente en la educación infantil, sus principios son transferibles a la educación superior, particularmente en áreas como la ingeniería en donde se requiere pensamiento crítico, autogestión y resolución de problemas.

De acuerdo con Lillard y McHugh (2019, como se citó en Murray et al. 2022), algunos de los principios que rigen el método Montessori son:

1. Facilitar el desarrollo de la comunidad.
2. Priorizar la participación y la motivación.
3. Diversificar los formatos de enseñanza y de tarea.
4. Descentrar el rol del docente.
5. Aplicar estrategias de evaluación no tradicionales.

En conjunto, estos principios buscan promover un aprendizaje centrado en el estudiante, de manera que este pueda decidir qué aprender, cómo y cuándo.

Murray et al. (2022) implementaron estos principios en un curso universitario. El resultado fue un curso innovador cuyo objetivo principal era el desarrollo de las habilidades de los estudiantes en contextos reales, fomentando especialmente la discusión, la aplicación práctica de los conocimientos y la responsabilidad individual en el propio proceso de aprendizaje. Entre las conclusiones, se destacó que los estudiantes valoraron especialmente el componente práctico y el traer sus experiencias al salón de clases. Si bien para muchos resultó desafiante asumir una formación autodirigida, la retroalimentación por parte de los estudiantes evidenció altos niveles de compromiso y participación.

Experiencias similares han sido documentadas por Warburton (2023), quien también adapta el método Montessori a la educación superior. Sus aportes resaltan la necesidad de crear un ambiente propicio para el aprendizaje autónomo, otorgando libertad a los estudiantes para elegir cómo aprender y diseñar actividades que reflejen su realidad. En este punto, Warburton coincide con Murray y sus colaboradores en la importancia de considerar el contexto del estudiante y su entorno inmediato.

Uno de los conceptos recurrentes en el método Montessori es el autoaprendizaje, junto con la centralidad del estudiante y la autogestión. Kallis (2024), en su tesis de maestría, desarrolló un marco educativo inspirado en Montessori que coloca al estudiante como eje del proceso de enseñanza-aprendizaje. Dicho marco enfatiza la interacción del alumno con sus compañeros, el docente y el entorno, al tiempo que responde a las demandas de la industria 5.0. Según el autor, al situar al estudiante en el centro, se favorece el desarrollo de competencias clave como pensamiento crítico, resolución de problemas y participación en el mundo que lo rodea.

La integración del enfoque Montessori en la formación en ingeniería promueve el aprendizaje interdisciplinario y la aplicación de narrativas y contextos significativos para vincular conceptos abstractos con necesidades reales. Además, según Ibes y Ng (2020) la experiencia sensorial y el aprendizaje en espiral favorecen la comprensión profunda y la construcción progresiva del conocimiento. Un elemento central es la “libertad con límites”, que brinda independencia en la elección de tareas y métodos dentro de un entorno preparado, asegurando tanto la autonomía como la responsabilidad (Ibes y Ng, 2020). En el ámbito de la ingeniería, esto se traduce en proyectos prácticos, prototipado, análisis de problemas y trabajo colaborativo, fomentando así la creatividad y la innovación.

Fundamentos del diseño en ingeniería

El diseño en ingeniería, según autores como Budynas (2010) y Norton (2009), es un proceso sistemático y complejo enfocado en resolver problemas técnicos, así como en la satisfacción de necesidades específicas mediante la toma de decisiones informadas. Esto se logra a través de la creación de dispositivos, sistemas, modelos, prototipos u otros elementos. El diseño en ingeniería combina creatividad, fundamentos científicos y tecnología para producir soluciones eficientes, seguras y sostenibles.

En este proyecto, enfocado a la enseñanza de mecanismos, el diseño se orienta a crear prototipos didácticos que equilibren funcionalidad pedagógica y viabilidad técnica, facilitando la comprensión de conceptos complejos para estudiantes de ingeniería.

Los ingenieros, en el diseño, se enfrentan constantemente a la tarea de diseñar componentes y sistemas relacionados con diversos sectores, tales como la producción, el transporte, la programación, los circuitos eléctricos, entre otros. Este amplio espectro de responsabilidades requiere un conocimiento profundo de diversas disciplinas, lo cual hace que la naturaleza del diseño en ingeniería sea innovadora e iterativa, pues constituye un ejercicio constante de toma de decisiones. Estas características del proceso de diseño se vieron reflejadas a lo largo de la elaboración de este proyecto.

Budynas (2010) describe el proceso de diseño como una serie de fases interconectadas que, aunque se presenten de manera secuencial, en la práctica operan de manera iterativa y cíclica. En la Figura 1 se muestra el proceso:

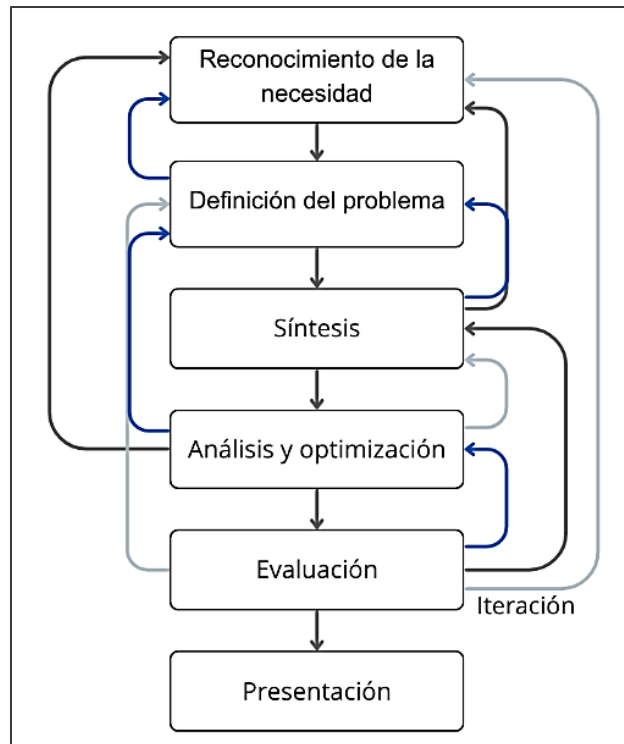


Figura 1 - El proceso de diseño en ingeniería, según Budynas. Esquema recreado a partir de su imagen original (Budynas, 2010).

Manufactura aditiva: la impresión 3D como método para la creación de prototipos y modelos físicos

La manufactura aditiva, según Linke (2017) y la Secretaría de Economía (2017), agrupa un conjunto de tecnologías de fabricación que tienen como principio común la creación de objetos tridimensionales mediante la adición progresiva de material capa por capa, usualmente a partir de un modelo digital. Este enfoque contrasta con la manufactura tradicional o sustractiva, en la cual se obtiene la geometría deseada mediante la remoción de material por medio de distintos procesos.

Es importante subrayar la evolución que esta tecnología ha experimentado en las últimas décadas. Hasta hace aproximadamente 15 años, la manufactura aditiva era conocida como tecnología de prototipado rápido, ya que su aplicación principal se limitaba a la creación de maquetas o modelos físicos destinados a validar aspectos como la forma, escala y geometría de un diseño, sin requerir propiedades mecánicas funcionales (Gibson, 2020).

No obstante, gracias al avance de las tecnologías, al desarrollo de nuevos materiales y al mayor conocimiento técnico, actualmente la manufactura aditiva permite no solo la creación de prototipos funcionales, sino también la fabricación de

piezas finales y componentes de alto rendimiento que presentan buenas propiedades mecánicas. Esto ha abierto su aplicación a sectores exigentes como el aeroespacial, automotriz, médico y de bienes de consumo.

La fabricación aditiva abarca diversos sistemas que transforman materiales, ya sea en forma de polvo, líquido o filamento sólido, en objetos tridimensionales. Estos sistemas se clasifican según la tecnología empleada para depositar y consolidar el material (Janydal et al., 2022; HP Development Company, 2025). La Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (del inglés *American Society for Testing and Material*, ASTM), en conjunto con la Organización Internacional de Normalización (del inglés *International Organization for Standardization*, ISO), ha establecido una clasificación estandarizada que agrupa estas tecnologías en siete categorías principales (ISO, 2021), cada una definida por su principio físico de funcionamiento. Las cuales son:

- **Inyección de aglutinante (del inglés *Binder Jetting Technology*, BJT).** En este proceso se utiliza un cabezal de impresión que deposita un aglutinante líquido para consolidar el polvo capa a capa. El aglutinante aplicado se seca mediante lámparas fluorescentes o eléctricas, permitiendo continuar con la siguiente capa, una vez finalizado el proceso, la pieza se somete a tratamientos térmicos en un horno, cuyas condiciones dependen del tipo de aglutinante utilizado. (Ming, 2020).

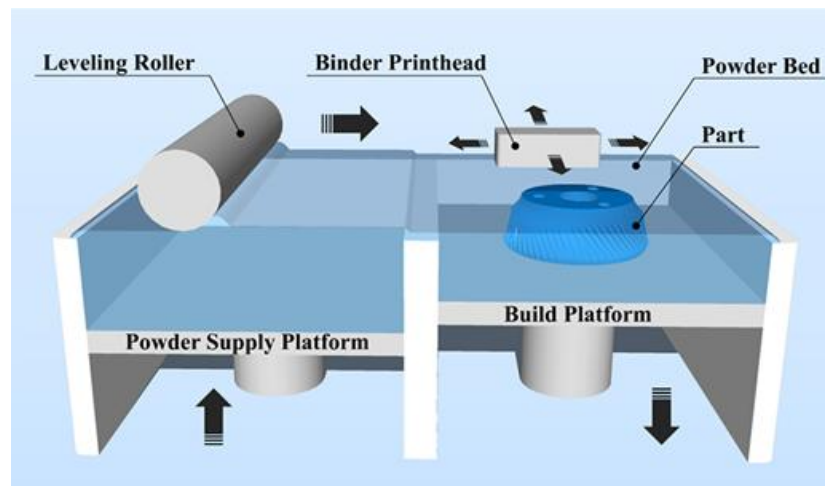


Figura 2 - Proceso de impresión BJT. Imagen tomada de (Ming, 2020).

- **Deposición de energía dirigida (del inglés *Directed Energy Deposition*, DED).** La deposición directa de energía o de energía dirigida es una tecnología que utiliza energía térmica, por ejemplo, láser o haz de electrones, para fundir materiales, generalmente metálicos, depositados simultáneamente por medio de polvo o alambre.

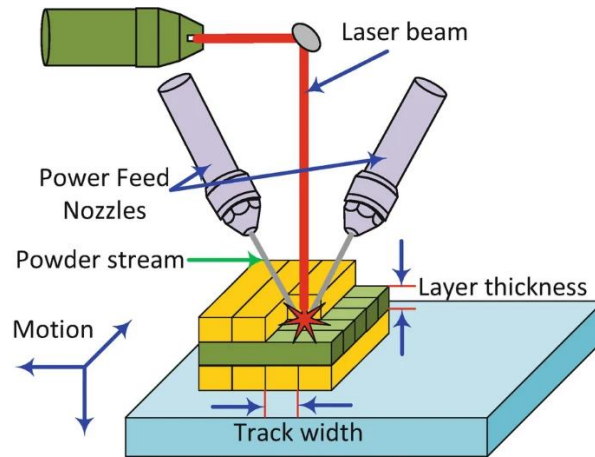


Figura 3 – Proceso de impresión DED. Imagen tomada de (Gibson, 2020).

- **Extrusión de material (del inglés *Material Extrusion*, MEX).** Es el proceso de manufactura aditiva en el cual el material se dispensa selectivamente a través de una boquilla u orificio y se deposita en una plataforma. Dentro de esta categoría se encuentra el modelado por deposición fundida (del inglés *Fused Deposition Modeling*, FDM).

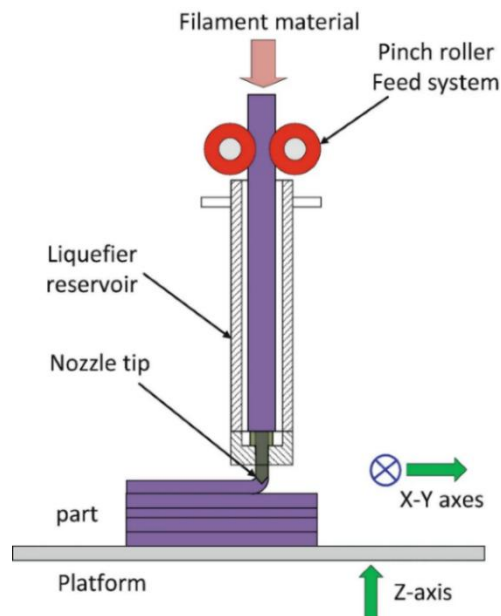


Figura 4 – Proceso de impresión MEX. Imagen tomada de (Gibson, 2020).

- **Inyección de material (del inglés *Material Jetting Technology*, MJT).** Proceso en el cual se depositan selectivamente gotas de material de alimentación, por ejemplo, la resina foto polimérica y cera.

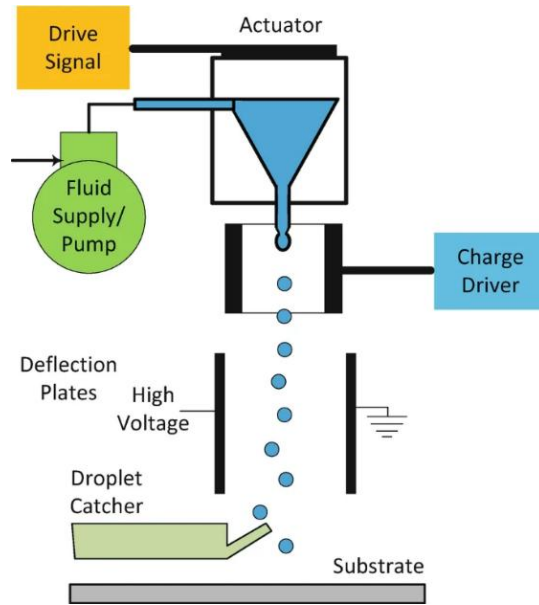


Figura 5 – Proceso de impresión MJT. Imagen tomada de (Gibson, 2020).

- **Fusión de lecho de polvo (del inglés *Powder Bed Fusion, PBF*).** En este proceso, la energía térmica funde selectivamente regiones de un lecho de polvo. Las tecnologías principales que se basan en dicho proceso comprenden la sinterización selectiva por láser (del inglés *Selective Laser sintering, SLS*) y la sinterización directa por láser del metal (del inglés *Direct Metal Laser Sintering DMLS*).

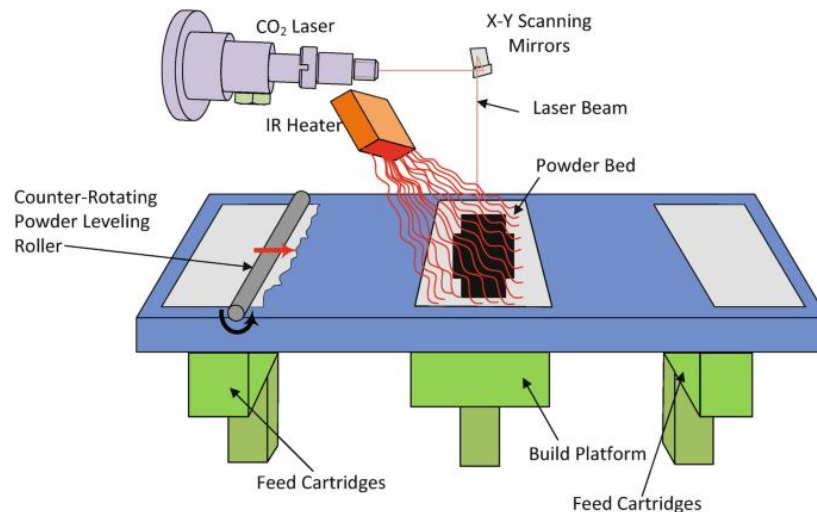


Figura 6 – Proceso de impresión PBF. Imagen tomada de (Gibson, 2020).

- **Laminado de hojas (del inglés *Sheet Lamination*, SHL).** En este proceso se unen hojas de material para formar una pieza.

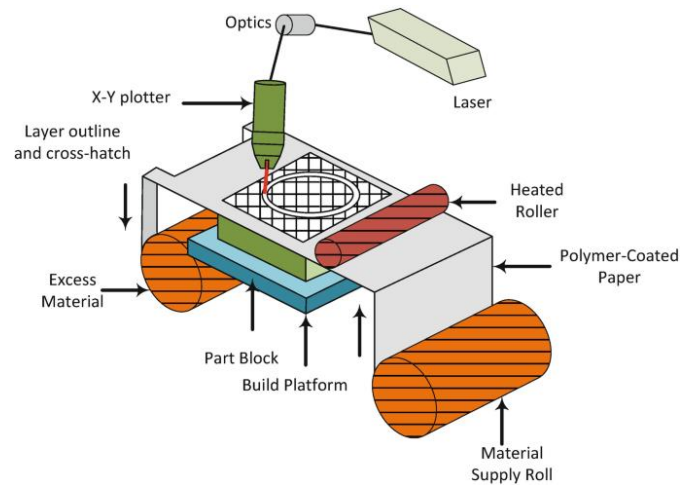


Figura 7 – Proceso de impresión SHL. Imagen tomada de (Gibson, 2020).

- **Fotopolimerización en cuba (del inglés *Vat Photopolymerization*, VPP).** La fotopolimerización utiliza luz ultravioleta para endurecer una resina líquida sensible a la luz capa por capa, formando así objetos sólidos, las tecnologías más representativas dentro de este método incluyen la estereolitografía (del inglés *Stereolithography*, SLA) y el procesamiento digital de luz (del inglés *Digital Light Processing*, DLP) (Janydal et al., 2022; HP Development Company, 2025).

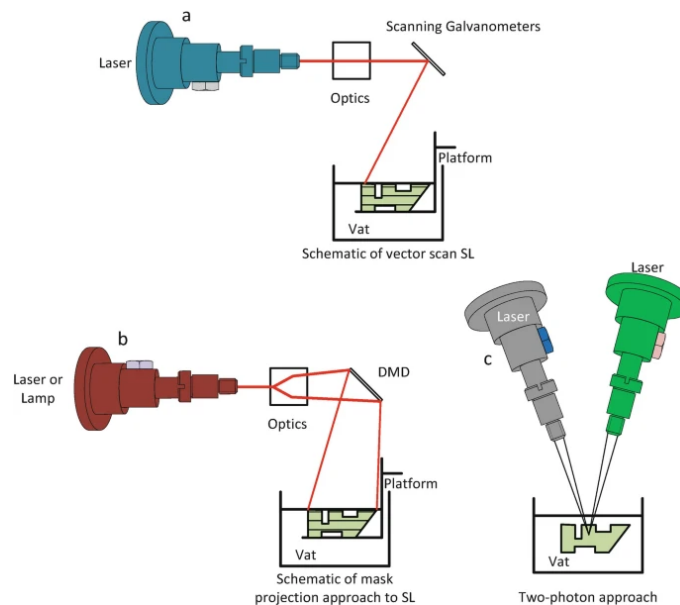


Figura 8 – Proceso de impresión VPP. Imagen tomada de (Gibson, 2020).

Cada tecnología presenta ventajas, limitaciones y aplicaciones específicas, por lo que su selección dependerá de los requerimientos particulares del proyecto o industria.

Asimismo, existen otras normas que establecen estándares para los procesos de fabricación, materiales utilizados y características mecánicas que tanto los materiales como las piezas finales deben cumplir, para ser consideradas piezas de grado industrial o para que puedan venderse (ISO,2021).

La tecnología de modelado por deposición fundida

El sistema basado en modelado por deposición fundida (FDM) es uno de los métodos más comunes y ampliamente utilizados en manufactura aditiva, debido a su sencillez operativa, bajo costo y versatilidad en los materiales compatibles. Este proceso consiste en calentar un filamento termoplástico hasta su punto de fusión y depositarlo capa por capa mediante una boquilla extrusora móvil sobre una plataforma o cama de construcción. Entre los materiales más comunes utilizados en esta tecnología se encuentra el ácido poliláctico (del inglés *Polylactic Acid*, PLA), el acrilonitrilo butadieno estireno (del inglés *Acrylonitrile Butadiene Styrene*, ABS), el polietileno tereftalato glicol modificado (del inglés *Polyethylene Terephthalate Glycol*, PET-G) y diversas poliamidas comúnmente conocidas como Nylon (Janydal, 2022; HP Development Company, 2025).

Debido a estas ventajas, este método fue seleccionado para la fabricación de los prototipos didácticos desarrollados en el presente proyecto. Además, la adquisición del equipo necesario resulta más accesible que en otras tecnologías, y existe una amplia variedad de materiales disponibles que permiten producir piezas conforme a las necesidades específicas del diseño.

METODOLOGÍA Y RECURSOS

Para el desarrollo de este proyecto se emplearon diversos recursos técnicos y metodológicos que abarcan tanto el diseño como la fabricación de los prototipos didácticos. Se utilizó software CAD, en particular Autodesk Inventor, para la modelación tridimensional de los mecanismos. En cuanto a la preparación de los archivos para impresión, se utilizaron los programas Cura y PrusaSlicer, que permitieron generar los códigos G necesarios para el proceso de manufactura. La impresión de los modelos se realizó en una impresora FlashForge Guider IIS, utilizando una variedad de materiales como PLA, ABS, PET-G filamento con fibra de madera y en algunos casos poliuretano termoplástico (del inglés *Thermoplastic Polyurethane*, TPU), seleccionados de acuerdo con las propiedades requeridas en cada pieza del mecanismo.

Metodologías de diseño aplicadas

El diseño de los prototipos didácticos desarrollados en este proyecto siguió una secuencia iterativa basada en el proceso propuesto por Budynas. Si bien, dicho proceso permite generar soluciones para satisfacer diversas necesidades, en la actualidad es fundamental considerar otros factores clave en el diseño, como el enfoque hacia el usuario. En este caso, los usuarios son estudiantes y profesores, quienes pueden determinar si un prototipo didáctico resulta verdaderamente funcional y útil en contextos educativos. Por ello, además del enfoque de Budynas, en este proyecto se incorporaron conceptos relevantes de otras metodologías de diseño, como el Diseño y Desarrollo de Productos (DDP) de Ulrich y Eppinger, el Diseño Centrado en el Usuario (DCU) y *Design Thinking* (DT). Con estos enfoques también se busca poner al estudiante en el centro del diseño y del aprendizaje, haciendo referencia al método Montessori.

Diseño y Desarrollo de Productos (DDP)

Ulrich y Eppinger (2016) definen el desarrollo de productos como un conjunto de actividades interdisciplinarias que inicia con la identificación de una oportunidad de mercado y concluye con la producción, venta y entrega del producto final. Este proceso se estructura en siete fases iterativas, como se muestra en la Figura 9:

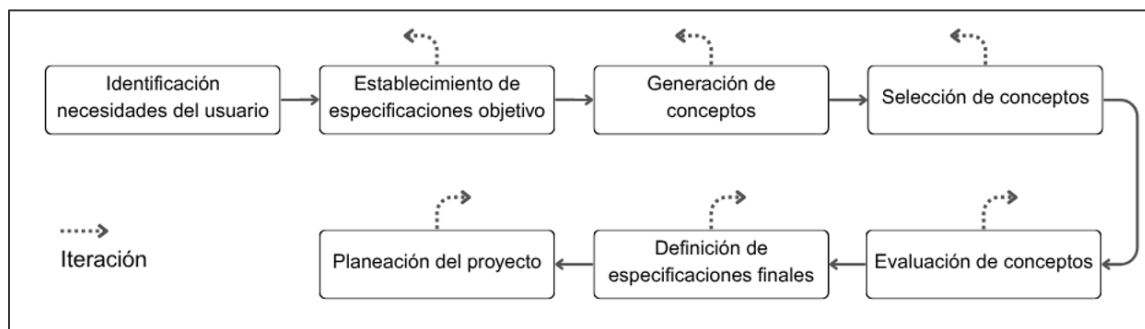


Figura 9 - Proceso de Desarrollo de Productos Ulrich y Eppinger (2016). Recreado a partir de imagen original. La flecha punteada indica que se puede regresar en el proceso a cualquier etapa.

Ulrich y Eppinger también recomiendan que, durante todas las fases del proceso, se lleven a cabo análisis económicos, estudios de mercado, comparativas de productos y actividades de modelado y prototipado, con el fin de garantizar un desarrollo integral del producto.

A continuación, se detalla cómo fue aplicado este proceso durante la realización de este proyecto.

1. **Identificación de necesidades del usuario:** Se analizaron las dificultades de los estudiantes al comprender mecanismos, a través de un cuestionario por Google Forms y revisión bibliográfica.
2. **Establecimiento de especificaciones objetivo:** Se tradujeron las necesidades en criterios técnicos y requerimientos.
3. **Generación de conceptos:** Se elaboraron propuestas de diseño utilizando diversas herramientas y técnicas, como lluvia de ideas, la realización de bocetos y la investigación de otros manuales y prototipos didácticos ya existentes.
4. **Selección de concepto(s):** Se evaluaron las alternativas con base en funcionalidad, factibilidad y viabilidad técnica y los recursos necesarios para su fabricación. Para el manual, se evaluaron los diferentes formatos en los que se podría integrar y presentar la información.
5. **Evaluación de conceptos:** Con ayuda de la impresora FlashForge se imprimieron prototipos iniciales para verificar la funcionalidad de estos. Para el manual, se crearon “hojas de presentación de prueba”, en las que se ejemplificaba y mostraba la distribución de la información.
6. **Definición de especificaciones finales:** Con los prototipos elaborados, se ajustaron los materiales, formas y tolerancias según las pruebas realizadas. De igual forma, para el manual después de analizar los puntos fuertes y débiles de este se establecieron las especificaciones y el formato final.
7. **Planeación del proyecto:** Se diseñó un cronograma de producción para la entrega final, el cual incorporaba tanto la impresión y ensamble de los modelos físicos, como la redacción de los temas del manual.

Design Thinking (DT)

Una de las metodologías de trabajo consideradas para lograr los resultados buscados en este proyecto, fue *Design Thinking* o “Pensamiento de diseño”, la cual se basa en la observación de la conducta humana respecto al producto para desarrollarlo (Serrano y Blázquez, 2015), así como en principios de colaboración y la creatividad. El DT, según Ayala (2024), se entiende como una manera de solucionar problemas mediante el análisis profundo, la empatía con el usuario y el trabajo colaborativo. Este proceso se desarrolla en cinco fases principales, las cuales se muestran en la Figura 10.

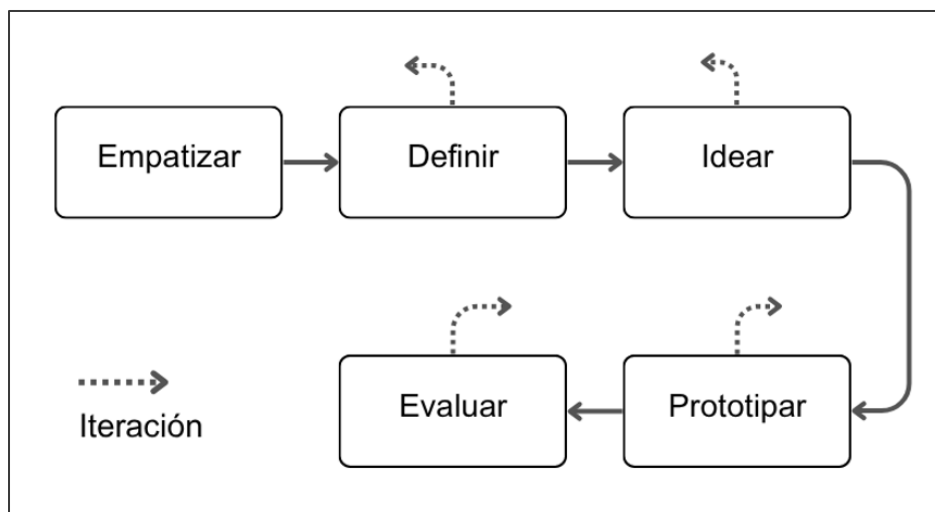


Figura 10 – El proceso de *Design Thinking*. Recreado a partir de lo expuesto por Serrano y Blázquez (2015).

Las etapas que se incorporaron a este proyecto son las siguientes:

- **Empatizar:**

De acuerdo con LN Creatividad y Tecnología (2017) y la CUAIEED de la UNAM (s.f.), la empatía es fundamental para comprender y conectar con la experiencia del usuario, lo cual permite diseñar soluciones más efectivas. En este proyecto, se identificaron las dificultades que enfrentan tanto los estudiantes que actualmente cursan la asignatura como aquellos que ya la han cursado, con el fin de orientar adecuadamente el diseño de los materiales didácticos.

- **Idear:**

En esta fase se promueve la generación de múltiples ideas sin limitarse a una sola solución, fomentando una actitud abierta y creativa. En este caso, se integró con la fase de generación de conceptos de la metodología de Ulrich y Eppinger, enriqueciendo así el proceso creativo.

- **Prototipado:**

En esta fase, las ideas comienzan a materializarse mediante modelos físicos o digitales. El prototipado en *Design Thinking* se vincula con la etapa de evaluación de conceptos del enfoque de Desarrollo del Producto, permitiendo visualizar las soluciones.

- **Evaluar:**

Esta fase consiste en evaluar los prototipos con los usuarios finales para identificar posibles fallos o áreas de mejora. En el contexto educativo de este proyecto, resultó

especialmente importante para validar tanto el funcionamiento físico de los modelos como su función pedagógica, así como la evaluación del contenido del manual.

Diseño Centrado en el Usuario (DCU)

De acuerdo con Flores et al. (2019), esta metodología coloca al usuario en el centro de todo el proceso. Sus fases principales se muestran en la Figura 11.

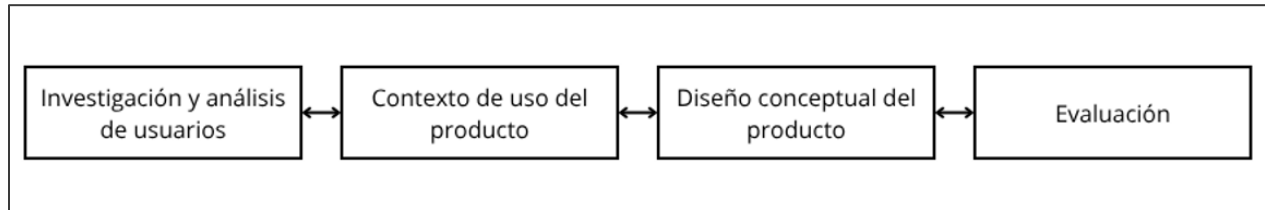


Figura 11- Fases del proceso de Diseño Centrado en el Usuario.

Dado que los modelos desarrollados en este proyecto están dirigidos a estudiantes y docentes, se consideró prioritario incorporar principios de esta metodología. El Diseño Centrado en el Usuario contempla, en sus etapas iniciales, la investigación y análisis de los usuarios, lo cual permite identificar sus necesidades, limitaciones y expectativas.

Otra razón por la que se adoptó esta metodología es su enfoque iterativo: en cada fase, se contempla la retroalimentación del usuario, lo que permite ajustar y mejorar continuamente los elementos diseñados. Esto resulta especialmente útil en contextos educativos, donde las necesidades pueden variar entre los diferentes estilos de enseñanza-aprendizaje.

Integración de las metodologías

Como se ha expuesto a lo largo de esta sección, las metodologías descritas comparten algunas fases y conceptos clave. Sin embargo, cada una aporta elementos únicos que enriquecen el proceso de diseño en ingeniería. Con base en ello, se desarrolló una propuesta metodológica propia que integra las fases y principios más importantes de cada enfoque, adaptándolos a las características y necesidades específicas de este proyecto, como se muestra en la Figura 12.

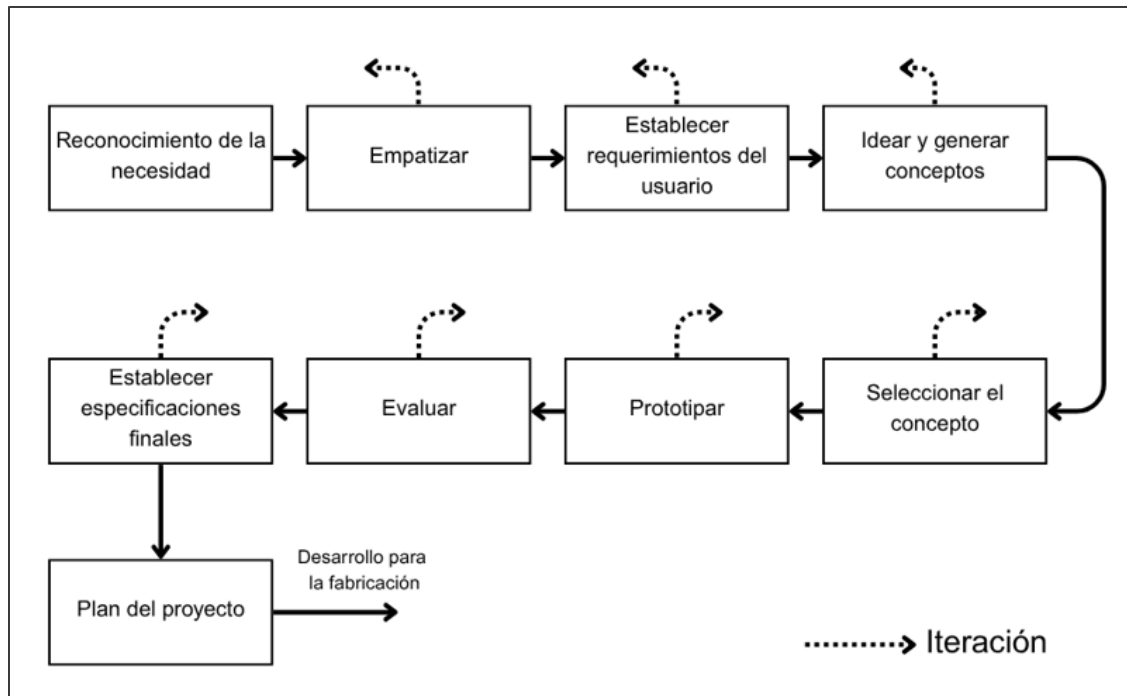


Figura 12 - Metodología de diseño para Mecanismos 3D.

Este modelo de trabajo se basa principalmente en el Diseño y Desarrollo de Productos de Ulrich y Eppinger, al cual se incorporaron elementos esenciales del Diseño Centrado en el Usuario y el *Design Thinking*. El objetivo principal de esta integración es incluir activamente al usuario, en este caso, estudiantes y profesores, dentro del proceso de ingeniería de diseño, asegurando que los productos desarrollados respondan verdaderamente a sus necesidades.

Además, durante el desarrollo metodológico, se tomaron en cuenta principios de diseño para impresión 3D, así como consideraciones de diseño sustentable y sostenible, los cuales se abordarán en mayor profundidad en la sección de Desarrollo.

Proceso de fabricación de los modelos físicos

La tecnología de manufactura aditiva utilizada en este proyecto es FDM, debido a su versatilidad, la posibilidad de trabajar con distintos materiales y su facilidad de operación.

Para fabricar los prototipos físicos, fue necesario seguir un proceso de impresión, el cual se ilustra en la Figura 13.

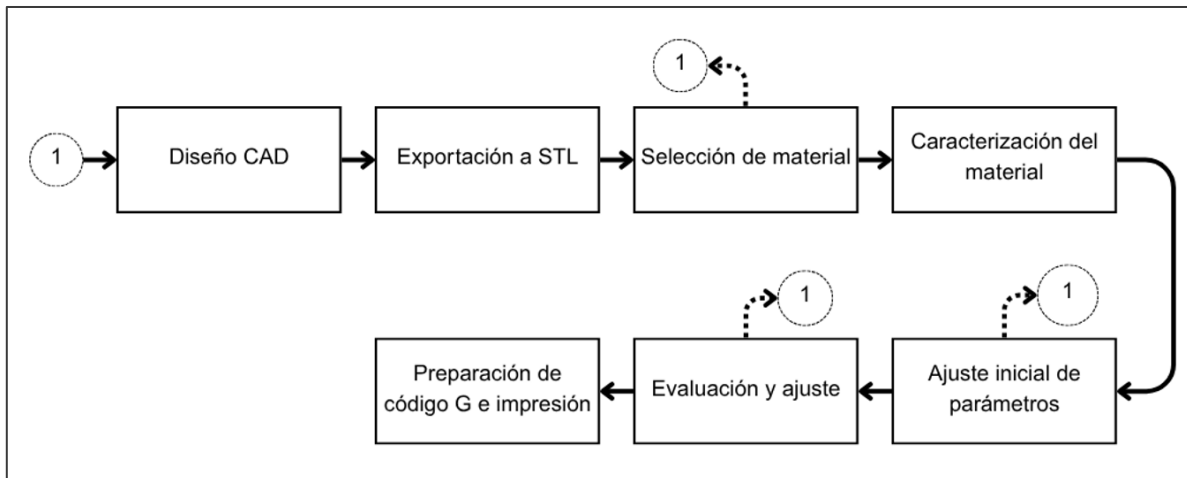


Figura 13 - Proceso de impresión 3D, recreado a partir de (BCN3D, 2020).

1. **Diseño CAD:** En la primera fase del proceso de impresión 3D, se debe crear el modelo mediante un software de diseño asistido por computadora, el cual corresponde a una de las salidas del proceso de diseño para Mecanismos 3D (ver Figura 12). Es importante señalar que, durante la fabricación, puede ser necesario regresar a esta etapa para realizar ajustes de diseño.
2. **Exportación a STL (*Standard Tessellation Language*):** El modelo tridimensional se convierte o exporta al formato STL. Si el diseño está conformado por varias piezas ensambladas, cada una deberá exportarse como un archivo STL independiente. Este formato es compatible con los programas de corte (*slicing*), como Cura o PrusaSlicer, ampliamente utilizados por su carácter de código abierto y su constante actualización por parte de la comunidad.
3. **Selección de material:** Se elige el material de impresión considerando sus propiedades mecánicas y estéticas, la función del prototipo, así como la resistencia y durabilidad requeridas.
4. **Caracterización del material:** Esta etapa es crucial, ya que permite determinar los parámetros óptimos de impresión para evitar fallos comunes, como el *warping*. El cual consiste en el desprendimiento del filamento de la cama de impresión, que provoca deformaciones en la pieza.
5. **Ajuste inicial de parámetros:** Se configuran los parámetros de impresión, como temperatura, velocidad, generación de soportes, patrón y densidad de relleno, bordes, entre otros. Esto permite estimar el tiempo de impresión y la cantidad de material requerido.

6. **Evaluación y ajuste:** Se verifica si el modelo cumple con las especificaciones planteadas, así como con los criterios de costo, tiempo y consumo de material. En caso necesario, se ajustan el diseño o los parámetros antes de realizar la impresión final.
7. **Preparación de código e impresión:** Se genera el archivo de código G con los ajustes finales y se envía a imprimir. Antes de generar el archivo, es necesario verificar que el software de impresión tenga correctamente instalada la impresora de trabajo.

Como se observa en la Figura 13, este proceso es iterativo, lo que implica la optimización continua de los parámetros de impresión y, en algunos casos, modificaciones en el diseño para cumplir con los requisitos establecidos.

Recursos técnicos utilizados

Softwares

- Autodesk inventor. Software CAD empleado para modelado 3D, ensambles, análisis de movimiento y creación de planos técnicos.
- Cura / Prusa Slicer: Aplicaciones para la preparación de archivos de impresión, utilizadas para configurar parámetros como altura de capa, densidad, soportes y velocidad.

Materiales y máquinas

La fabricación de los prototipos se llevó a cabo con una impresora FlashForge Guider IIS. Se utilizaron distintos tipos de filamento, según las necesidades de cada pieza:

- PLA: Ideal para piezas rígidas pero que no están sometidas a esfuerzos muy grandes, económicas y con buen acabado superficial.
- ABS: Utilizado en piezas que requieren mayor resistencia al impacto o a la temperatura.
- TPU: Para componentes flexibles o móviles.
- Filamento con fibra de madera: Aplicado en casos donde se buscaba una textura o acabado particular con valor visual o sensorial.

Cada material fue seleccionado en función de criterios técnicos (resistencia, flexibilidad, temperatura de fusión) y pedagógicos (visibilidad, manipulación, seguridad).

Otras herramientas

- *Mototool* o Rectificador con diferentes accesorios, como lijas, discos diamantados o brocas. Fueron utilizados principalmente para el posproceso de las piezas y modelos impresos.
- Navajas. Para eliminar el material sobrante de algunas piezas.
- Calibrador Vernier. Tomar medidas con mayor precisión, conocer tolerancias y medir los errores de impresión.
- Tornillos y tuercas. Se utilizaron los tornillos y tuercas que son para computadoras por su tamaño y para el ensamble de algunos componentes.
- Rodamientos. Para facilitar la movilidad de las juntas rotacionales.

DESARROLLO

Diseño de los prototipos

Durante esta fase se materializaron los prototipos diseñados con base en el programa de la asignatura de Mecanismos, siguiendo la metodología ya señalada en la Figura 13. Con el fin de reforzar el aprendizaje práctico de los conceptos estudiados, se seleccionaron mecanismos representativos, como sistemas de cuatro barras, trenes de engranes, juntas y conjuntos leva-seguidor, priorizando aquellos que aportaran mayor valor didáctico y facilidad de comprensión para los estudiantes.

A continuación, se explicará a detalle cada fase, siguiendo la secuencia presentada en la Figura 12.

Reconocimiento de la necesidad

Se identificó la carencia de material didáctico físico en la asignatura de Mecanismos, lo cual dificultaba la comprensión de los principios cinemáticos y de transmisión de movimiento por parte de los estudiantes. Esta situación motivó la creación de prototipos que pudieran ser manipulados en clase para observar de forma tangible el funcionamiento de diversos sistemas mecánicos.

Con el propósito de entender la percepción de los estudiantes sobre esta necesidad, se aplicó una encuesta a un grupo completo de la asignatura de Mecanismos (ver Tabla 1 y Tabla 2). Los resultados se expresaron en porcentajes para identificar tendencias generales dentro del curso. Dichos datos respaldan la pertinencia del proyecto, al mostrar que la mayoría de los encuestados coincidió en que la falta de material didáctico limita su aprendizaje y que la implementación de prototipos manipulables presenta un recurso favorable para la comprensión de los conceptos teóricos.

Tabla 1. Encuesta para identificación de la necesidad y entendimiento del contexto del estudiante.

No.	Categoría	Pregunta	Tipo de respuesta	Propósito
1	Percepción del uso de material didáctico.	¿Consideras que el uso de material didáctico en diversas materias ayuda a facilitar tu proceso de aprendizaje?, ¿De qué forma crees que te ayuda?	Respuesta abierta	Identificar la percepción general sobre el uso de material didáctico en el aprendizaje.
2	Preferencias de tipo de material didáctico.	¿Qué tipo de material prefieres utilizar como apoyo?	Opción múltiple (Libros, Simulaciones, Modelos físicos, Vídeos, Otros)	Determinar la preferencia de los estudiantes en cuanto al tipo de material didáctico.
3	Experiencia previa con material didáctico	En alguna de las materias que has llevado hasta ahora, ¿tus profesores han utilizado material didáctico como apoyo a la enseñanza?, ¿qué tipo de material?	Opción múltiple (Libros, Simulaciones, Modelos físicos, Vídeos, Otros)	Conocer los tipos de material empleados por los profesores y la familiaridad de los estudiantes con estos.
4	Uso por asignatura	¿En qué materias has utilizado el material didáctico?	Respuesta abierta	Reconocer las asignaturas donde los estudiantes han interactuado con materiales didácticos.
5	Sugerencias de aplicación.	¿Qué materias, de las siguientes, consideras que deberían integrar material de apoyo?	Opción múltiple: Dinámica de maquinaria / Mecanismos / Cinemática y Dinámica / Estática / Mecánica de sólidos/ Otro.	Detectar áreas de oportunidad para incorporar materiales didácticos.
6	Producción de material propio	¿Alguna vez has realizado tu propio material didáctico?, ¿de qué tipo?	Opción múltiple: (Apuntes / Simulaciones / Modelos físicos / Nunca he realizado mi propio material didáctico)	Conocer el tipo de material que elaboran los estudiantes por cuenta propia.

7	Utilización del material propio	¿Para qué materias has ocupado dicho material?	Respuesta abierta	Identificar las asignaturas en donde es más frecuente el uso de material didáctico, y el uso práctico de éste.
8	Importancia percibida	¿Qué tan importante es el uso de material didáctico en el salón de clases?	Escala Likert (1 - 5: Nada importante a Muy importante).	Medir el nivel de valoración del estudiante hacia el uso de material didáctico.
9	Estilo de aprendizaje	¿Con qué estilo de aprendizaje te identificas más?	Opción múltiple: Visual / Auditivo / Kinestésico	Establecer la relación entre el estilo de aprendizaje y la preferencia por materiales didácticos.
10	Filtro de respuestas	¿Has cursado la materia de Mecanismos y/o Dinámica de Maquinaria?	Opción: (Sí / No)	Filtrar la muestra para la aplicación de la otra parte del cuestionario, enfocada en estudiantes que han cursado la materia de mecanismos.

Tabla 2. Preguntas del cuestionario sobre las materias de Mecanismos y Dinámica de Maquinaria.

No.	Categoría	Pregunta	Tipo de respuesta	Propósito
11	Dificultades de aprendizaje en Mecanismos	¿Qué temas de los siguientes fueron más difíciles de comprender, para ti, de la materia de Mecanismos?	Opción múltiple (lista de temas específicos)	Identificar los contenidos que presentan mayor dificultad para los estudiantes en la materia de Mecanismos.
12	Dificultades de aprendizaje en Dinámica de Maquinaria	¿Qué temas de los siguientes fueron más difíciles de comprender, para ti, de la materia de Dinámica de Maquinaria?	Opción múltiple (lista de temas específicos)	Reconocer las áreas temáticas que requieren refuerzo o apoyo didáctico en Dinámica de Maquinaria.

13	Estrategias docentes	¿Qué herramientas utilizan tus profesores para ilustrar estos temas?	Opción múltiple (presentaciones, software, vídeos, simuladores, modelos físicos, otros).	Identificar las estrategias y recursos actuales empleados por los docentes para la enseñanza de Mecanismos y Dinámica de Maquinaria.
14	Percepción sobre modelos físicos	¿Consideras que el uso de modelos físicos te ayudaría a entender con mayor claridad los temas de estas materias?	Escala (1 – 5: No son necesarios a Muy necesarios)	Evaluar la percepción de los estudiantes respecto a la efectividad de los modelos físicos en la comprensión de los conceptos teóricos.
15	Valoración de características de los modelos físicos.	Al utilizar modelos físicos, ¿qué es lo que más valoras en ellos?	Opción múltiple: (facilidad, estética, portabilidad, adaptabilidad, otro)	Determinar qué atributos de los modelos físicos son más apreciados por los estudiantes para favorecer el aprendizaje.

Entre las respuestas recabadas para la pregunta 1, se encuentran los siguientes comentarios:

- “Claro, ayudan a visualizar mejor, para tener un mayor entendimiento.”
- “Las simulaciones te ayudan a trasladar la parte matemática a algo más visual; así se comprende mejor cómo varía el movimiento.”
- “Sí, ayuda principalmente para el alumnado que tiene un aprendizaje visual, ya que en ocasiones resulta difícil imaginar el movimiento de los mecanismos.”

Estas respuestas ejemplifican la necesidad de contar con recursos que hagan tangible la teoría, permitiendo a los estudiantes relacionar de manera directa los principios cinemáticos con su aplicación práctica.

Por otro lado, para profundizar en el reconocimiento de esta necesidad desde la perspectiva de los propios estudiantes, se incluyó la pregunta: “¿Qué tipo de material prefieres utilizar como apoyo?” (pregunta 2, Tabla 1). Con ello fue posible identificar los recursos que los estudiantes consideran más efectivos para facilitar su aprendizaje y, en consecuencia, orientar el desarrollo de material didáctico acorde con sus preferencias.

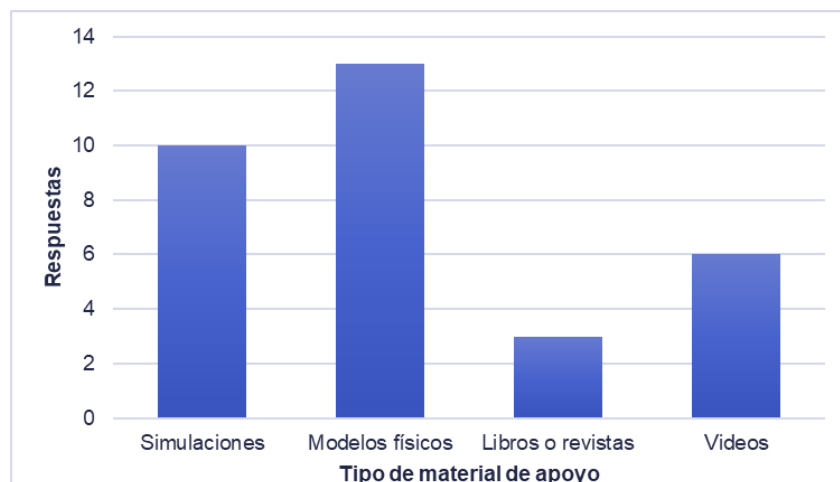


Figura 14 - Tipo de material de apoyo preferido por los estudiantes.

Los resultados obtenidos (Ver Figura 14) muestran una clara preferencia hacia los recursos que permitan la visualización y manipulación de los conceptos teóricos. En particular, los **modelos físicos** fueron señalados como la opción más valiosa, seguidos por las **simulaciones**, mientras que los **vídeos explicativos** y el uso de **libros o revistas** ocuparon lugares secundarios. Estos resultados evidencian la importancia de contar con herramientas tangibles que complementen la teoría, reforzando la pertinencia de la propuesta de este proyecto.

Con el propósito de conocer la valoración general que los estudiantes otorgan al uso de material didáctico dentro del aula, se incluyó en la encuesta la pregunta 8. Esta interrogante permitió identificar el grado de reconocimiento que los alumnos conceden a dichos recursos como apoyo en su proceso de aprendizaje, así como dimensionar su papel dentro de la enseñanza de asignaturas teóricas y prácticas. En la Figura 15, se puede apreciar que el 60% de las respuestas consideran que el uso de material didáctico es muy importante, y el 33% lo considera importante.

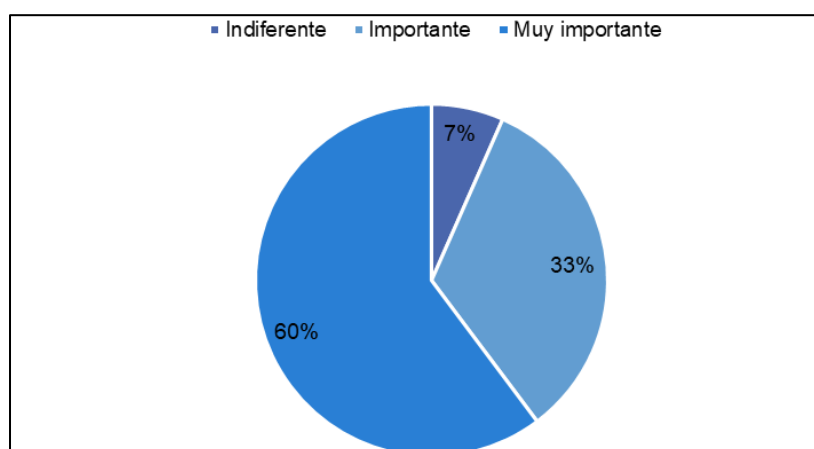


Figura 15 - Opinión de los estudiantes sobre la importancia del uso de material didáctico en el salón de clases.

En la Tabla 2, se muestran preguntas cuyo propósito general fue entender las necesidades específicas de los estudiantes para las materias de Mecanismos y Dinámica de Maquinaria.

Para comprender la percepción de los estudiantes sobre los modelos físicos, se utilizó la pregunta no. 14 de la Tabla 2. Los resultados obtenidos muestran que la mayoría de los estudiantes valoran de manera significativa el uso de modelos físicos: el 67% afirmó que estos definitivamente facilitarían su comprensión, el 27% se mostró indiferente y solo el 6% consideró que no tendrían un impacto relevante.

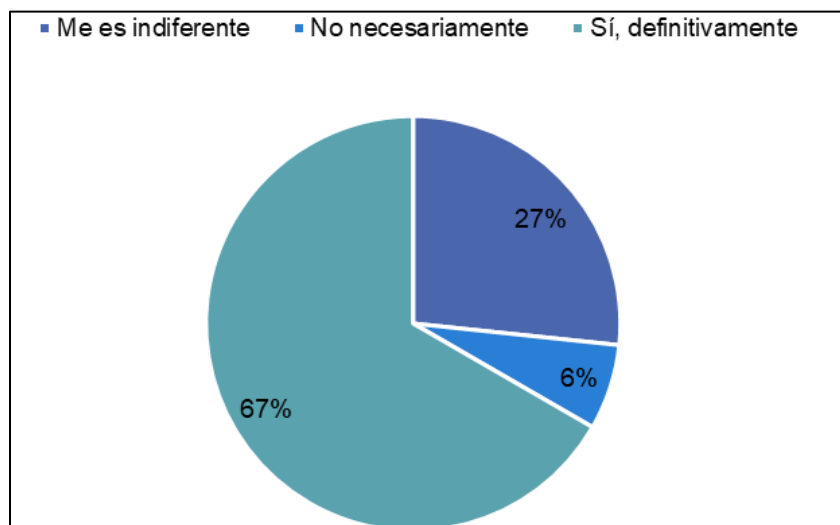


Figura 16 - Respuesta de los estudiantes a la pregunta sobre si los modelos físicos representan ayuda para la comprensión de los temas de la materia.

Esta tendencia confirma que los alumnos reconocen en los prototipos una herramienta útil para hacer tangible la teoría y superar las dificultades asociadas al aprendizaje de mecanismos.

Empatizar

En esta fase se buscó comprender de manera directa las experiencias y emociones de los estudiantes frente al aprendizaje de la asignatura de Mecanismos. El objetivo no fue únicamente identificar la ausencia de materiales didácticos, sino reconocer cómo los estudiantes viven esta problemática: qué dificultades enfrentan, qué recursos consideran más útiles y qué características esperan de los prototipos propuestos.

Para ello se recurrió a la observación en clase, al diálogo con el docente y a la aplicación de una encuesta que permitió recopilar percepciones reales de los estudiantes (Tablas 1 y 2).

Del análisis se identificaron cuatro ejes principales:

1. Dificultad para imaginar los movimientos a partir de diagramas

Los alumnos manifestaron que el aprendizaje basado únicamente en representaciones gráficas genera confusión, ya que no siempre es sencillo trasladar los esquemas bidimensionales a un entendimiento tridimensional. Algunas respuestas de la encuesta lo expresan con claridad:

- “Que a veces el imaginar resulta difícil.”
- “Sí, es más fácil asimilar conceptos abstractos, que a veces no te imaginas a la primera”
- “Sí ayuda, principalmente para el alumnado que tiene un aprendizaje visual, ya que en ocasiones resulta difícil imaginar el movimiento de los mecanismos.”
- “Sí, es un aprendizaje más real y directo, me permite aprender de forma más personalizada.”

Estos comentarios reflejan la necesidad de contar con recursos tangibles que vuelvan visible aquello que, en papel, resulta abstracto y complejo.

2. Preferencia por modelos físicos manipulables

Cuando se preguntó qué tipo de recursos consideran más valiosos (pregunta 5, Tabla 1), la mayoría de los estudiantes coincidió en que los modelos físicos constituyen el apoyo más efectivo, como se observó en el apartado *“Reconocimiento de la necesidad”* (Ver Figura 16).

Al profundizar en lo que más valoran de estos recursos (pregunta 15, Tabla 2), destacaron aspectos como:

- Facilidad de uso e intuición.
- Posibilidad de modificación o adaptación a distintas formas.
- Diseño atractivo que motive la interacción.

Un estudiante lo sintetizó de la siguiente manera:

- “Que sean de fácil uso e intuitivos, que resistan la manipulación y resulten atractivos.”

Estos atributos se convirtieron en criterios fundamentales de diseño para el desarrollo de los prototipos didácticos.

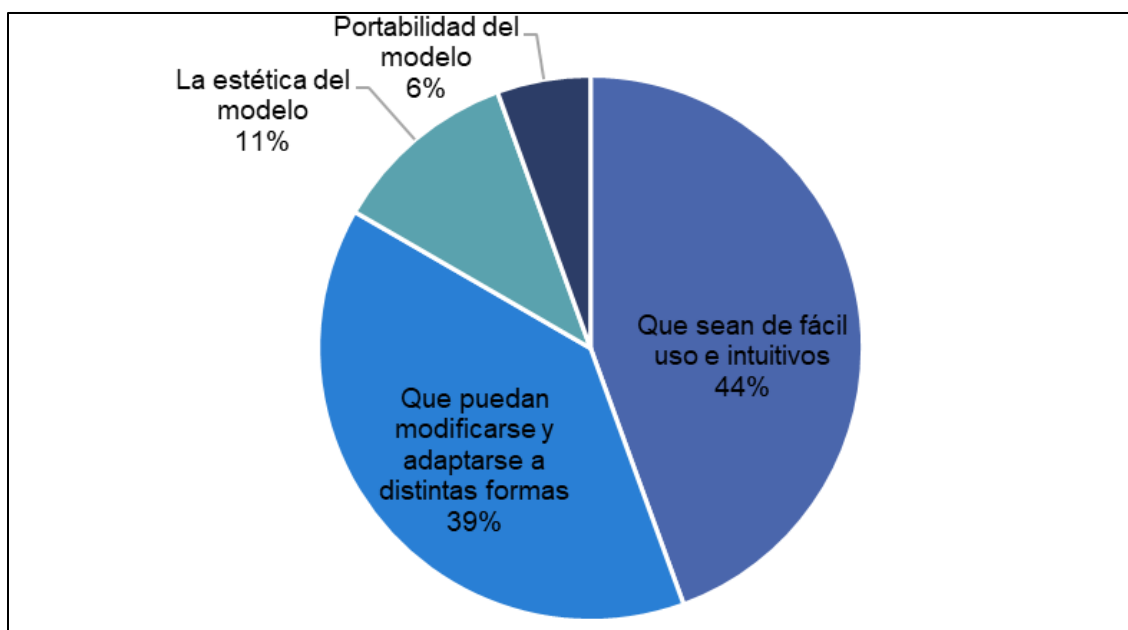


Figura 17 - Atributos que para los estudiantes resultan importantes en los modelos físicos.

3. Expectativas sobre el aprendizaje con prototipos

La información recabada permitió identificar que los estudiantes:

- Se sienten frustrados al enfrentar temas abstractos sin apoyos visuales o físicos.
- Esperan prototipos que les permitan manipular y visualizar los movimientos reales de los mecanismos.
- Valoran la claridad en el movimiento, la resistencia del material y el atractivo visual del diseño.

En síntesis, esta fase permitió pasar de la identificación de una carencia a un entendimiento profundo de las vivencias y expectativas de los alumnos. Esto asegura que el diseño de los prototipos no solo responda a la falta de materiales didácticos, sino que también incorpore las características que los estudiantes consideran esenciales para mejorar su proceso de aprendizaje.

Asimismo, con las respuestas recabadas se realizaron mapas de empatía con la finalidad de identificar los principales puntos de dolor y las expectativas que tienen sobre su aprendizaje en la materia de Mecanismos y Dinámica de Maquinaria. Se realizaron un total de cuatro mapas de empatía: uno por cada estilo de aprendizaje y un último que recoge las respuestas de todos los estudiantes. A continuación, se presenta el mapa general y, en el Anexo I, el resto de los mapas.

Mapa de Empatía

Edad promedio: 21 - 23 años
Carreras: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
Estilo de aprendizaje predominante: Visual y kinestésico.
Nivel académico: 5° - 7° semestre

¿QUÉ PIENSA Y SIENTE?

Los estudiantes consideran que el uso de material didáctico facilita su proceso de aprendizaje, ya que les permite visualizar y comprender mejor los conceptos abstractos. Muchos mencionan que "imaginar el funcionamiento de un mecanismo resulta difícil sin apoyo visual o físico". Sienten motivación cuando pueden interactuar directamente con el material, pues esto les ayuda a relacionar la teoría con la práctica y recordar los conceptos con mayor facilidad. También perciben cierta frustración cuando las clases carecen de recursos o apoyo visual.

¿QUÉ OYE?

Sus profesores le explican que los mecanismos están presentes en muchos contextos cotidianos, e insisten en comprender sus principios fundamentales. De sus compañeros oyen que los temas más complejos se entienden mejor cuando se trabaja con simulaciones o modelos físicos, y que los proyectos prácticos son los que realmente les ayudan a afianzar la teoría.



¿QUÉ VE?

En las aulas, los estudiantes observan que no todos los profesores utilizan material didáctico o lo hacen de forma limitada. Identifican que las simulaciones digitales son útiles, pero no sustituyen la experiencia de manipular modelos físicos reales. Notan que en otras materias, también sería valioso incorporar más apoyos visuales o modelos físicos.

¿QUÉ DICE Y HACE?

Los estudiantes suelen buscar recursos externos como videos explicativos, simulaciones y presentaciones interactivas. Muchos elaboran sus propios apuntes o esquemas para reforzar lo aprendido, y algunos han intentado construir mecanismos sencillos para visualizar movimientos o relaciones entre piezas. También intercambian materiales entre compañeros para complementar las clases.

¿QUÉ LE DUELE?

- Dificultad para imaginar el funcionamiento de mecanismos complejos solo a partir de fórmulas o dibujos planos.
- Escasez de materiales físicos o modelos disponibles en la Facultad.
- Falta de integración de recursos didácticos adaptados a distintos estilos de aprendizaje.
- Dependencia de simulaciones digitales que no siempre son intuitivas ni permiten interacción directa.

¿A QUÉ ASPIRA?

- Comprender de forma clara y tangible los principios de movimiento y fuerza en los mecanismos.
- Contar con material didáctico físico y digital que sea intuitivo, fácil de usar y adaptable a distintos temas o casos de estudio.
- Que haya mayor cantidad de recursos didácticos, de preferencia, avalados por profesores.
- Tener un aprendizaje más significativo y aplicado, que conecte la teoría con la realidad técnica y profesional.

Figura 18 - Mapa de empatía general. Elaborado con base en las respuestas de los estudiantes al cuestionario aplicado.

De esta fase del diseño y de los mapas de empatía se hallaron tanto los puntos de dolor como las expectativas o aspiraciones de los estudiantes. Estos hallazgos permiten comprender mejor la necesidad de los estudiantes, y proporcionan una base para establecer los objetivos y requerimientos que el material didáctico deberá cumplir. En la Tabla 3 se detallan los puntos de dolor y las expectativas de los estudiantes.

Tabla 3. Conclusiones sobre el cuestionario aplicado a los estudiantes y la fase de empatizar.

Puntos de dolor	Aspiraciones o expectativas
• Dificultad para imaginar el funcionamiento de mecanismos complejos solo a partir de fórmulas o dibujos planos. • Escasez de materiales físicos o modelos disponibles en la Facultad. • Falta de integración de recursos didácticos adaptados a distintos estilos de aprendizaje. • Dependencia de simulaciones digitales que no siempre son intuitivas ni permiten interacción directa.	• Comprender de forma clara y tangible los principios de movimiento y fuerza en los mecanismos. • Contar con material didáctico físico y digital que sea intuitivo, fácil de usar y adaptable a distintos temas o casos de estudio. • Que haya mayor cantidad de recursos didácticos, de preferencia, avalados por profesores. • Tener un aprendizaje más significativo y aplicado, que conecte la teoría con la realidad técnica y profesional.

Establecer requerimientos del usuario

A partir de la información obtenida, se definieron las especificaciones iniciales, las cuales se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Tabla de requerimientos del usuario

Requerimientos del usuario	Nivel importancia
El prototipo didáctico debe ser funcional e ilustrar correctamente el tema.	5
El prototipo debe ser fácil de construir.	4
Las piezas de los prototipos deben poder compartirse entre ellos o cumplir más de una función.	3
Los prototipos deben poder ensamblarse y desensamblarse.	4
La fabricación de los prototipos no debe ser excesivamente costosa.	4

Desde el inicio, las autoras de este reporte propusieron algunos temas que consideraron relevantes para el diseño y la fabricación de los prototipos, con base

en su experiencia, entre los cuales se incluyeron: tipos de juntas, trenes de engranes, inversión de un mecanismo, aceleración de Coriolis y mecanismo leva-seguidor.

Asimismo, al analizar las respuestas obtenidas en el cuestionario, específicamente en la pregunta número 11, se determinó la lista final de temas a abordar en una primera fase, tomando en cuenta el porcentaje de participación y la importancia asignada por los estudiantes. La Figura 19 muestra el porcentaje de popularidad correspondiente a cada tema y en la Tabla 5 se presenta la lista inicial de temas.

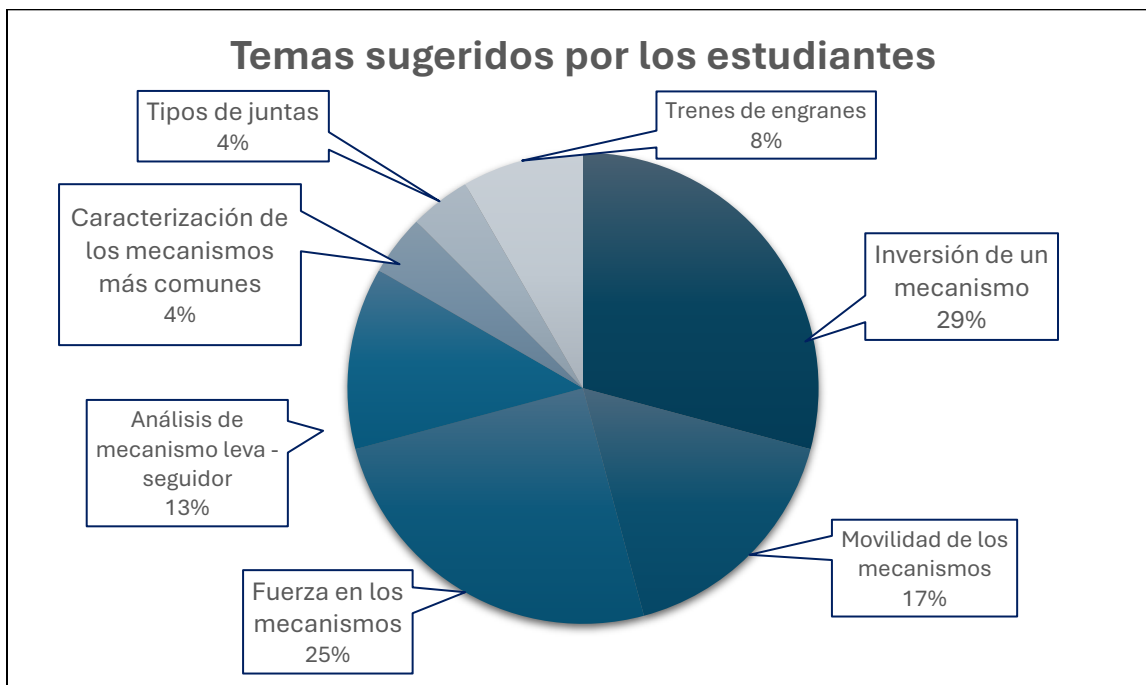


Figura 19 - Temas más difíciles de comprender según las respuestas de los estudiantes al cuestionario aplicado.

Tabla 5. Lista inicial de temas a abordar.

No. de Tema	Nombre
1	Inversión de un mecanismo
2	Fuerzas en los mecanismos
3	Movilidad en los mecanismos
4	Análisis del mecanismo leva-seguidor
5	Trenes de engranes
6	Tipos de juntas

La selección final dependerá de las evaluaciones que se realicen en las siguientes etapas del proyecto, así como de los recursos disponibles.

Idear y generar conceptos

En esta etapa se buscó generar una variedad de propuestas para representar de manera didáctica los contenidos de la asignatura de Mecanismos. El objetivo principal fue ampliar el panorama de posibilidades, explorando diversas formas de materializar los principios cinemáticos y de transmisión de movimiento.

Se plantearon múltiples ideas que contemplaban la fabricación de modelos mediante la impresión 3D, además de la posibilidad de combinar recursos físicos con apoyos visuales, como simulaciones o vídeos. En otras palabras, la intención fue explorar diferentes alternativas de materiales y formatos, evaluando de manera general su potencial para favorecer la comprensión práctica de los estudiantes.

El proceso de ideación se desarrolló a través de una lluvia de ideas, la investigación del “mercado”, es decir, la revisión de prototipos disponibles a la venta, o de material ya elaborado por la comunidad académica y el análisis de mecanismos presentes en otras máquinas o en la vida cotidiana.

Esta fase permitió visualizar distintos caminos de desarrollo y sentó las bases para las etapas posteriores del proyecto. La Tabla 6 presenta los conceptos generados durante esta etapa, junto con una breve descripción de cada uno.

Tabla 6. Conceptos generados en la etapa de ideación.

ID.	Concepto	Descripción
1	Mecanismos básicos	Diseño y fabricación de mecanismos físicos enfocados en los mecanismos básicos o más comunes abordados en la asignatura, como trenes de engranes. Incluye la elaboración y documentación de planos para su modelado y fabricación.
2	Mecanismos con aplicaciones	Diseño y fabricación de mecanismos físicos que representen su funcionamiento en sistemas aplicados o en dispositivos reales. El énfasis se coloca en contextualizar los mecanismos dentro de aplicaciones prácticas, mostrando su integración en sistemas mecánicos. Los modelos se compartirían a los profesores para su uso en el salón de clases.
3	Cuadernos de apuntes de la materia de Mecanismos	Elaboración de un cuaderno de apuntes similar a los utilizados en la Facultad de Ingeniería, que incluya instrucciones para dibujar y animar distintos mecanismos con software CAD, así como indicaciones para su posterior fabricación.
4	Prototipos didácticos impresos en 3D con manual de apoyo	Diseño y fabricación de prototipos didácticos físicos, enfocados en ilustrar los principales temas de la asignatura de Mecanismos. Los modelos están pensados para ser manipulables, resistentes y que representen o se asemejen a sistemas físicos reales. Se acompañan de un manual-catálogo que documenta el proceso de diseño y fabricación, así como la explicación del funcionamiento de cada mecanismo y el principio teórico que busca demostrar.

Seleccionar el concepto

Esta fase tuvo como objetivo consolidar las ideas generadas hacia un enfoque de producto didáctico coherente y viable. A diferencia de la etapa anterior, en esta se definió el concepto de solución que guiaría el desarrollo del proyecto: un conjunto de prototipos físicos manipulables, acompañado de un manual complementario que documenta su construcción y explica sus características.

Para la selección del concepto se evaluaron las alternativas propuestas considerando, por un lado, los requerimientos iniciales del usuario y, por otro, los criterios derivados de la fase de empatizar, los cuales reflejan las necesidades y expectativas de los estudiantes. La Tabla 7 presenta los criterios utilizados para llevar a cabo dicha evaluación.

Tabla 7. Criterios de selección.

Id.	Criterio	Descripción
A	Claridad del fenómeno	El movimiento y las relaciones cinemáticas deben ser evidentes y comprensibles para el estudiante al manipular el modelo.
B	Pertinencia académica	Alineación con los contenidos de la asignatura y con los temas que presentan mayor dificultad conceptual.
C	Viabilidad de fabricación	Factibilidad de fabricación considerando los recursos disponibles, materiales, tiempos y procesos requeridos.
D	Costos	Materiales de fabricación y costo general de fabricación accesibles para los estudiantes y la institución.
E	Didácticos	Capacidad del modelo para promover la interacción activa del estudiante con sus componentes y favorecer la comprensión de los conceptos teóricos.
F	Funcionales	Correcto funcionamiento mecánico del modelo, garantizando un movimiento fluido, repetible y acorde con el principio que representa.

Con el fin de establecer la importancia relativa de cada criterio dentro del proceso de selección, se recurrió a una matriz de comparación por pares. Esta herramienta permitió asignar un peso a cada criterio en función de su relevancia para el cumplimiento de los objetivos del proyecto, priorizando aquellos aspectos relacionados con la interacción didáctica, el correcto funcionamiento mecánico y la viabilidad de fabricación de los prototipos.

Tabla 8. Comparación y ponderación de los criterios de selección.

Criterio	A	B	C	D	E	F	Suma	Valor
A		1	0	1	0	0	2/15	0.13
B	0		0	1	0	0	1/15	0.07
C	1	1		1	0	0	3/15	0.20
D	0	0	0		0	0	0/15	0.00
E	1	1	1	1		0	4/15	0.27
F	1	1	1	1	1		5/15	0.33

En la Tabla 9, se muestra la evaluación de cada uno de los conceptos. Es importante mencionar que el criterio D (Costos) obtuvo un peso nulo, lo cual indica que, si bien el aspecto económico fue considerado, no representó un factor decisivo en la comparación de las alternativas, ya que los conceptos propuestos presentaban costos de implementación similares, dado que uno de los objetivos del proyecto fue utilizar la impresión 3D.

Tabla 9. Evaluación de los conceptos.

Concepto	Valor	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4
A	0.13	1	1	0	1
B	0.07	1	1	1	1
C	0.20	1	1	1	1
E	0.27	0	0	0	1
F	0.33	1	1	0	1
Totales	1	0.73	0.73	0.27	1

Nota: Cada concepto fue evaluado de manera binaria (cumple: 1 / no cumple: 0) respecto a cada criterio.

A partir de la evaluación de los conceptos, el Concepto 4 obtuvo la puntuación más alta, al cumplir con todos los criterios de selección, particularmente con aquellos relacionados con el carácter didáctico y correcto funcionamiento de los mecanismos (E y F), que también resultan ser los de mayor peso.

A diferencia de las demás alternativas, este concepto no solo permite ilustrar con claridad los principios cinemáticos, sino que también promueve la interacción directa del estudiante con prototipos físicos que imitan o se asemejan a sistemas reales y se acompañan de un manual que refuerza la comprensión teórica, además de que describe el procedimiento para fabricar los modelos. Por lo anterior, se determinó que el Concepto 4 es la solución más adecuada para el desarrollo del proyecto.

Prototipar

En esta fase se desarrollaron los modelos CAD y las simulaciones correspondientes mediante el software de Autodesk Inventor, así como diversas pruebas de impresión

3D. La finalidad principal fue identificar los parámetros de diseño e impresión que ofrecieran el mejor desempeño funcional y estructural de los prototipos.

A partir de esta etapa también se comenzó a trabajar en el *proceso de fabricación de los modelos físicos*. Tal como se describe en la sección de Metodología y Recursos, una vez concluido el diseño en CAD, el siguiente paso consiste en exportar los modelos al formato STL y, posteriormente, seleccionar el material de impresión adecuado. Para ello, fue necesario realizar distintos prototipos y pruebas preliminares que permitieran comparar materiales, configuraciones de impresión y geometrías, con el fin de seleccionar la alternativa más adecuada para el producto final.

A continuación, se explica uno de los modelos desarrollados durante esta etapa.

Mecanismo biela–manivela.

Durante la etapa inicial del proyecto, se generaron diversas propuestas de mecanismos cuyo propósito era ilustrar el funcionamiento del sistema biela–manivela y permitir el desarrollo de un prototipo mecánico sencillo. Una de las primeras alternativas consideradas fue un mecanismo biela–manivela convencional para una máquina de coser.

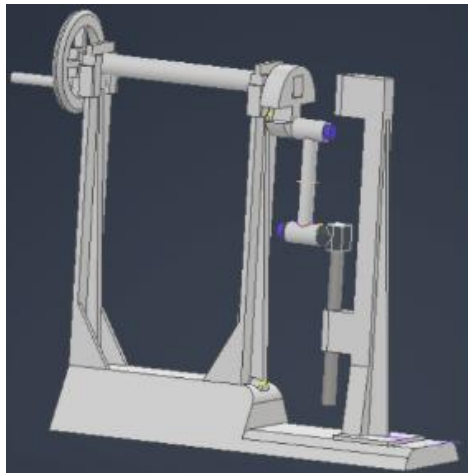


Figura 20 - Propuesta 1 para ilustrar el mecanismo de biela-manivela.

Al desarrollar el prototipo en Inventor y entender su funcionamiento, se observó que esta propuesta cumplía con los principios cinemáticos básicos, sin embargo, presentaba una geometría relativamente simple y menor valor didáctico en términos de visualización del movimiento.

Por dicho motivo, y tras analizar opciones más representativas, se optó por el mecanismo “Bomba de petróleo”. Este sistema mantiene el mismo principio de transformación de movimiento rotativo al lineal, además de que ofrece una representación visual más clara, dinámica y ampliamente reconocida en la industria.

Asimismo, su estructura facilita la explicación de eslabones, juntas y transmisión de movimiento, lo cual aportó mayor utilidad pedagógica para los objetivos del proyecto y cumplió de mejor manera con los requerimientos establecidos por el usuario.

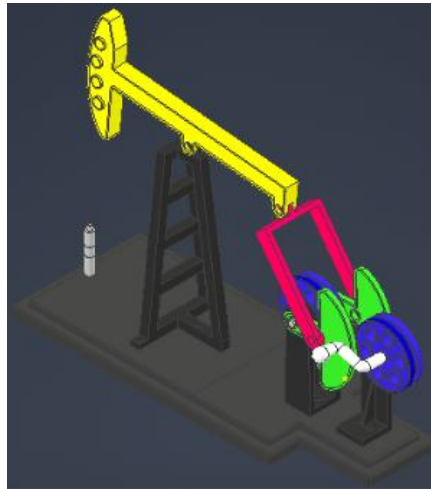


Figura 21 - Propuesta final para ilustrar el mecanismo biela–manivela.

Evaluar

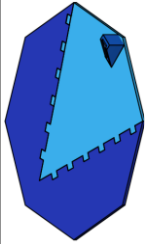
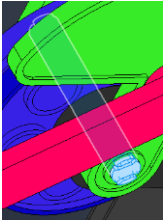
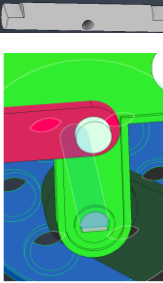
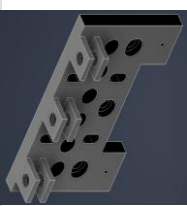
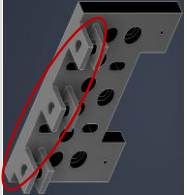
Cada uno de los prototipos fue evaluado verificando el cumplimiento de los requerimientos definidos por el usuario, así como de los siguientes criterios de desempeño:

- Correcto ensamblaje de las piezas.
- Funcionamiento del mecanismo sin interferencias.
- Resistencia mecánica adecuada.
- Facilidad de manipulación de las piezas.

Durante esta etapa se identificaron diversos fallos e imperfecciones en los modelos. Algunos estuvieron relacionados con el movimiento y la interacción entre componentes, mientras que otros correspondieron a aspectos estéticos o de acabados superficiales. Con base en las observaciones obtenidas, se regresó a etapas previas del proceso de diseño para realizar los ajustes necesarios, tales como la modificación de tolerancias, el rediseño de ciertas piezas o, en casos específicos, la redefinición parcial o total del concepto del modelo.

En la Tabla 10 se resumen algunas de las conclusiones obtenidas en esta etapa. Como se puede observar en dicha tabla, a partir de los modelos base se identificaron puntos de mejora, tales como formas de ejes, pernos, holguras y adaptaciones para versiones en madera, de tal forma que, al realizar las modificaciones necesarias, se lograron desarrollar competencias y habilidades en el ámbito del diseño, realizando iteraciones del diseño original y pruebas de desempeño.

Tabla 10. Resumen de la evaluación de algunos de los prototipos más importantes.

Modelo	Descripción	Diseños Iniciales	Versión optimizada	Problemas	Mejoras observadas
Efecto Coriolis	Plato giratorio, sobre el cual una canica se desplaza libremente, permitiendo visualizar el efecto Coriolis en un sistema en rotación	 Orejas para el plato en la versión para FDM	 Sin orejas para la propuesta de corte láser, se proponen cejas	El replicar las orejas del modelo FDM en el modelo de madera, implica un retroceso y sobretabajo para los alumnos.	Reducción significativa del tiempo de corte y mejor eficiencia en el post proceso.
Bomba petróleo	Modelo a escala de una bomba de extracción de petróleo, ejemplifica la aplicación del mecanismo biela-manivela y la conversión de movimiento rotacional en movimiento rectilíneo alternativo	 Ejes primarios, que conectan a las manivelas con la polea	 Eje y respectivos orificios modificados a forma de media luna	El eje cilíndrico permitía desplazamiento lateral y rotación indeseada, provocando desalineación entre el volante, la manivela y la biela.	Al rediseñarlo como semicírculo, se eliminó el juego lateral y el giro accidental, proporcionando una guía más estable y un movimiento lineal correcto.
Delfín	Modelo mecánico que, mediante levas y engranes en rotación, genera el movimiento vertical independiente de las secciones de la silueta de un delfín, simulando así el movimiento de nado del mismo.	 Ejes para seguidores cilíndricos  Agujeros para las barras guías cilíndricas	 Los ejes se modificaron a forma de media luna  Agujeros con forma semicircular	El eje presentaba holgura, lo cual se manifestaba como una rotación sobre sí mismo y, por ende, el movimiento del delfín no era el esperado. Lo anterior también conllevaba mayor desgaste en la base	Se solucionaron los movimientos de rotación indeseados, contribuyendo al adecuado desplazamiento de los seguidores y una mejor estabilidad al desplazarse verticalmente.

Establecer especificaciones finales

La realización de las pruebas y evaluaciones permitió definir las especificaciones finales del producto, las cuales se presentan en la Tabla 11. Estas especificaciones buscan reunir los criterios técnicos, funcionales y de fabricación que deben cumplirse para garantizar la calidad, resistencia y durabilidad de los prototipos didácticos.

Tabla 11. Especificaciones generales para los prototipos.

ID	Especificación	Valor nominal	Tolerancia	Unidad	Posibles valores
A	Múltiples usos	≥ 3	NA	Modelos	1, 2, 3 o más
B	Resistencia	40	± 5	kgf	35, 40, 45
C	Complejidad de la pieza	Fácil	NA	Cumplimiento	Dificultad alta Dificultad media Fácil
D	Mínimo uso de filamento	< 500	+100	g	0 - 459, 500, 600
E	Tamaño en I3D	$\leq (250 \times 220 \times 270)$	+3	mm	$\leq (250 \times 220 \times 270)$
F	Se pueden clasificar los materiales	Se pueden separar	NA	Cumplimiento	No se pueden separar los materiales Se pueden separar
G	Durabilidad	≥ 1.5	0.5	Años	1, 1.5 o más
H	Tiempo de trabajo	≤ 10	+2	Horas	0-9, 10, 12

Además, en esta fase se definieron las especificaciones finales del manual-catálogo, las cuales se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Especificaciones finales del manual catálogo.

ID	Especificación	Valor nominal	Unidad	Posibles valores
A	El manual incluye la información básica del tema	Suficiente	Cumplimiento	- No tiene información - Suficiente - Información muy completa
B	El manual muestra todo el proceso de construcción del prototipo	Información completa	Cumplimiento	- No es posible construir el modelo - Información deficiente - Información completa

C	Redacción, ortografía y coherencia	Es entendible	Cumplimiento	• No es entendible • Es entendible • Se entiende perfectamente
D	Contiene imágenes explicativas	Imágenes completas	Cumplimiento	• Imágenes deficientes • Imágenes completas
E	Todos los temas están referenciados	Referencias completas	Cumplimiento	• No está referenciado • Referencias completas

Las especificaciones en la Tabla 12 están orientadas exclusivamente al contenido del manual y consideran aspectos relacionados con la claridad de la información, la calidad de las imágenes, la correcta redacción y ortografía, así como el uso adecuado de referencias. Estos elementos resultan fundamentales para asegurar que el manual cumpla su función como guía de apoyo tanto para estudiantes como para docentes.

Por otra parte, en lo referente a la impresión 3D, la etapa de caracterización de los materiales permitió establecer los parámetros con los que la impresora Guider IIS presentó un mejor desempeño. Estos parámetros también retroalimentan al diseño de los prototipos, ya que deben considerarse antes de la producción final. En el manual, se pueden encontrar distintas tablas, una por cada tipo de material utilizado, tal como se ejemplifica en el siguiente fragmento extraído del manual:

Tabla 2.1 Parámetros de impresión PLA Madera		Tabla 1.1 Parámetros de impresión Juntero.	
Parámetro	Valor sugerido	Parámetro	Valor sugerido
Material	PLA Wood	Material	PLA
Temperatura extrusor	200 °C	Temperatura extrusor	230 °C
Temperatura cama	65 °C	Temperatura cama	50 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión	Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	10%	Densidad de relleno	10%
Patrón de relleno	Iluminado	Patrón de relleno	Iluminado
Grosor de las paredes	1.6	Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4	Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 4 líneas mínimo	Placa de adhesión	Borde: 4 líneas mínimo

a)
b)

Figura 22 - Ejemplos de parámetros finales de impresión. a) PLA Madera, b) PLA genérico.

Las Figuras 22a y 22b corresponden a ejemplos extraídos del manual, en los que se muestran las especificaciones finales de impresión. Estos aspectos se analizan con mayor detalle en la sección de Resultados.

Presentación del producto

En esta fase se elaboró un cronograma de producción para organizar el trabajo de cada prototipo, definiendo los tiempos estimados de diseño, impresión y ensamble.

Adicionalmente, se concluyó la definición del contenido y la estructura del manual-catálogo. En este documento se describe de forma detallada la función de cada prototipo, los materiales empleados, los parámetros de impresión utilizados como: temperatura, velocidad y tipo de filamento, así como recomendaciones para su uso y mantenimiento.

El objetivo principal de este documento es permitir que cualquier persona pueda reproducir los prototipos didácticos sin dificultades o, en su caso, que funcione como guía práctica para docentes interesados en emplear los prototipos como recursos didácticos en sus clases.

Fabricación de los prototipos

En esta sección se describe de manera detallada el proceso de fabricación de los prototipos, presentando paso a paso las actividades realizadas desde el diseño hasta el ensamble final. Para ello, se retoma el diagrama mostrado en la Figura 13, el cual permite visualizar de forma general las etapas involucradas en dicho proceso.

Diseño CAD

El proceso de fabricación de los prototipos inicia una vez que se cuenta con el diseño del modelo en un software CAD, en este caso Autodesk Inventor. Durante esta fase es fundamental considerar tanto las características del material a utilizar como las capacidades y limitaciones de la impresora 3D, ya que en la etapa es posible realizar ajustes y mejoras al diseño antes de la impresión.

A manera de ejemplo, en el modelo de la Bomba Petróleo, uno de los parámetros clave durante el diseño de la base fue el tamaño de la plataforma de impresión. Era necesario asegurar que la base pudiera colocarse dentro del volumen de impresión disponible. Este criterio se refleja posteriormente en la etapa de especificaciones finales, presentada en la Tabla 11. Debido a las dimensiones del componente, se tomó la decisión de dividir la base en dos partes, lo que implicó modificar el diseño original para facilitar su fabricación (ver Figura 23).

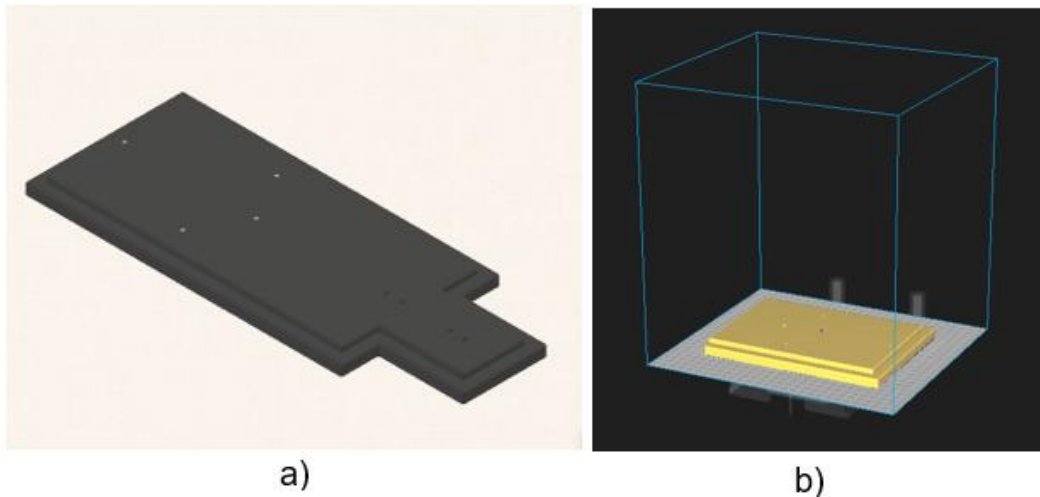


Figura 23 - Base de la Bomba Petróleo: a) ensamble de la base en Inventor; b) sección 1 de la base posicionada para la generación de código de impresión en Cura.

Durante esta etapa también se consideran otros aspectos relevantes del diseño, como la definición de ángulos, bordes y geometrías generales de las piezas. El objetivo es optimizar tanto el tiempo de impresión como el consumo de material. Por ejemplo, piezas con ángulos mayores a 35° o con voladizos pronunciados suelen requerir el uso de soportes durante la impresión, lo que incrementa el tiempo y el material necesario. De manera similar, geometrías que impidan una correcta colocación de la pieza sobre la plataforma de impresión sin soportes representan un impacto negativo en la eficiencia del proceso.

Un caso representativo de estas consideraciones es el diseño de un eje cilíndrico. Si este se modela de manera convencional, como un cilindro completo, su orientación sobre la plataforma de impresión puede realizarse de dos formas principales, como se muestra en la Figura 24.

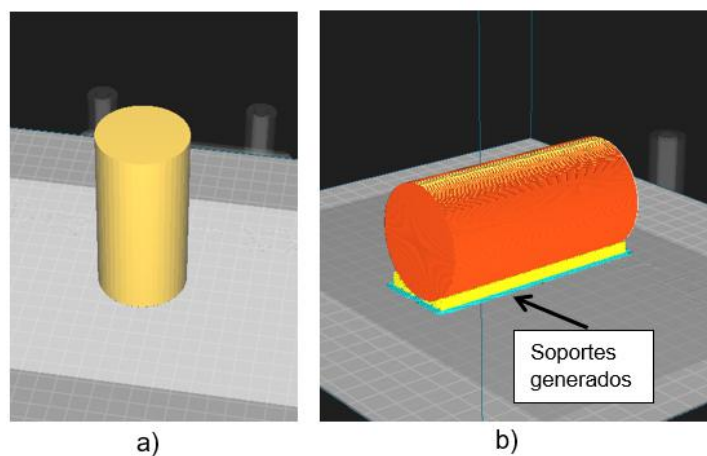


Figura 24 - Eje cilíndrico: a) impresión en orientación vertical; b) impresión en orientación horizontal.

En el caso de la Figura 24a, la impresión en orientación vertical puede resultar problemática, debido a que implica que el extrusor se mueva en un rango muy reducido, y, conforme aumenta la altura de la pieza, la estabilidad y adhesión a la plataforma se ven comprometidas. Por otro lado, en la Figura 24b, aunque la orientación horizontal proporciona mayor estabilidad, es necesario el uso de material de soporte para sostener la geometría del eje durante la impresión.

Ante estas observaciones, se optó por modificar el diseño del eje realizando un corte transversal que genera una cara plana. Esta superficie permite un contacto directo y estable con la plataforma de impresión, eliminando la necesidad de soportes y optimizando tanto el tiempo como el consumo de material (ver Figura 25).

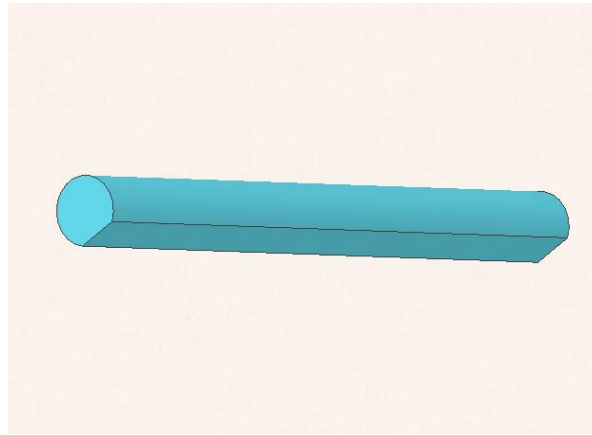


Figura 25 - Cilindro con cara plana. Pieza del “Juntero”.

Exportación a STL

Una vez que se cuenta con el diseño, este debe exportarse al formato STL, el cual es ampliamente soportado por los programas de impresión 3D y permite conservar adecuadamente las características geométricas del diseño original.

En el caso de Inventor, el procedimiento para realizar la exportación es el siguiente:

1. Acceder a la sección Archivo.
2. Seleccionar la opción Exportar archivo.
3. Elegir exportar a formato CAD.
4. En el cuadro de diálogo, seleccionar el formato STL (ver Figura 26).

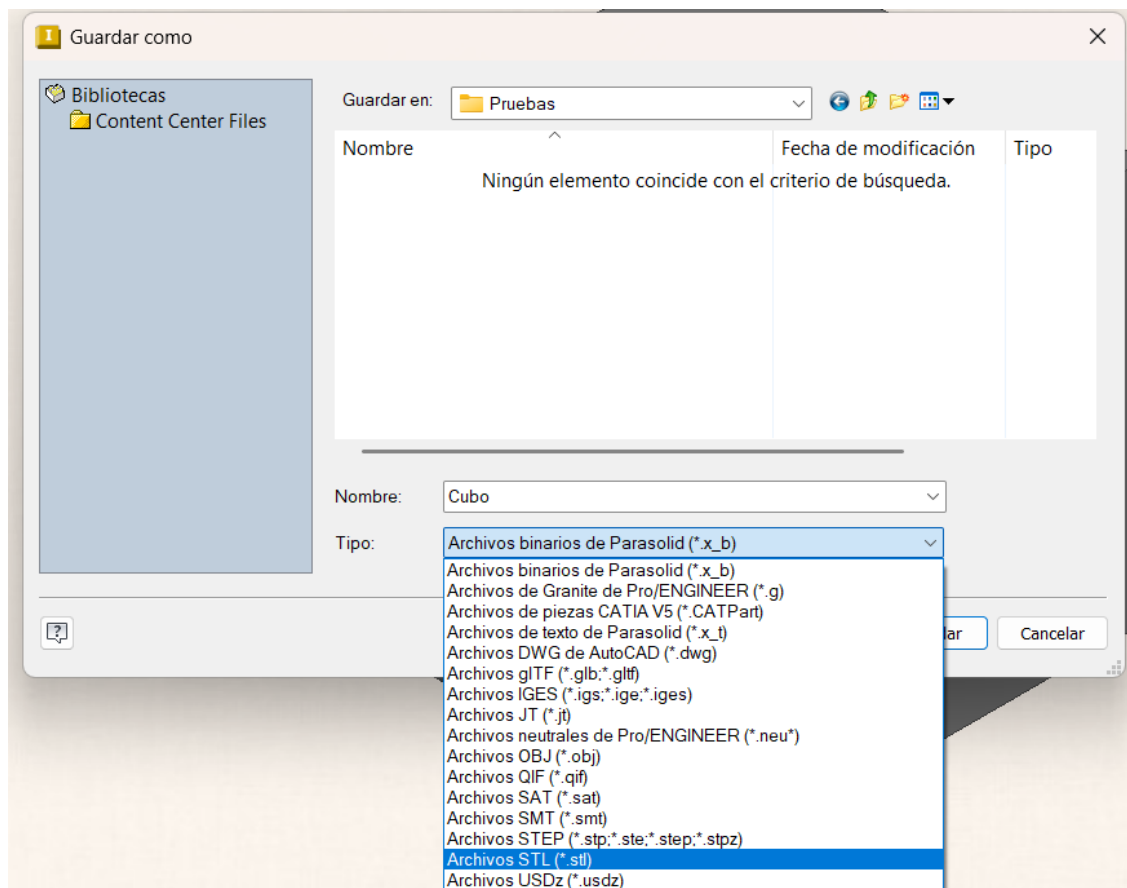


Figura 26 - Cuadro de diálogo para seleccionar el formato de exportación del archivo.

Posteriormente, el archivo en formato STL se importa en el software de laminado Cura. En esta etapa es importante verificar que la geometría se haya exportado correctamente, sin deformaciones ni pérdidas de detalle, así como asegurarse de que la pieza esté correctamente posicionada sobre la plataforma de impresión simulada por el software. Esta verificación permite detectar posibles errores antes de continuar con la configuración de los parámetros de impresión.

Selección del material

En el ámbito de la manufactura aditiva, actualmente existe una amplia variedad de filamentos disponibles para impresión 3D. Entre ellos, el PLA es uno de los materiales más utilizados debido a su facilidad de impresión, propiedades mecánicas aceptables y mayor accesibilidad en comparación con otros materiales. No obstante, en los últimos años, otros filamentos han ganado popularidad gracias a su mayor disponibilidad y a la mejora en sus características técnicas, lo que ha ampliado las posibilidades de aplicación.

Antes de realizar una impresión, es importante elegir el material que mejor se adapte a los requerimientos funcionales, mecánicos y de uso de la pieza a fabricar. Para el proyecto, se elaboró una guía de materiales cuyo objetivo es recopilar información básica que permita al usuario elegir el filamento más adecuado según las necesidades específicas de cada prototipo.

En la Figura 27, se presenta un ejemplo de esta guía, en la que se incluyen parámetros de impresión recomendados, así como valores representativos de las propiedades mecánicas de los distintos materiales recopilados.

Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)																													
Es un derivado de combustibles fósiles, por lo que no se considera un material biodegradable. Tiene amplias aplicaciones, se utiliza tanto para prototipos como para piezas funcionales.																													
 <table> <tr> <th>PROPIEDADES DE IMPRESIÓN</th><th>VALOR TÍPICO</th></tr> <tr> <td>Temperatura del extrusor</td><td>230 - 260 °C</td></tr> <tr> <td>Temperatura plataforma</td><td>80 - 100 °C</td></tr> <tr> <td>Temperatura distorsión</td><td>80 °C, 0.45 MPa</td></tr> <tr> <td>Temperatura procesamiento</td><td>64.0 - 220 °C</td></tr> <tr> <td>Velocidad de impresión</td><td>20 - 60 mm/s</td></tr> </table>	PROPIEDADES DE IMPRESIÓN	VALOR TÍPICO	Temperatura del extrusor	230 - 260 °C	Temperatura plataforma	80 - 100 °C	Temperatura distorsión	80 °C, 0.45 MPa	Temperatura procesamiento	64.0 - 220 °C	Velocidad de impresión	20 - 60 mm/s	<table> <tr> <th>PROPIEDADES MECÁNICAS</th><th>VALOR TÍPICO</th></tr> <tr> <td>Densidad (ρ)</td><td>1.06 g/cm³</td></tr> <tr> <td>Absorción de humedad en equilibrio</td><td>0.06 - 2.0 %</td></tr> <tr> <td>Índice de fluidez (MI)</td><td>41 g/ 10 min</td></tr> <tr> <td>Tensión de rotura</td><td>40 MPa</td></tr> <tr> <td>Resistencia a la flexión</td><td>68 MPa</td></tr> <tr> <td>Módulo de Elasticidad</td><td>1.98 GPa</td></tr> <tr> <td>Resistencia al impacto IZOD</td><td>45 kJ/m²</td></tr> </table>	PROPIEDADES MECÁNICAS	VALOR TÍPICO	Densidad (ρ)	1.06 g/cm ³	Absorción de humedad en equilibrio	0.06 - 2.0 %	Índice de fluidez (MI)	41 g/ 10 min	Tensión de rotura	40 MPa	Resistencia a la flexión	68 MPa	Módulo de Elasticidad	1.98 GPa	Resistencia al impacto IZOD	45 kJ/m ²
PROPIEDADES DE IMPRESIÓN	VALOR TÍPICO																												
Temperatura del extrusor	230 - 260 °C																												
Temperatura plataforma	80 - 100 °C																												
Temperatura distorsión	80 °C, 0.45 MPa																												
Temperatura procesamiento	64.0 - 220 °C																												
Velocidad de impresión	20 - 60 mm/s																												
PROPIEDADES MECÁNICAS	VALOR TÍPICO																												
Densidad (ρ)	1.06 g/cm ³																												
Absorción de humedad en equilibrio	0.06 - 2.0 %																												
Índice de fluidez (MI)	41 g/ 10 min																												
Tensión de rotura	40 MPa																												
Resistencia a la flexión	68 MPa																												
Módulo de Elasticidad	1.98 GPa																												
Resistencia al impacto IZOD	45 kJ/m ²																												

Figura 27 - Extracto de la guía de filamentos, donde se muestran los parámetros de impresión y propiedades mecánicas.

En la Tabla 13 se presentan algunos ejemplos de los materiales seleccionados para la fabricación de algunas piezas del proyecto, junto con una breve justificación de su elección.

Tabla 13. Ejemplos de selección de material.

Pieza	Material de fabricación	Justificación
Engrane	ABS	El ABS ofrece mejores propiedades mecánicas en comparación con otros materiales comunes. A diferencia del PLA, es menos propenso a la formación de hilos, lo cual representa una ventaja en engranes, donde es fundamental evitar interferencias durante el funcionamiento. Además, al tratarse de piezas sometidas a desgaste, el uso de ABS contribuye a una mayor durabilidad.

Delfín	PLA	El PLA es un material ampliamente utilizado en prototipos, maquetas y piezas decorativas debido a su facilidad de impresión y buen acabado superficial. Para esta pieza no se requerían altas prestaciones mecánicas, por lo que el PLA resultó adecuado al permitir una fabricación sencilla y un acabado visual aceptable.
Cubo	ABS	Considerando las ventajas mecánicas del ABS y la función de esta pieza dentro del modelo del Juntero, se determinó que este material era el más adecuado. El cubo es una pieza principal del modelo y está sujeta a una manipulación frecuente, por lo que se priorizó un material que ofreciera mayor resistencia y vida útil.

Caracterización del material

Una vez seleccionado el material de fabricación, es fundamental realizar su caracterización, es decir, identificar los parámetros óptimos de operación para la impresión 3D (ver Figura 27). Este proceso permite incrementar la probabilidad de obtener impresiones de buena calidad y reducir la aparición de defectos comunes, tales como *warping*, desprendimiento de la pieza de la plataforma de impresión o formación de hilos.

Existen diversos parámetros de impresión que influyen directamente en la calidad final de la pieza; sin embargo, algunos tienen un impacto mayor que otros. En la Tabla 14 se enlistan los parámetros que, para este proyecto, se consideraron relevantes, junto con una breve descripción de su función e influencia en el proceso de impresión.

Tabla 14. Parámetros de impresión básicos.

Parámetro	Unidad	Descripción
Temperatura del extrusor	[°C]	Temperatura a la cual el extrusor debe alcanzar para fundir adecuadamente el material de impresión. Su determinación puede resultar crítica, ya que debe permitir un flujo continuo del material sin llegar a un estado excesivamente líquido que afecte la calidad de la pieza, tanto estética como dimensional.
Temperatura de la cama	[°C]	La plataforma de impresión debe calentarse a una temperatura específica, generalmente menor que la del extrusor. Este calentamiento mejora la adhesión de las primeras capas, lo que contribuye a la estabilidad de la pieza durante el proceso de impresión.

Ventilación	[%]	Las impresoras de cámara cerrada, como la Guider IIS, cuentan con sistemas de ventilación que ayudan a controlar la distribución térmica durante la impresión y a extraer partículas generadas por el material. Un control adecuado de este parámetro favorece una impresión más uniforme.
Densidad de relleno	%	Este parámetro indica la cantidad de material en el interior de la pieza. Un mayor porcentaje incrementa la rigidez y resistencia mecánica, pero también implica un mayor consumo de filamento y tiempo de impresión. Su elección depende de las necesidades funcionales y geométricas de la pieza.
Patrón de relleno	N/A	Existen diversos patrones de relleno con distintas geometrías, las cuales influyen en la rigidez estructural de la pieza. Patrones como el hexagonal, triangular u octagonal ofrecen mayor estabilidad, mientras que patrones más simples pueden reducir el consumo de material y el tiempo de impresión cuando la rigidez no es prioritaria.
Grosor de las paredes	[mm]	Define el espesor de las paredes externas de la pieza, influyendo directamente en su resistencia mecánica y en la calidad del acabado superficial. Su configuración depende de lo que se busque obtener en la pieza.
Cantidad de paredes	Número entero	Indica la cantidad de paredes que tendrá una pieza, entre mayores paredes tenga, mayor resistencia tendrá la pieza en el exterior. Para este proyecto, un valor común fue de entre 3 y 4 paredes.
Placa de adhesión	Líneas	Es la capa que se construye para adherir las primeras capas de la pieza, puede ser una capa completa o bien, construir contornos. Esta placa de adhesión también sirve para verificar que el filamento esté fluyendo y se adhiera de la manera correcta a la plataforma de impresión.

Si bien existen muchos otros parámetros configurables en los softwares de impresión 3D, una impresión de buena calidad se entiende como aquella cuyas dimensiones se mantienen dentro de los rangos de tolerancia establecidos, no presenta deformaciones visibles ni hilos, y cuenta con un acabado superficial adecuado. Por ello, es recomendable explorar y comprender cómo la variación de cada parámetro afecta el resultado final.

Una guía inicial para la selección de estos valores es la consulta de la ficha técnica o especificaciones proporcionadas por los fabricantes de filamentos. Afortunadamente, muchos de ellos documentan no solo los parámetros de impresión recomendados, sino también información relacionada con el

comportamiento del material y sus propiedades mecánicas, lo cual resulta de gran utilidad durante la etapa de caracterización. Estos documentos, resultan importantes, ya que las características del material cambian dependiendo del fabricante que las realice.

Ajuste inicial de parámetros

Definidos los parámetros de impresión, se realiza una primera prueba en el software Cura. Para ello, es necesario configurar los valores desde la pestaña “Ajustes de impresión” y acceder posteriormente a la opción de configuración personalizada (ver Figura 28). En esta ventana se muestran todos los parámetros disponibles que pueden ser modificados o ajustados según las necesidades de la pieza.

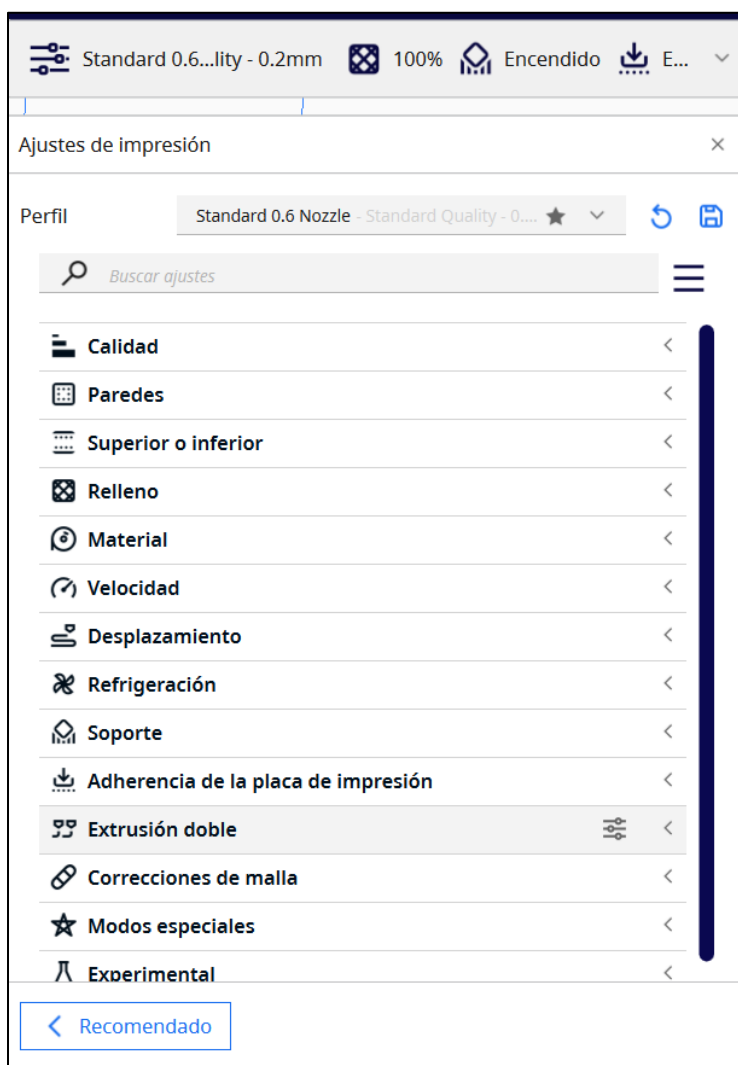


Figura 28 - Ventana ajustes de impresión personalizados en Cura.

Tal como se mencionó en la etapa anterior, es recomendable conocer los parámetros que influyen directamente en el proceso de impresión. Un primer

acercamiento utilizando los valores obtenidos durante la caracterización del material suele ser de gran ayuda para establecer una configuración inicial adecuada.

Evaluación y ajuste

Una vez configurados los parámetros, se debe analizar la simulación generada por el software, con el fin de identificar posibles áreas de mejora. Por ejemplo, si durante la simulación se detectan voladizos pronunciados, o espacios en donde sea posible que la impresión no se sostenga (ver Figura 29), puede ser necesario activar el uso de soportes para asegurar una impresión correcta.

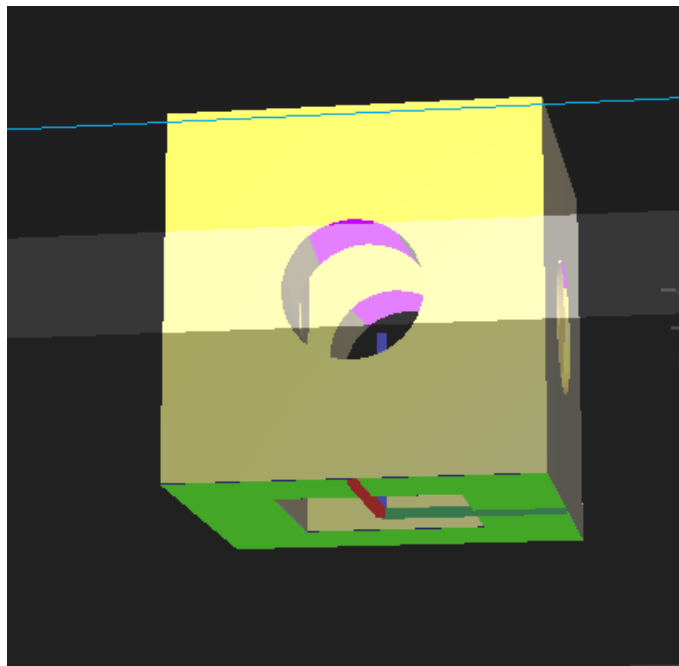


Figura 29 - Cubo de Juntero. En Cura, se usan diferentes colores en la pieza, en este caso, el morado representa las zonas donde podrían requerirse soportes para que las piezas salgan correctamente.

Asimismo, esta etapa de ajuste inicial y simulación en Cura permite estimar el consumo de filamento y el tiempo total de fabricación de la pieza (ver Figura 30). Esta información resulta fundamental para decidir si es necesario modificar algún parámetro de impresión o, en otros casos, regresar a la etapa de diseño para realizar ajustes antes de proceder con la impresión final.

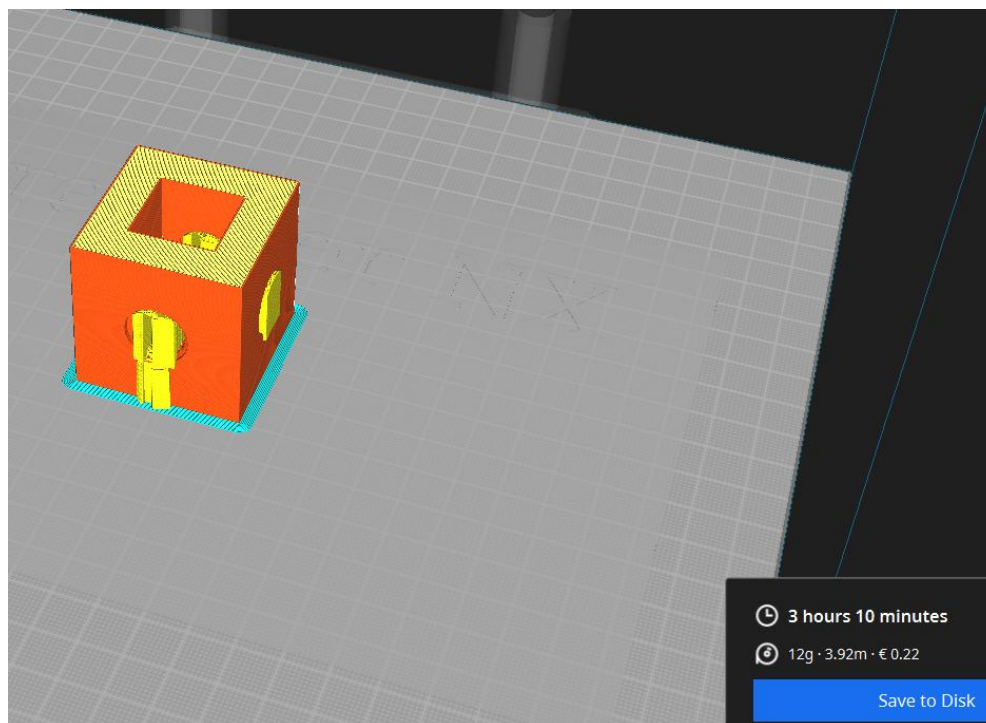


Figura 30 - Ejemplo de estimación de tiempo y consumo de material de la pieza Cubo, cuadro inferior derecho.

Preparación de código e impresión

Ya definidos los parámetros de impresión y validada la versión final de la pieza, se genera el código de impresión, comúnmente conocido como código G. Este archivo puede guardarse en un dispositivo de almacenamiento externo, como una memoria USB, o enviarse directamente a la impresora mediante conexión inalámbrica, si el equipo lo permite.

Al iniciar el proceso de impresión, es importante supervisar el funcionamiento de la impresora para verificar que el proceso se esté desarrollando correctamente. Ante la detección de cualquier fallo, se debe evaluar si es posible continuar con la impresión o si resulta necesario detenerla y realizar ajustes, ya sea en los parámetros de impresión o el material seleccionado.

Por ello, las etapas de evaluación y ajuste adquieren especial relevancia, ya que permiten anticipar posibles errores y optimizar el consumo de material y tiempo. Cabe destacar que, en cualquier momento del proceso, es posible regresar a etapas previas o incluso a la fase de diseño. A medida que se conocen y documentan mejor las características de la impresora y de los materiales, se incrementa la precisión en la configuración de los parámetros, reduciendo así la necesidad de retrabajos.

Posproceso

Durante el desarrollo del proyecto, se obtuvieron algunas piezas finales que no cumplían con el acabado superficial buscado o que presentaban bordes no deseados. Aun cuando los parámetros de impresión se configuraron con base en la información previamente documentada, en ciertos casos las variaciones de temperatura del ambiente o pequeños defectos en el filamento provocaron que no se alcanzara la calidad esperada (ver Figura 31).

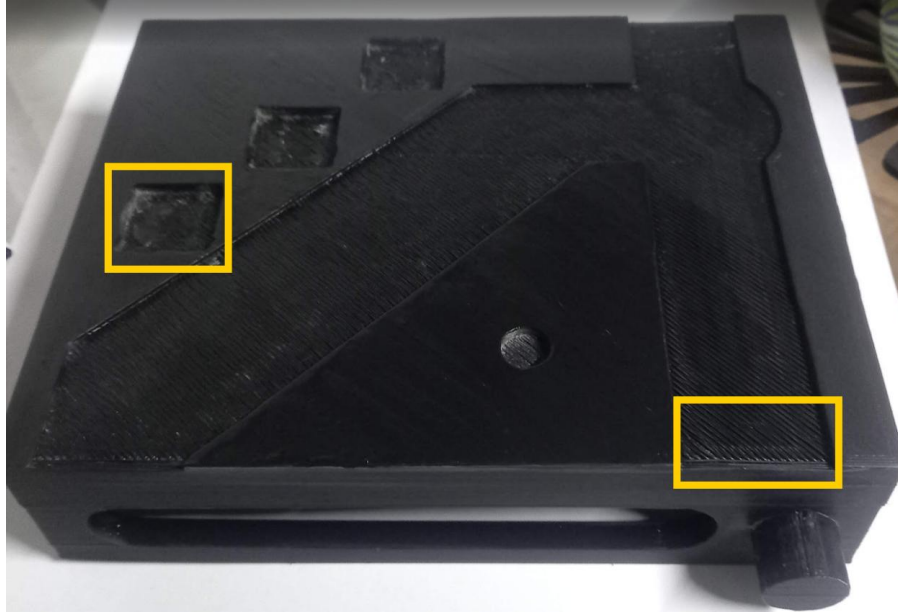


Figura 31 - Base del Juntero. Las zonas amarillas señalan las áreas en donde no se obtuvo el acabado superficial deseado, sin embargo, la pieza en sí, es funcional.

Ante estas situaciones, y con el objetivo de evitar la reimpresión de las piezas, lo que implicaría un mayor consumo de material y energía, se optó por someterlas a un posproceso, como se ilustra en la Figura 32.

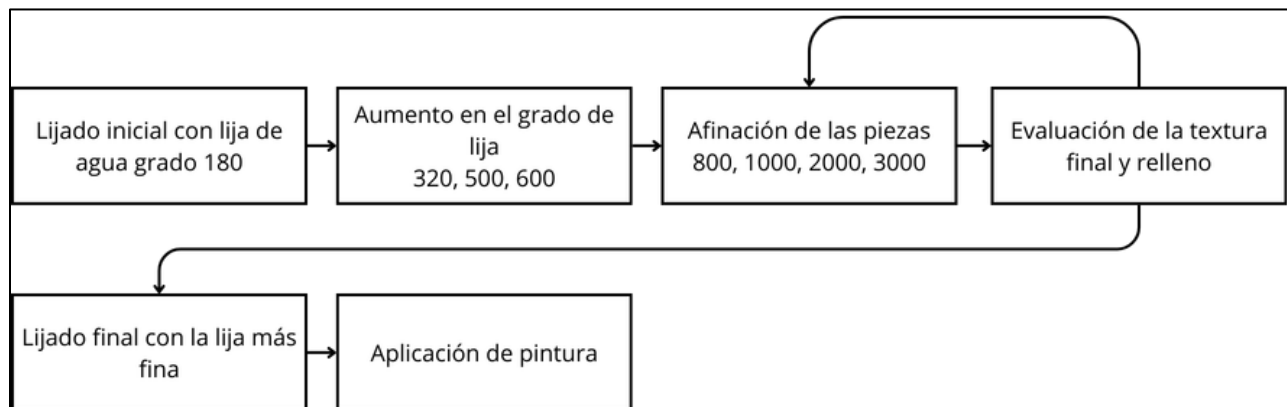


Figura 32 – Posproceso de lijado para la impresión 3D.

En general, este posproceso consiste en mejorar el acabado superficial o eliminar defectos menores mediante un proceso de lijado. El cual consiste en lijar las piezas plásticas para poder quitar rebabas que puedan estar presentes debido al uso de soportes, exceso de material depositado u otras causas. Retirar estos residuos es necesario porque podrían rebasar las tolerancias dimensionales establecidas en cada diseño. En la Figura 33, se muestra un ejemplo del posprocesado de una pieza.

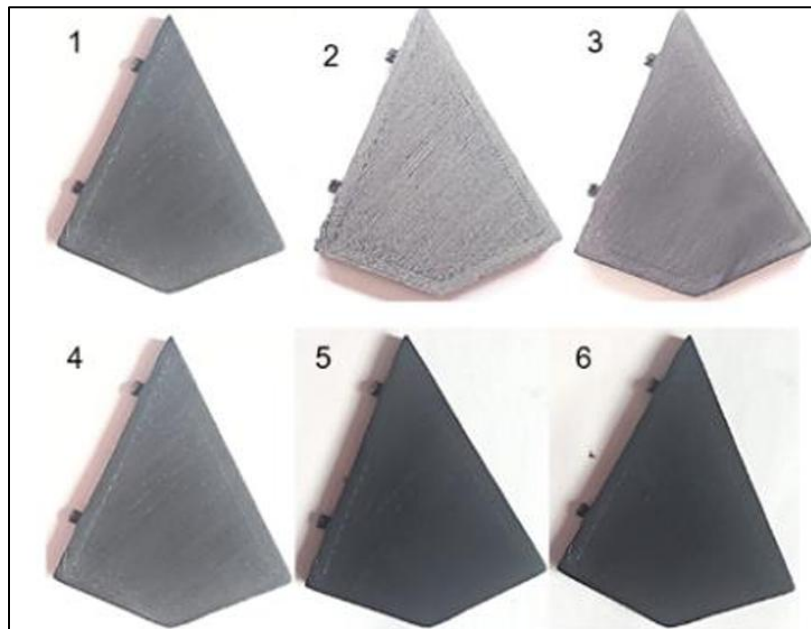


Figura 33 - Lijado y pintado de una pieza de PLA.

El lijado de las piezas se puede hacer a mano o con la ayuda de un *mototool*, el cual reduciría significativamente el tiempo de lijado. Es necesario seguir el orden presentando, ya que entre más fino sea el grano de lija, mejores resultados y acabados se obtendrán. La etapa de evaluación de la textura final y relleno consiste en determinar si la pieza tiene una buena presentación o si hay espacios, poros o huecos en ella que deban rellenarse. Esto puede hacerse con pastas especiales para plásticos o con pegamento blanco. Después, se realiza un último lijado y ya se puede aplicar la pintura.

De esta forma, se optimiza el uso de los recursos y se aprovechan las piezas ya fabricadas. No obstante, antes de aplicar este tipo de posprocesado, es fundamental evaluar si los defectos detectados afectan únicamente el aspecto estético o si comprometen la funcionalidad de la pieza. En este último caso, lo más recomendable es realizar nuevamente la impresión.

RESULTADOS

Manual de prototipos.

El resultado final de este proyecto fue el desarrollo de diversos prototipos de mecanismos didácticos, orientados a ilustrar temas claves de la asignatura de Mecanismos, así como la elaboración de un manual explicativo que documenta su diseño, fabricación y aplicación didáctica.



Figura 34 - Portada del manual.

Partes del manual

El manual integra los modelos de los prototipos desarrollados, así como los parámetros generales de fabricación necesarios para su reproducción. Asimismo, se incluyen referencias directas a los anexos correspondientes, en los cuales se presentan los planos de cada pieza y los explosivos de ensamble.

La integración de estos recursos permite que el estudiante no solo reproduzca los modelos de manera práctica, sino que también comprenda su funcionamiento y el proceso de fabricación de forma autónoma y guiada, favoreciendo un aprendizaje activo y significativo. A continuación, se detallan cada uno de los anexos que incluye este manual.

- **Anexo A – Planos:**

En este anexo se incluyen los planos de cada una de las piezas que integran los prototipos, acompañados de su respectivo explosivo de ensamble. Su objetivo es proporcionar a los lectores una guía clara que facilite la

identificación de los componentes, la comprensión de su relación funcional y la reproducción del armado de los modelos de manera práctica y ordenada.

- **Anexo B – Sitios de interés:**

Este anexo reúne diversos sitios de interés y recursos digitales que sirven de apoyo a los estudiantes. Se decidió incorporar esta sección con el fin de que los lectores puedan consultar información complementaria y así obtener una visión más amplia de los procesos de manufactura empleados en la elaboración de los prototipos.

- **Anexo C – Filamentos:**

En este apartado se presenta un resumen de las principales características y propiedades de distintos filamentos disponibles en el mercado. El objetivo de este anexo es brindar a los estudiantes una referencia básica sobre materiales de impresión 3D, especialmente útil para aquellos que no cuentan con conocimientos previos en este ámbito.

- **Anexo D – Corte láser:**

Este anexo contiene una guía introductoria sobre el uso de corte láser para elaborar algunos de los modelos presentados. Aunque esta tecnología no fue la principal empleada en el proyecto, se decidió incluirla para que los alumnos tengan la posibilidad de explorar una alternativa a la impresión 3D, en caso de que deseen experimentar con esta opción.

Simbología

Con el fin de facilitar la comprensión del contenido y mejorar la comunicación de las instrucciones, se incorporó un sistema de símbolos gráficos que complementa la información técnica del manual. Esta decisión se fundamenta en los resultados de la encuesta aplicada, en la cual los estudiantes manifestaron una preferencia significativa por el aprendizaje kinestésico y visual.

La simbología, presente a lo largo de todas las secciones del manual, permite identificar de manera rápida elementos clave como parámetros de impresión o de corte láser, tolerancias y ajustes, así como referencias a los distintos anexos. De esta forma, se enriquece la experiencia didáctica y se hace el contenido más accesible y fácil de seguir.

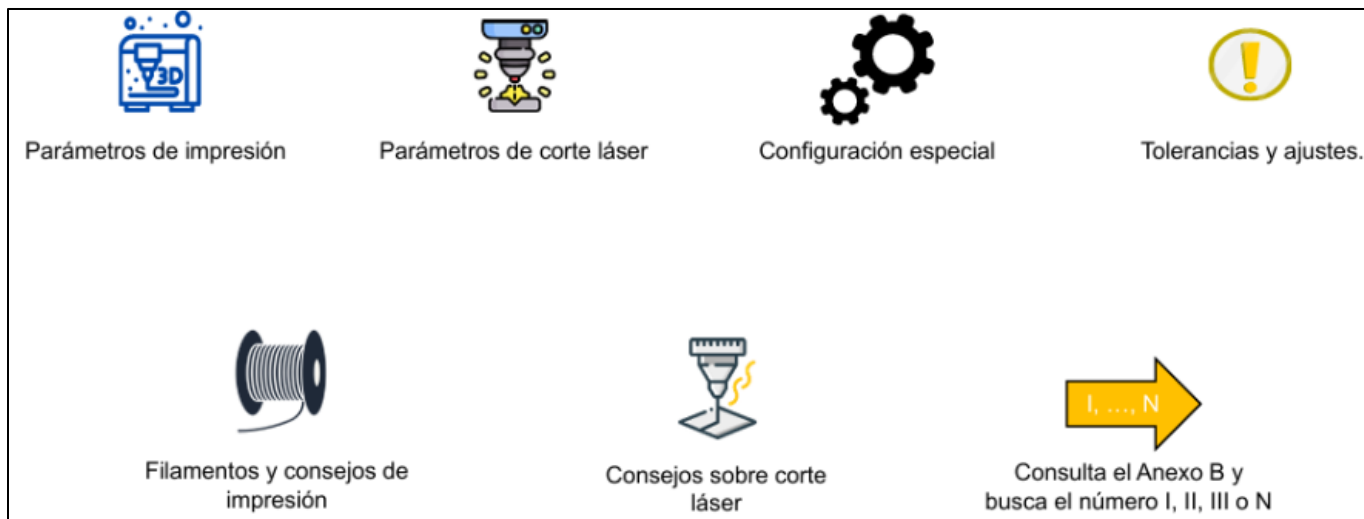


Figura 35 - Simbología utilizada en el manual y su explicación.

Contenido

Para la construcción de este manual se seleccionaron siete temas principales, considerando tanto su relevancia dentro del curso como la dificultad que suelen representar para los estudiantes en términos de comprensión.

Índice	
1. TIPOS DE JUNTAS	1
1.1 Impresión 3D.....	3
2. MECANISMO DE WATT	6
2.1. Impresión 3D.....	7
2.2. Corte láser.....	11
3. CASOS VECTORIALES	15
3.1 Impresión 3D.....	18
4. EFECTO CORIOLIS	21
4.1 Impresión 3D.....	21
4.2 Corte láser.....	24
5. BOMBA PETRÓLEO	27
5.1 Impresión 3D.....	29
5.2 Corte láser.....	34
6. LEVAS Y SEGUIDORES	37
6.1 Impresión 3D.....	38
7. TREN DE ENGRANES PLANETARIO	43
7.1 Impresión 3D.....	44
8. REFERENCIAS	50

Figura 36 - Índice del manual.

Tal como se observa en la figura anterior, el manual se estructura en siete temas principales, los cuales se describen a continuación.

1. Tipos de juntas

Propósito didáctico

El tema de tipos de juntas constituye uno de los fundamentos del análisis cinemático de mecanismos, sin embargo, suele generar confusión a lo largo del curso, lo que impacta negativamente en temas posteriores. Por esta razón, se desarrolló un prototipo que permitiera reforzar su comprensión desde una aproximación tangible y visual. En la siguiente figura se muestra el prototipo didáctico:



Figura 37 - Juntero, prototipo didáctico que muestra diferentes tipos de juntas.

Descripción del prototipo

El *Juntero*, nombre que se le dio al prototipo, representa de manera física distintos tipos de juntas: esférica, cilíndrica, prismática, plana, de tornillo, entre otras. El cual permite observar directamente los movimientos que cada una restringe o permite. Cada junta se encuentra asociada con sus respectivos grados de libertad, lo que facilita la identificación del comportamiento cinemático del sistema.

Aporte al aprendizaje

Este prototipo permite al estudiante relacionar de forma directa el tipo de junta con la movilidad del mecanismo, favoreciendo la identificación de movimientos posibles y la comprensión de los grados de libertad. De esta manera, se consolida un aprendizaje sólido que sirve como base para el análisis cinemático y el desarrollo de competencias en asignaturas posteriores.

2. Mecanismo de Watt

Propósito didáctico

El mecanismo de Watt se seleccionó por la dificultad que representa tanto su comprensión teórica como la visualización de su comportamiento práctico. Así como por ser uno de los temas sugeridos por los estudiantes en la encuesta, pues busca ilustrar el tema de *Inversión de un mecanismo*.

Descripción del prototipo

El prototipo propuesto se trata de un sistema de seis barras, de las cuales dos son eslabones ternarios con tres articulaciones. Dependiendo del acomodo de estos eslabones, se obtendrán dos configuraciones distintas, que en la literatura es común encontrarlas como Mecanismo de Watt Tipo I y Tipo II, el prototipo se muestra en la Figura 38.

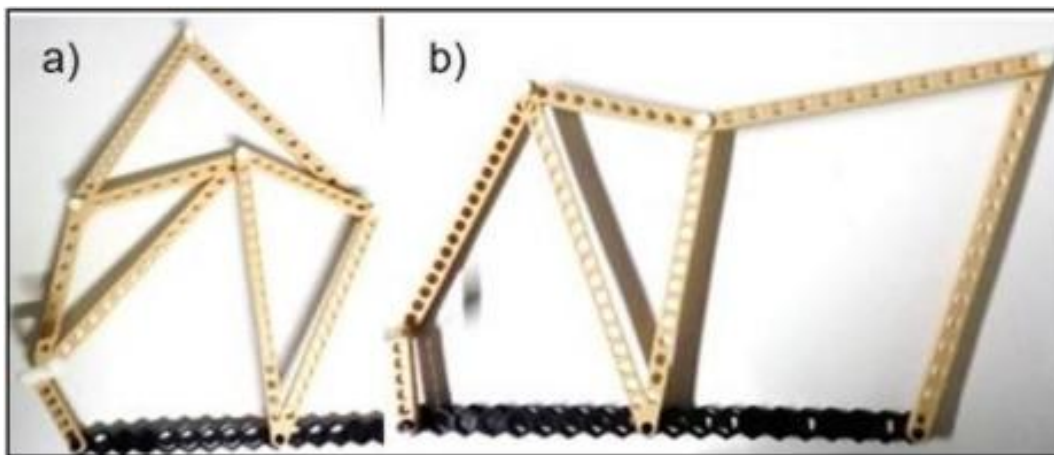


Figura 38 - Mecanismo de Watt en sus dos configuraciones, a) Tipo I, b) Tipo II.

Aporte al aprendizaje

Este sistema de seis barras permite al estudiante complementar su conocimiento sobre el tema de inversión de mecanismos. Durante el curso, es muy probable que se analicen sistemas de cuatro barras, por lo que este prototipo, busca aumentar el valor del contenido teórico invitando al estudiante a explorar sistemas con más eslabones.

En este prototipo se utilizaron tres tipos de materiales, PLA, PLA con fibra de madera y PET-G, cada uno con parámetros de impresión únicos. Lo que ayuda a comprender cómo se comportan los diferentes materiales y las diferentes texturas que se pueden encontrar en la industria.

Para este modelo, en particular, se desarrolló la alternativa de fabricarlo por corte láser en tablero de fibra de densidad media (del inglés *Medium Density Fiberboard*, MDF) (ver Figura 39). El propósito fue comparar ambos medios de fabricación, en cuanto al costo de producción. Es importante mencionar que también se detallan los softwares empleados para el diseño y control de la máquina de corte láser, así como la necesidad de caracterizar tanto el material como el equipo mediante pruebas de potencia, velocidad y número de pasadas antes de realizar el corte final.

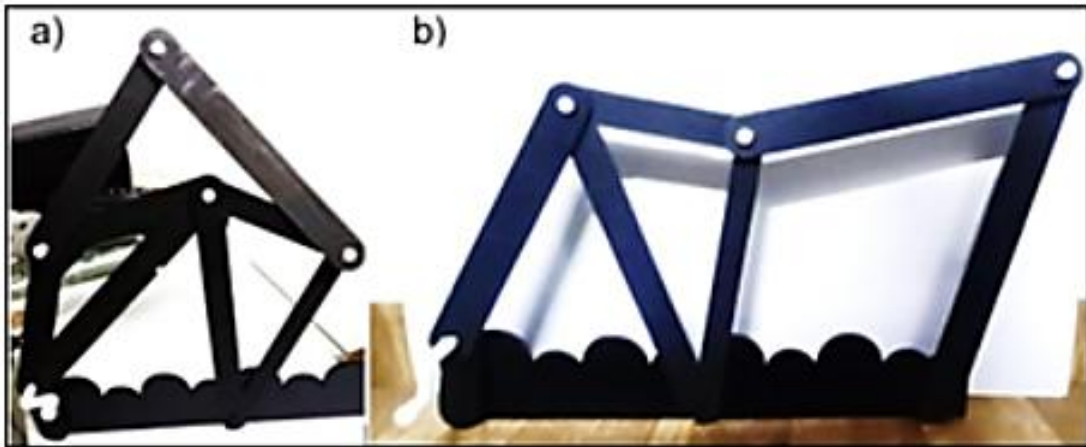


Figura 39 - Mecanismo de Watt producido en madera, se muestra en sus dos configuraciones.

3. Casos vectoriales

Propósito didáctico

Uno de los temas que se abordan en el curso de la asignatura es el Análisis Cinemático de Mecanismos, dentro del cual se analizan los casos vectoriales. Los cuales permiten describir el comportamiento de un vector en función de las variables que lo caracterizan, como su magnitud y orientación, dependiendo del tipo de movimiento analizado.

Usualmente, para dar ejemplos o explicar este tema, algunos docentes suelen recurrir a animaciones u otro tipo de prototipos didácticos. Con la finalidad de materializar los tres casos vectoriales analizados en el curso, se desarrolló el modelo Flecha, el cual se muestra a continuación:



Figura 40 - Piezas que conforman el prototipo didáctico “Flecha”.

Descripción del prototipo

El prototipo está compuesto por cinco piezas principales: la base, dos eslabones de diferentes longitudes, una manivela y la flecha. Esta última se encuentra formada por dos componentes, el riel y el cuerpo de la flecha, como se ilustra en la Figura 41.

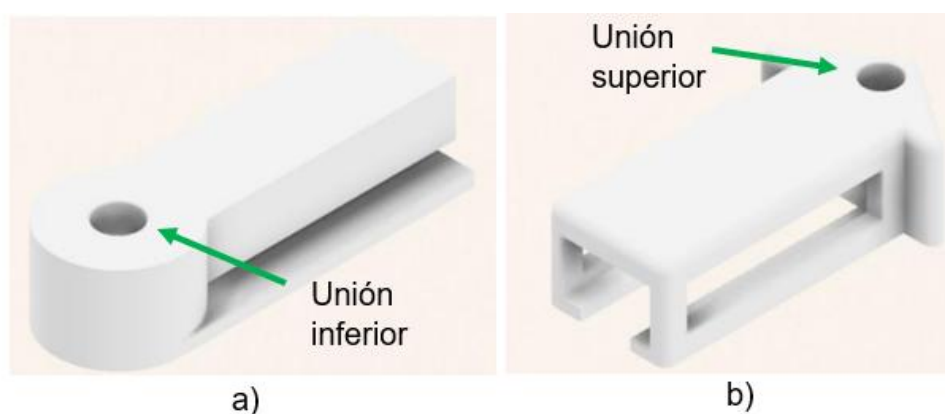


Figura 41 - Flecha y sus dos componentes; a) Riel de flecha, b) flecha.

El modelo se puede configurar, principalmente, en tres formas distintas, que corresponden a tres casos vectoriales. En las Figuras 42, 43 y 44 se muestran las diferentes configuraciones. A grandes rasgos, el montaje consiste en fijar un eslabón a la base, posicionarlo en el origen del sistema de referencia y utilizar la flecha negra como guía para representar los ejes cartesianos. Posteriormente, sobre el eslabón se coloca la flecha (unión posterior) y la unión superior se une con la palanca y la corredera, o el eslabón.

Mediante el accionamiento de la manija, el estudiante puede observar el comportamiento del vector en cada configuración.

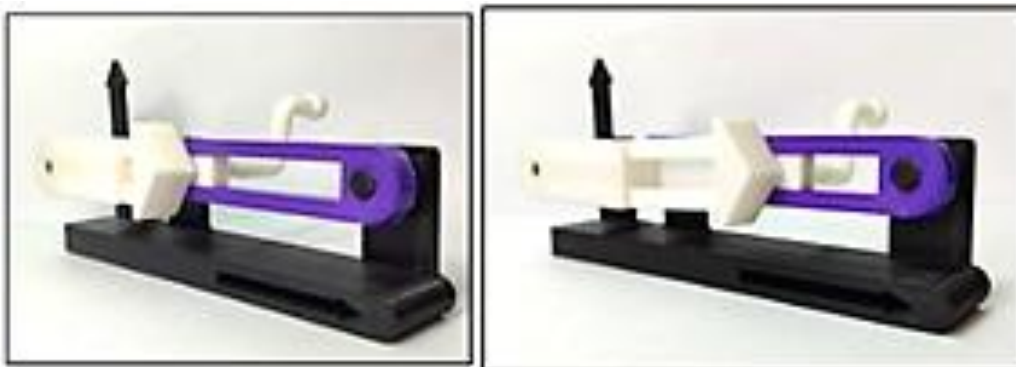


Figura 42 - Caso 1, magnitud variable y orientación fija.



Figura 43 - Caso 2, magnitud fija y orientación variable.



Figura 44 - Caso 3, magnitud y orientación variable.

Aporte al aprendizaje

Este modelo busca ayudar a comprender a los estudiantes cómo se modifica un vector cuando cambia una o más de sus variables. La interacción directa con el

prototipo favorece la comprensión del fenómeno físico, más allá de su representación matemática, fortaleciendo el aprendizaje conceptual y significativo.

4. Efecto Coriolis

Propósito didáctico

El efecto Coriolis es uno de los conceptos más complejos de visualizar dentro del estudio de la Mecánica, ya que describe la desviación en la trayectoria de un cuerpo debido a la rotación de la superficie sobre la que se desplaza, como ocurre en la superficie terrestre. Este fenómeno suele ser difícil de comprender únicamente mediante explicaciones teóricas o animaciones, y resulta poco observable en el entorno del aula.

Descripción del prototipo

Para ilustrar el tema, se diseñó el prototipo denominado “Plato de Coriolis”, el cual consiste en un plato giratorio, que puede ser accionado por un motor, acompañado de una rampa y diversos elementos denominados “orejas” (ver Figura 45). En él se observa cómo al deslizar una canica por la rampa y la superficie en rotación, su trayectoria se desvía respecto a una línea recta, evidenciado el efecto de la aceleración de Coriolis.



Figura 45 - Plato de Coriolis, impreso en PLA blanco.

El modelo, también busca no solo ser un “plato tradicional”, sino que permite diferentes configuraciones geométricas, lo que amplía las posibilidades de experimentación, según lo mostrado en la Figura 46. Asimismo, el prototipo fue

desarrollado tanto mediante impresión 3D como en MDF, ofreciendo a los estudiantes las alternativas de fabricación que mejor se adapten a su presupuesto.

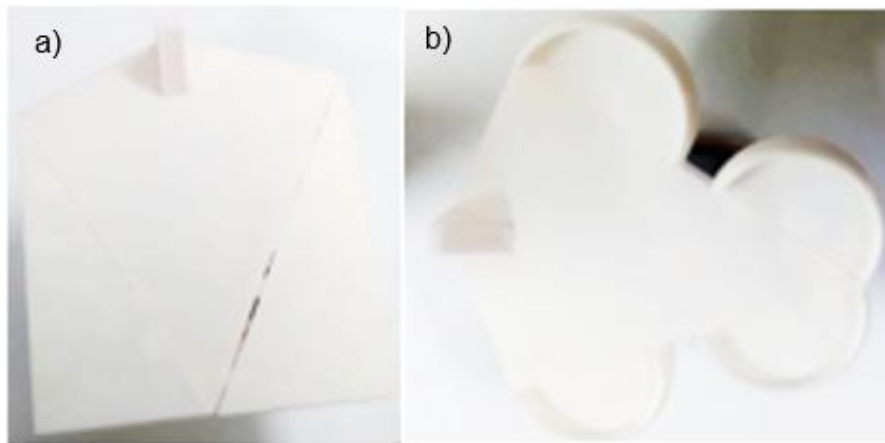


Figura 46 - Plato de Coriolis en sus otras dos formas: a) Cuadrado, b) Triángulo con orejas.



Figura 47 - Plato de Coriolis en madera.

Aporte al aprendizaje

Este efecto, suele ejemplificarse con fenómenos a gran escala, como la circulación de los vientos o la deflexión de la trayectoria de los misiles. El modelo presentado, traslada este fenómeno a un contexto experimental accesible. Además, el prototipo permite variar los parámetros, como la velocidad de giro, o la posición de lanzamiento, ofreciendo un campo de experimentación versátil para analizar el comportamiento de los diferentes escenarios que se puedan crear. Las orejas tienen el propósito de servir como un “atrapa canicas”. Se pueden ir colocando, dependiendo en dónde se crea que caerá la canica. Lo que invita al estudiante a interactuar directamente con el efecto.

5. Bomba de petróleo

Propósito didáctico

El mecanismo biela–manivela es fundamental en la ingeniería mecánica debido a su capacidad de transformar movimiento circular en movimiento lineal. Por esta razón, se desarrolló el prototipo denominado *Bomba de petróleo*, el cual representa una aplicación real de dicho mecanismo.

Descripción del prototipo

La bomba de petróleo presentada en este manual, replica a escala los componentes esenciales de este sistema: base estructural, torre de soporte, poleas, balancín, biela y manivela contrapeso. Cada pieza fue diseñada considerando su función mecánica y su viabilidad de fabricación mediante impresión 3D o corte láser (ver Figuras 48 y 49).



Figura 48 - Bomba de petróleo impresa en PLA y con PET–G.

El funcionamiento inicia con el accionamiento de la manivela, ubicada en la parte posterior del modelo, la cual provoca la rotación de la primera polea. Este movimiento se transfiere a una segunda polea mediante una liga, provocando el giro del sistema de bielas y, finalmente, el movimiento alternativo del balancín. Al estar sujeto a la torre, dicho movimiento se convierte en un desplazamiento lineal, observable a través de la tensión y relajación de la liga conectada al balancín.



Figura 49 - Bomba de petróleo en MDF.

Aporte al aprendizaje

Un aspecto destacable del modelo es su reversibilidad, la cual es una característica muy propia de los mecanismos biela-manivela. Los estudiantes pueden comprobar que un movimiento rotatorio genera un desplazamiento lineal y viceversa, lo cual resulta clave para comprender sistemas como motores de combustión interna y mecanismos de transmisión empleados en maquinaria industrial.

6. Levas y seguidores

Propósito didáctico

El prototipo de levas y seguidores fue diseñado con el fin de ilustrar la transmisión de movimiento entre una leva y un seguidor. Se optó por desarrollar dicho sistema debido a sus relevantes aplicaciones reales, como en los árboles de levas en motores de combustión interna, los cuales controlan la apertura de las válvulas de escape y admisión.

Descripción del prototipo

Los sistemas leva-seguidor pueden clasificarse bajo múltiples criterios, como el tipo de movimiento, la geometría de la leva, la forma del seguidor, entre otros, los cuales, se explican a mayor detalle dentro del manual. Para este proyecto, se optó por desarrollar un modelo basado en la clasificación por tipo de seguidor, representando los tres principales tipos de seguidor que existen a través del modelo “Delfín”:

- Seguidor de rodillo—conectado a la cabeza.

- Seguidor curvado o plano–conectado al torso.
- Seguidor de deslizamiento o punta–conectado a la cola del modelo.

Cabe señalar que, las longitudes de cada seguidor varían. Lo anterior se debe a que, dependiendo del tipo de seguidor, se observarán comportamientos distintos en estos al interactuar con las levas (ver Figura 50).

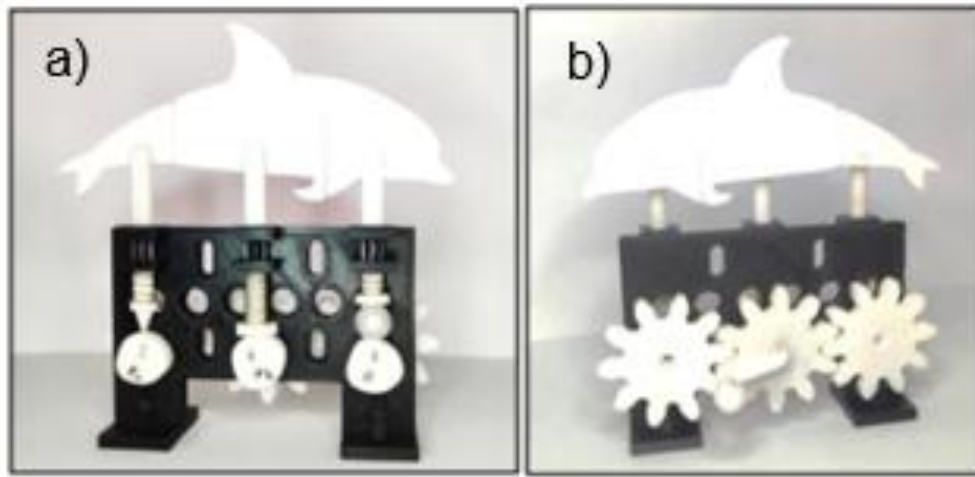


Figura 50 - Delfín; a) Seguidores de punta, plano y rodillo; b) parte posterior del prototipo: tren de engranes.

El sistema funciona por la transmisión de movimiento entre engranes, que están en la parte posterior del prototipo, y que a su vez se conectan por medio de un eje a las levas las cuales, al rotar, propician el movimiento de los seguidores, y estos, finalmente se conectan a cada parte del delfín, en el cual podremos ver el movimiento final.

Aporte al aprendizaje

El modelo demuestra cómo la geometría de la leva y el tipo de seguidor modifican el movimiento final, esta representación física permite observar de manera directa la relación entre el diseño geométrico y la respuesta cinemática, reforzando la comprensión de un tema relevante para la materia de Mecanismos.

Asimismo, el modelo facilita la comprensión del funcionamiento de un tren de engranes básico y del uso de elementos mecánicos como rodamientos y tornillos, destacando su importancia para lograr un movimiento más fluido y un ensamble seguro.

7. Tren de engranes planetario

Propósito didáctico

El prototipo de tren de engranes planetario se diseñó para facilitar la comprensión de las distintas configuraciones cinemáticas de este sistema, en las que el comportamiento del mecanismo depende del elemento que se inmovilice.

Descripción del prototipo

El prototipo cuenta con un total de 13 piezas únicas, entre las que destacan el engrane corona, tres engranes planeta, el engrane sol y el portaplanetas, los cuales conforman el sistema principal (ver Figura 51).

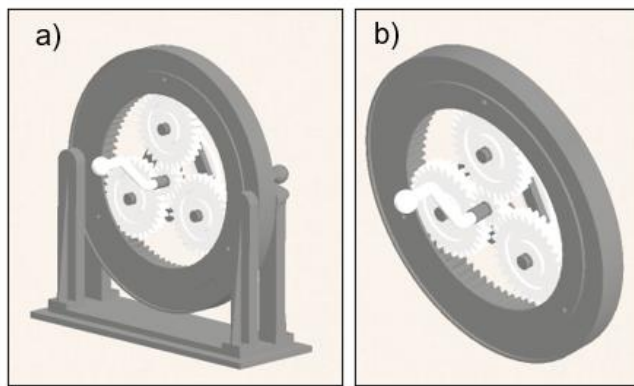


Figura 51 – a) Tren de engranes planetario, vista frontal; b) Ensamble principal del tren de engranes.

Adicionalmente, se incluyen elementos auxiliares que facilitan la manipulación del prototipo, como las manivelas, y la base para su sostén.

El engrane corona presenta una característica particular, además de los dientes internos que entran en contacto con los planetas, incorpora un segundo conjunto de dientes externos que interactúan con un mini engrane, permitiendo transmitir movimiento directamente a la corona. (Ver figura 52).



Figura 52 – Detalle del engrane corona, en donde se observan los segundos dientes que están en contacto con el mini engrane.

Aporte al aprendizaje

Una de las principales ventajas del modelo es que permite analizar cómo cambian las relaciones de movimiento al fijar distintos elementos del sistema. Gracias al diseño del engrane corona con doble dentado, es posible tanto realizar el ensamble para bloquear su movimiento, como accionarlo con ayuda del mini engrane, generando así diferentes configuraciones.

Esto favorece la experimentación directa, ya que el estudiante puede modificar las condiciones del sistema y analizar por sí mismo el comportamiento del mecanismo, fortaleciendo la comprensión de los conceptos cinemáticos relacionados con un tren de engranes.

CONCLUSIONES

Impacto del proyecto en la enseñanza de Mecanismos y cumplimiento de los objetivos

A lo largo del desarrollo del proyecto, se consolidó el desarrollo de recursos didáctico para la materia de Mecanismos. La aplicación y combinación de metodologías de diseño, particularmente el Diseño Centrado en el Usuario y el *Design Thinking*, resultó fundamental, ya que situó al estudiante en el centro del proceso de diseño y facilitó la evaluación de los modelos, pues estas permitieron garantizar con mayor claridad las intenciones del proyecto, es decir, el aprendizaje práctico, interactivo y significativo. Esto puede corroborarse en las secciones de *Metodología y Recursos y Desarrollo*, donde se constata cómo estas metodologías permiten empatizar con los estudiantes y se procura que los recursos desarrollados respondan a sus verdaderas necesidades.

Adicionalmente, mediante la aplicación de las metodologías de diseño anteriormente mencionadas, se procuró continuamente empatizar con el usuario final, dicho proceso se llevó a cabo a través de la observación y la investigación mediante encuestas y el análisis de los resultados, de tal forma, se obtuvieron parámetros de diseño orientados a atender las necesidades de los alumnos de Ingeniería Mecánica, los cuales fueron respetados desde el inicio hasta el final del proceso, preservando la coherencia del proyecto y la satisfacción de los usuarios.

Como resultado de este enfoque, es posible afirmar que los primeros tres objetivos planteados para el proyecto se cumplieron en su totalidad, ya que se desarrolló un manual de prototipos didácticos, el cual traslada los conceptos teóricos al ámbito práctico y didáctico, pues además de mostrar los modelos diseñados, ofrece explicaciones de los temas en los que se centra cada uno, alienta la creatividad y la proactividad para que los alumnos fabriquen y ensamblen sus propios modelos didácticos. Asimismo, al trabajar con la tecnología de impresión 3D a lo largo de

todo el proyecto, se evaluó la factibilidad de la manufactura aditiva para fines didácticos, la cual resultó ser una opción útil con un balance adecuado entre costos, tiempo de producción y consumo de material. Por otro lado, es preciso señalar que los últimos dos objetivos se cumplieron de forma parcial, pues se prevé como etapa futura la implementación del manual una vez que sea publicado con acceso abierto, con el fin de que puede ser utilizado por diversos estudiantes.

Ahora bien, es preciso destacar que el manual fue diseñado con la intención de que los alumnos no sean solo lectores u observadores, sino que también se involucren en la construcción, la experimentación y la manipulación de mecanismos. Pues a lo largo de las distintas etapas, se promueve la toma de decisiones técnicas y el desarrollo de habilidades prácticas.

Asimismo, este proyecto conforma una herramienta de apoyo tanto para docentes como para el autoaprendizaje de los alumnos, ya que, además de emplear metodologías centradas en el usuario, también responde a principios del método Montessori y el visual. Lo anterior también se ve reflejado a través de los distintos recursos que posee el manual, tales como simbología para resaltar puntos importantes, teoría para quienes prefieren analizar textos, anexos con vídeos de referencia e imágenes que explican el procedimiento a seguir, todos ellos elementos que promueven una mayor implicación de los estudiantes en su propio proceso de aprendizaje.

Se puede concluir que el proyecto logró satisfacer los objetivos planteados al inicio, desarrollando recursos didácticos que atienden estilos de aprendizaje relevantes en ingeniería y a su vez, constituyendo un modelo de apoyo para los docentes, proporcionando materiales evaluados y una metodología adaptable que facilita la transición hacia prácticas educativas más dinámicas y centradas en el estudiante, en acorde a los desafíos planteados por la Industria 5.0.

Aportes de la manufactura aditiva en el desarrollo de prototipos didácticos

La manufactura aditiva, específicamente la tecnología de Modelado por Deposición Fundida (FDM), desempeñó un papel protagónico en el proyecto, demostrando aportes significativos como la accesibilidad a diversos materiales, una amplia libertad de diseño y una reducción de impacto tanto ambiental como económico a comparación con otros métodos de fabricación. Los modelos que se desarrollaron en MDF fabricados a través de corte láser refuerzan lo anterior. Esto no quiere decir que la manufactura aditiva sea superior a la manufactura sustractiva u otros métodos de fabricación, sino que, para los objetivos de este proyecto, la impresión 3D por FDM ofreció mayores ventajas

La amplia disponibilidad de materiales que se pueden trabajar mediante manufactura aditiva la convierte en una tecnología ideal para entornos educativos. La impresión 3D permitió el uso de diversos polímeros a diferencia del corte láser donde únicamente se tuvo acceso a un solo material (MDF). Esta variedad permitió

conocer el comportamiento de cada uno de ellos, sus ventajas y desventajas, así como sus diversas aplicaciones. Lo que ayuda al estudiante a desarrollar conocimientos técnicos en este campo que cada vez va tomando más relevancia y forma parte de los retos de la Industria 5.0.

Otra ventaja observada es la excelente transición de lo digital a lo físico y una gran flexibilidad de diseño. A diferencia de los métodos de fabricación tradicionales, la impresión 3D permitió mayor libertad creativa y redujo las limitaciones geométricas. Esta flexibilidad resultó especialmente valiosa para la creación de modelos didácticos que requieren formas complejas y componentes personalizados.

Lo anterior se ve reforzado con los modelos que se desarrollaron en MDF. Al consultar el manual, se podrá observar que, para los modelos desarrollados en madera, fue necesario realizar adaptaciones a los diseños originales desarrollados en CAD, con el fin de ajustarlos a las capacidades de la cortadora láser. En comparación, las piezas impresas muestran relieves, voladizos e incluso acabados superficiales que, en muchos casos, no requieren retrabajo manual adicional. No obstante, estos resultados dependen en gran medida de una adecuada caracterización tanto de los materiales como de la impresora utilizada.

Además, el flujo de trabajo, el cual va desde el CAD hasta el objeto tangible, permite a los estudiantes materializar conceptos abstractos. Dicho proceso refuerza habilidades de modelado 3D y comprensión de las limitaciones y potencialidades de la fabricación digital, todas ellas consideradas competencias valiosas en el contexto industrial actual.

La impresión 3D también permitió la manufactura de piezas con un menor impacto económico y ambiental comparado con otros procesos de manufactura. El hecho de utilizar una tecnología del tipo aditiva implica un bajo desperdicio de material comparado con métodos sustractivos, lo que la hace eficiente para la creación de prototipos didácticos. Igualmente, el costo de los equipos de gama media permitió no solo la fabricación de los modelos finales, sino también una fase extensiva de prototipado rápido y económico para pruebas de funcionalidad, ajuste de tolerancias y experimentación con distintos materiales.

Se puede confirmar, entonces, que el uso de la impresión 3D para el desarrollo de este proyecto no solamente cumplió su propósito como herramienta de trabajo o medio de producción, sino que se convirtió en un elemento pedagógico más que permite a los alumnos explorar de primera mano una tecnología usada ampliamente en la ingeniería actual. Es importante señalar que la impresión 3D no está libre de retos. Estos, junto con otros desafíos enfrentados durante el desarrollo del proyecto, se abordan en el siguiente apartado.

Retos del proyecto y líneas de trabajo futuro

El desarrollo del proyecto enfrentó retos inherentes al diseño y la fabricación, los cuales se convirtieron en oportunidades de aprendizaje. Dentro de los principales retos, se pueden mencionar los siguientes:

- **Aprendizajes de nuevas herramientas:**

Este reto implicó la investigación, análisis y comprensión de nuevas herramientas como el manejo de la impresora 3D, el entendimiento de sus parámetros y de las propiedades de los materiales. Así como el manejo de los softwares necesarios para la creación de códigos.

Estos aprendizajes se incorporaron al manual mediante recomendaciones y consejos prácticos, con el propósito de facilitar la experiencia de futuros usuarios.

- **Optimización de parámetros de diseño y fabricación:**

Otro de los retos relevantes fue la optimización de los parámetros de impresión para distintas geometrías y materiales. Fue necesario realizar varias pruebas y ajustar valores con el fin de evitar el *warping*, mejorar la adhesión entre capas y garantizar que las piezas tuvieran las dimensiones correctas. De manera complementaria, la correcta definición de tolerancias requirió diversas iteraciones de diseño y validación experimental.

Algo que ayudó a enfrentar este y los demás retos mencionados fue la documentación de los procesos y de los resultados de cada iteración, ya que, a partir de ellos, los procesos de diseño y fabricación se retroalimentaban y cada vez se contaba con más información para la toma de decisiones.

- **Calidad en los prototipos didácticos:**

Durante el proceso de impresión, se identificó que existen variables que no siempre están bajo el control directo del operador, como condiciones ambientales o variaciones en material, y que pueden afectar el resultado final. En algunos casos, las afectaciones fueron únicamente estéticas. Frente a estas situaciones, fue necesario evaluar si comprometían o no la funcionalidad del mecanismo. Cuando no afectaban el desempeño, se aplicaba un posprocesado, como lijado o ajustes manuales, evitando así la reimpresión innecesaria de piezas.

- **Equilibrio entre rigor técnico y sencillez pedagógica:**

Por último, se enfrentó el reto de lograr un equilibrio entre el rigor técnico y la sencillez pedagógica. Los modelos debían ser lo suficientemente precisos y resistentes para ilustrar correctamente los principios mecánicos, pero al mismo tiempo intuitivos y accesibles para estudiantes que podrían interactuar por primera vez con un mecanismo físico.

A partir de los retos identificados, se desprenden diversas líneas de trabajo futuro. En primer lugar, se plantea la expansión del temario mediante el desarrollo de nuevos prototipos que aborden una mayor diversidad de mecanismos, incluyendo contenido de nivel más avanzado.

Otro aspecto que se propone es la integración tecnológica, como el uso de sensores y microcontroladores para identificar variables cinemáticas en tiempo real, creando así prototipos instrumentados que permitan la recolección de datos e incluso puedan ser aplicados a otras materias.

Asimismo, se considera pertinente realizar una validación pedagógica formal del proyecto, mediante estudios controlados que evalúen de manera cuantitativa y cualitativa el impacto del uso de estos prototipos en el rendimiento académico y en la percepción de los estudiantes.

Desde una perspectiva de sostenibilidad y optimización de recursos, se plantea como línea futura la mejora en el aprovechamiento del filamento e incluso desarrollar un centro de reciclaje. También, se considera realizar un rediseño para lograr que las piezas fabricadas puedan ser intercambiables entre varios modelos con el fin de reducir la cantidad a manufacturar.

Este proyecto no solo permitió la creación de recursos didácticos tangibles, sino que también traza un camino para innovar en la enseñanza de la ingeniería, pues combina metodologías de diseño, fundamentos pedagógicos y tecnologías accesibles como la impresión 3D, ofreciendo una alternativa para enriquecer la formación de futuras generaciones y apoyar en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

En conclusión, los retos enfrentados no sólo fortalecieron el desarrollo técnico del proyecto, sino que también sentaron las bases para un trabajo futuro. Finalmente, lo que se busca es crear comunidad, invitando a los estudiantes y profesores a compartir sus necesidades y a partir de ellas crear y colaborar con sus propias ideas e incluso con material didáctico, para así lograr construir una base sólida de herramientas de aprendizaje.

REFERENCIAS

1. Agüero, M. de las M., Benavides, M. A., Pompa, M., García, M., Hernández, M. Á., Rendón, V. J., Martínez, S. I., y Sánchez, M. (2021, octubre). La educación remota y digital en la UNAM durante la pandemia. Unam.Mx. https://cuaed.unam.mx/url_pdf/educacion-remota-digital_V06-29-10-21.pdf
2. Alavala, C. R. (2009). CAD/CAM: Concepts and Applications. PHI Learning.
3. Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería A. C. (2015). Modelo educativo propuesto por la Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería (ANFEI). ANFEI.
4. Ayala, C. E. (2020). "Design Thinking" método de innovación para diseñar y emprender un servicio de movilidad en la zona centro de la Ciudad de México [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000800716/3/0800716.pdf>
5. BCN3D. (2020, julio 12). How to 3D print? The Beginner's Guide to 3D Printing. BCN3D Technologies. <https://www.bcn3d.com/the-beginners-guide-to-3d-printing-6-steps/>
6. Budynas, R. G., y Nisbett, J. K. (2010). Shigley's Mechanical Engineering Design (9th ed.). McGraw Hill Higher Education.
7. Carballeira, A. (2020). El enfoque humanista en la educación superior tecnológica. Revista Iberoamericana de Educación Superior, 11(31), 57–76. <https://doi.org/10.22201/iisue.20072872e.2020.31.583>
8. CUAIEED UNAM. (s.f.). Design Thinking. B@UNAM. Recuperado el 11 de junio, 2025, de https://uap.as2.bunam.unam.mx/sociales/design_thinking
9. Delgado, P. (2023). El impacto del COVID-19 en las universidades tres años después de la disrupción. Observatorio / Instituto para el Futuro de la Educación; Instituto para el Futuro de la Educación. <https://observatorio.tec.mx/el-impacto-de-covid-19-en-las-universidades-tres-anos-despues-de-la-disrupcion/>
10. Domingo, M., y Pera, E.M (2018). Diseño centrado en el usuario. Scalahed.com. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25870w/Interaccion_personaordenador_.pdf
11. Escobar, E. M., y Arango, M. (2013). LA PROGRAMACIÓN NEUROLINGÜÍSTICA, UN MODELO PARA FACILITAR LA APROPIACIÓN DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD (G. Galvis, Ed.). Universidad de Medellín. <https://core.ac.uk/download/pdf/51194491.pdf>
12. Ewance. (2024, March 12). Active Experimentation: Experiential Learning Explained. Ewance. <https://www.ewance.com/article/active-experimentation-experiential-learning-explained/>

13. Facultad de Ingeniería, y Universidad Nacional Autónoma de México. (2023). PROYECTO DE MODIFICACIÓN DEL PLAN DE ESTUDIOS DE LA LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA. Unam.mx. https://www.ingenieria.unam.mx/programas_academicos/licenciatura/Mecanica/2023/asignaturas_mecanica_2023.pdf
14. Flores, A., Guerrero, J. J., Luna, L.G. (2019). Innovación educativa en el aula mediante Design Thinking y Game Thinking, Hamut'ay, vol. 6 (pp. 82-95)
15. Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., & Khorasani, M. (2020). Additive Manufacturing Technologies (3rd ed.). Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-56127-7>
16. Haro Esquivel, G., Ayala Hernández, P. (2024). Reto del Ingeniero a ser Docente de Ingeniería en la Industria 5.0. Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica 4, n.o 2 1830-48. <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v4i2.329>.
17. HP Development Company. (2025). What types of 3D printing and additive manufacturing technologies are there? HP.Com. <https://www.hp.com/us-en/printers/3d-printers/learning-center/types-of-3d-printing.html>
18. Huntington Montessori School. (2024). What is Montessori Education? <https://www.huntingtonmontessori.org/what-is-montessori-education>
19. Ibes, C., y Ng, Y. (2020). Engineering in a Montessori Environment. 2011 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings. <https://doi.org/10.18260/1-2--17873>
20. Irepan, L., Oseguera, E. S., y Hernández, A. (2015). INCORPORACIÓN DE NTICS, EN ASIGNATURAS CURRICULARES DE INGENIERÍAS EN INFORMÁTICA Y SISTEMAS COMPUTACIONALES. Revista Electrónica ANFEI Digital. <https://anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/161/580>
21. Jandyal, A., Chaturvedi, I., Wazir, I., Raina, A., y Ul Haq, M. I. (2022). 3D printing – A review of processes, materials and applications in industry 4.0. Sustainable Operations and Computers, 3, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.09.004>
22. Kallis, J. (2024). The development of a Montessori-inspired framework to solve dilemmas in higher education during the 5th Industrial Revolution. [Tesis de Maestría, Haaga-Helia, University of Applied Sciences] Theseus: <https://www.theseus.fi/handle/10024/851574>
23. Kristia, N., y Krismiyati, K. (2023). Analysis of learning styles of students majoring in computer and network engineering. International Journal of Active Learning, 8(2), 76-86.
24. Kumar, S. (2003). Selective Laser Sintering: A Qualitative and Objective Approach. JOM, 43–47. <https://cmappublic3.ihmc.us/rid=1P89GC7RV-1578BQX-1899/Selective%20Laser%20Sintering%203.pdf>
25. Linke, R. (2017, December 7). Additive manufacturing, explained. MIT Sloan. <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/additive-manufacturing-explained>

26. Lloyd, M., y Ordorika, I. (2021). La internacionalización de la educación superior: tendencias, actores y agendas. *Perfiles Educativos*, 43(171), 146–165. <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2021.171.60566>
27. LN Creatividad y Tecnología. (2017, May 26). ¿QUÉ ES DESIGN THINKING? PENSAMIENTO DE DISEÑO. LN Creatividad y Tecnología Blog. <https://www.luisan.net/blog/disenio-grafico/que-es-design-thinking>
28. López, A., y Galaviz, C. (2019). ESTILOS DE APRENDIZAJE, UNA ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA. INNOVADORA PARA LA FORMACIÓN DE INGENIEROS. Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería. Recuperado 18 de febrero de 2025, de <https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/570/1210>
29. Mejía, J. (2024, marzo 4). La educación Montessori: ¿cómo funciona y cuáles son sus beneficios? El Economista. <https://www.economista.com.mx/arteseideas/La-educacion-Montessori-como-funciona-y-cuales-son-sus-beneficios-20240304-0046.html>
30. Ming, L., Wenchao, D., Alaa, E., Zhijian, P. y Chao, M. (2020). Metal Binder Jetting Additive Manufacturing: A Literature Review. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 14(1), pp. 531-540 <https://par.nsf.gov/servlets/purl/10165724>
31. Mok, K. H. (2022). Promoting international connectivity in higher education after the pandemic. *International Higher Education*, (110), 12–14. <https://doi.org/10.36197/IHE.2022.110.05>
32. Montessori Northwest. (2025). What is Montessori education? <https://montessori-nw.org/what-is-montessori-education>
33. Murray, A. K., Miller, M., Postlewaite, E. L., y Clark, K. (2022). Implementing the Montessori approach in an undergraduate marketing course: A case study. *Frontiers in education*, 7. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.1033752>
34. Norton, R. L. (2009). DISEÑO DE MAQUINARIA (E. C. Zúñiga, Ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores.
35. Organización Internacional de Normalización. (2021). Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary. ISO/ASTM 52900. <https://www.iso.org/obp/ui/en/>
36. Palma, C. (2012). Nuevos retos para el ingeniero en el siglo XXI. *INGNOVACIÓN*, No. 4, 61–65. <https://rd.udb.edu.sv/server/api/core/bitstreams/3181a2ce-f7db-411d-8131-bd50b17a6dd4/content>
37. Ramírez, M. G., y Cázares, C. L. A. (2024). La ingeniería mexicana en el nuevo orden mundial: innovación, sustentabilidad y formación humanista. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 14(28), 1–17. <https://doi.org/10.23913/ride.v14i28.1480>
38. Reyes, L., Céspedes, G., y Molina, J. (2017). Tipos de aprendizaje y tendencia según modelo VAK. *Tecnol.Investig.Academia TIA*, 5, 237-242. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tia/article/view/9785/pdf>

39. Rosdiana, M. P. M., Muslimin, M., y Firmansyah, F. (2022). The use of visual, auditory, kinesthetic (VAK) learning to increase student learning outcomes. *Inornatus: Biology Education Journal*, 2(2), 85–93. <https://doi.org/10.30862/inornatus.v2i2.343>
40. Salinas, A., Tejada, J., Gutiérrez, M., y Ruiz, G. (2023). El humanismo como eje en la formación integral del ingeniero. *Revista de Investigación Educativa del Tecnológico de Monterrey*, 9(18), 1–20. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10102063>
41. Secretaría de Economía. (2017). 0018-F-13032015 Diagnóstico para desarrollo de procesos de fabricación de manufactura aditiva. <https://www.gob.mx/se/documentos/0018-f-13032015-diagnostico-para-desarrollo-de-procesos-de-fabricacion-de-manufactura-aditiva>
42. Serrano, J. P., Sosa, J. M., y Martínez, P. R. (2015). EL TRABAJO COLABORATIVO COMO UNA ESTRATEGIA PARA LA FORMACIÓN DE LOS FUTUROS INGENIEROS. *Revista Electrónica ANFEI Digital*. <https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/123/474>
43. Serrano, M., y Blázquez, P. (2015). Design thinking: Lidera el presente. Crea el futuro. Esic.
44. Ulrich, K. T., y Eppinger, S. D. (2016). Diseño y desarrollo de productos. McGraw-Hill/Interamericana Editores.
45. UltiMaker. (2025). What Are the Different Types of 3D Printing Technologies and 3D Printers? Ultimaker.com. <https://ultimaker.com/es/learn/types-of-3d-printing-technologies/>
46. Valdez, L. (2023). ¿Qué es la ingeniería humanística? Blog UNITEC. <https://blogs.unitec.mx/vida-universitaria/que-es-la-ingenieria-humanistica>
47. Velásquez, A., y Echeverri, H. (2023). Hacia la formación de ingenieros para la industria 5.0: desafíos y oportunidades. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería, Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería – ACOFI. <https://doi.org/10.26507/paper.2785>.
48. Warburton, J. (2023, julio 5). The benefits of using Montessori principles in college classes (opinion). Inside Higher Ed | Higher Education News, Events and Jobs. <https://www.insidehighered.com/opinion/career-advice/teaching/2023/07/05/benefits-using-montessori-principles-college-classes>
49. Yáñez-Valdez, R. (2023). Hybrid project-based didactic strategy in mechanical engineering courses. *IE Revista de Investigación Educativa de La REDIECH*, 14, e1778. https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v14i0.1778
50. Zahid Iqbal, M., y Campbell, A. G. (2023). AGILEST approach: Using machine learning agents to facilitate kinesthetic learning in STEM education through real-time touchless hand interaction. *Telematics and Informatics Reports*, 9(100034), 100034. <https://doi.org/10.1016/j.teler.2022.100034>

ANEXO I – MAPAS DE EMPATÍA

Mapa de Empatía

Estudiante 1: Isabel
 Edad: 21 años
 Semestre en curso: Sexto semestre
 Carrera: Ingeniería Mecánica
 Estilo de aprendizaje: kinestésico
 Trabaja: Sí

¿QUÉ PIENSA Y SIENTE?

Isabel se encuentra en su sexto semestre de la carrera de Ingeniería Mecánica cursando la materia de Mecanismos. A la par que estudia también invierte tiempo trabajando, por lo cual a veces no tiene tanto tiempo de repasar sus lecciones. Lo que hace que sienta un poco de preocupación porque hay temas que todavía no comprende al 100%. Su estilo de aprendizaje es kinestésico y considera que es muy útil e importante utilizar modelos físicos.

¿QUÉ OYE?

Muchos de sus compañeros utilizan herramientas de simulación para estudiar. Sus profesores le recomiendan construir sus propios modelos físicos, con materiales accesibles como MDF, acrílico o incluso cartón.



¿QUÉ VE?

Por como está conformado el plan de estudios, Isabel no puede acudir a un laboratorio para poder observar y experimentar con los diferentes mecanismos. Sus profesores le enseñan a modelar y simular en diferentes softwares.

¿QUÉ DICE Y HACE?

Debido al tiempo que tiene para estudiar, Isabel repasa sus lecciones con videos y simulaciones realizadas por la comunidad. Explica que debido a su situación, no puede realizar su propio material didáctico.

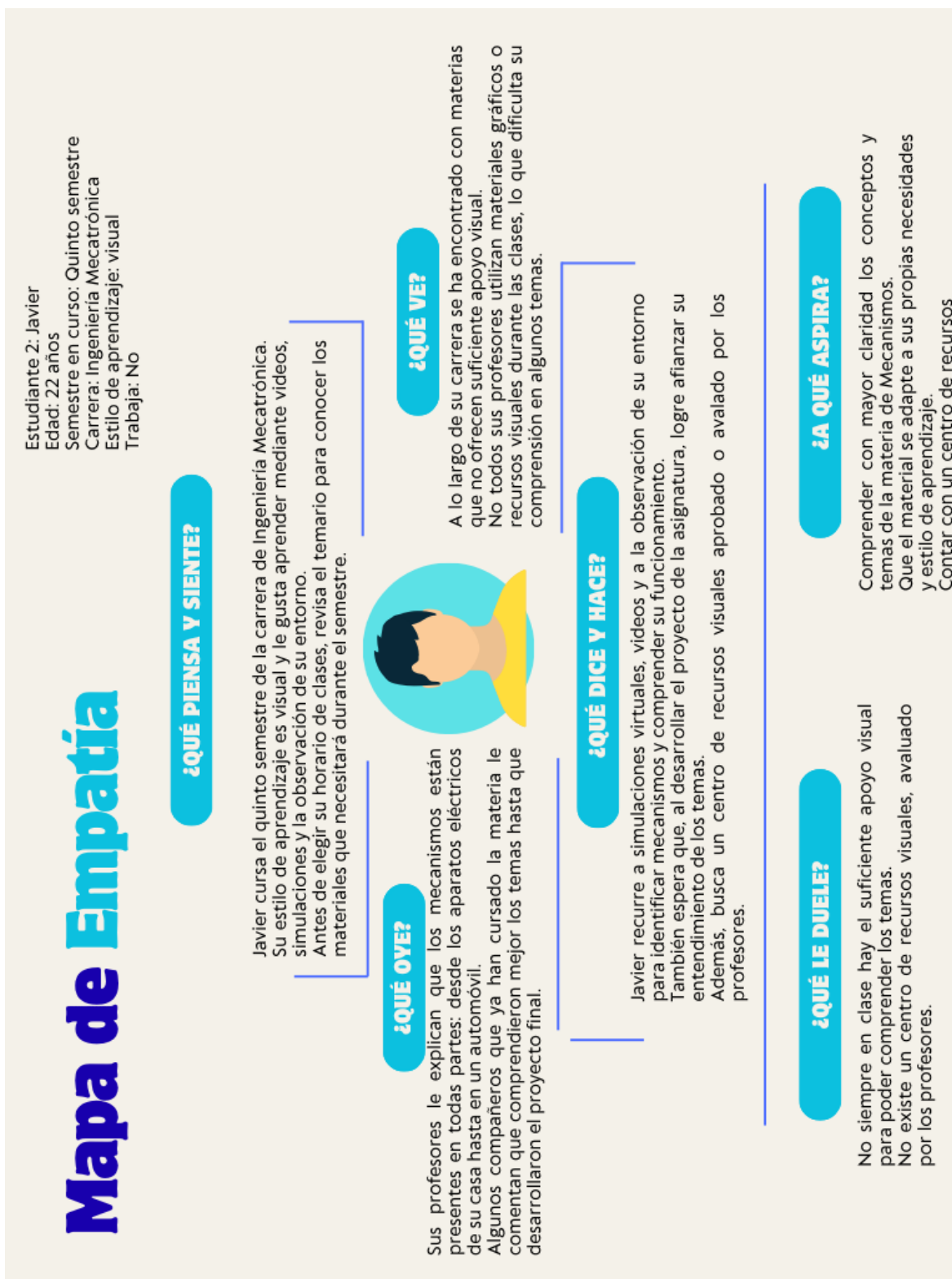
¿QUÉ LE DUELE?

No tener el tiempo para poder elaborar su propio material didáctico.
 No poder acceder a un laboratorio para interactuar con el material didáctico.

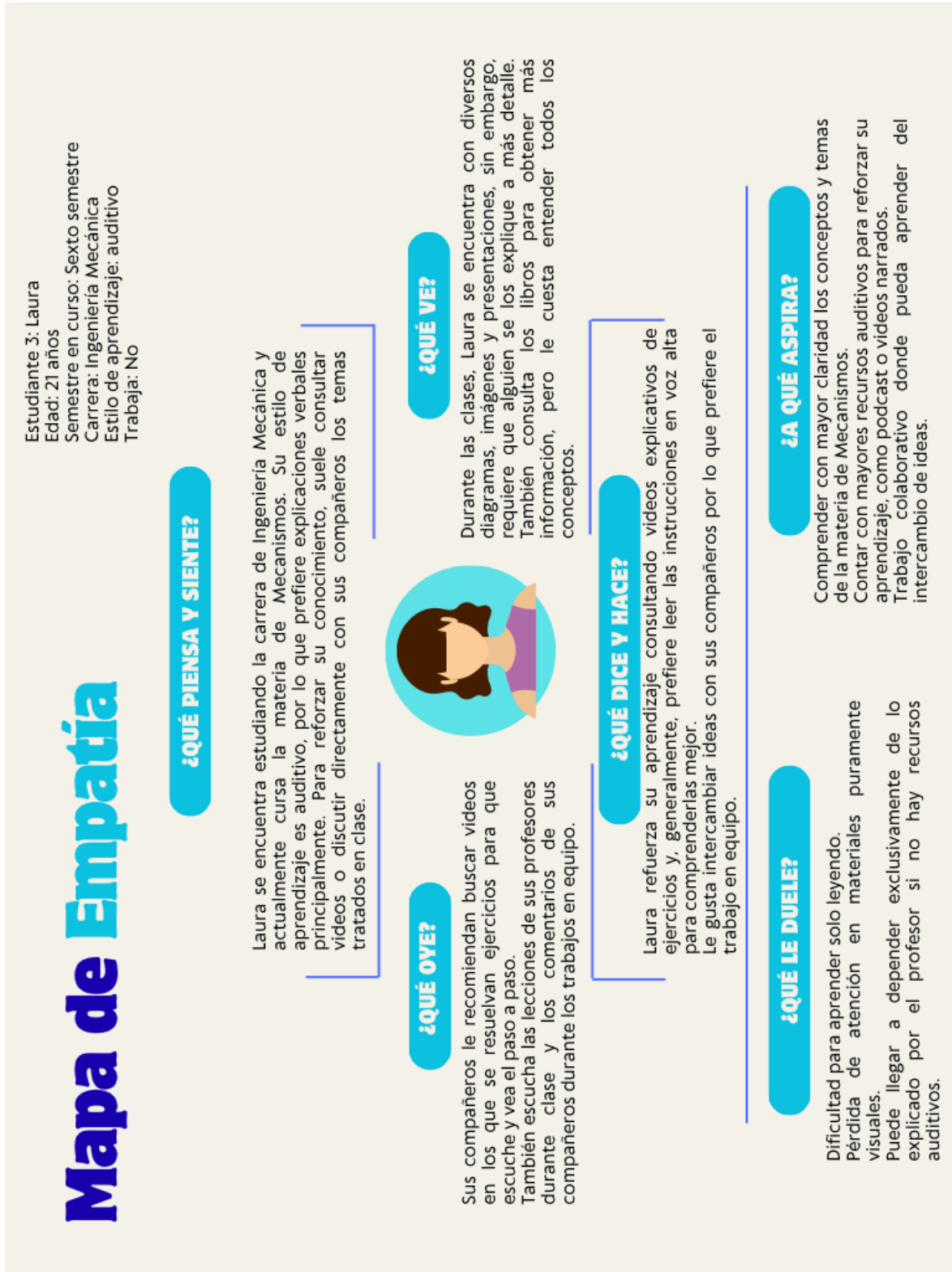
¿A QUÉ ASPIRA?

Comprender con mayor claridad los conceptos y temas de la materia de Mecanismos.
 Que el material se adapte a sus propias necesidades y estilo de aprendizaje.

II. Mapa de empatía del alumno Javier – Estilo de aprendizaje Visual



III. Mapa de empatía de la alumna Laura – Estilo de aprendizaje Auditivo



ANEXO II – MANUAL



DISEÑO Y DESARROLLO DE PROTOTIPOS DIDÁCTICOS MEDIANTE IMPRESIÓN 3D PARA LA ENSEÑANZA DE MECANISMOS

Modelos tridimensionales fabricados a partir de Impresión 3D y Corte Láser

Elaborado por:

Dr. José Antonio Silva Rico

Aguilar Martínez Jonathan David

Gutiérrez Torres Andrea

Maldonado Andrade Rebeca

Sandoval Osorio Sinaí

PRESENTACIÓN

Las carreras de la Facultad de Ingeniería de la UNAM están diseñadas para que los estudiantes adquieran conocimientos teóricos y prácticos. Sin embargo, a veces el tiempo de práctica está limitado, al igual que el acceso a los laboratorios, lo que impide que haya una mayor dedicación a la formación práctica. Con esto en mente, surge este manual.

El objetivo de este proyecto es elaborar un manual que contenga la información necesaria para que los estudiantes puedan crear su propio material didáctico. En esta ocasión, el manual se centra en la materia de Mecanismos. Se espera que, con ayuda del presente, los estudiantes puedan poner en práctica sus conocimientos teóricos en el momento que lo deseen.

Este manual proporcionará la información necesaria para la creación de modelos físicos, desde su diseño en CAD hasta su manufactura, ya sea mediante Impresión 3D o Corte Láser en madera. Además, los estudiantes encontrarán consejos útiles sobre los procesos de manufactura anteriormente mencionados, así como información sobre los distintos mecanismos que aquí se exponen.

Esperamos que este manual sea de gran utilidad, y que inspire a toda la comunidad académica y estudiantil a compartir sus ideas y modelos que les han ayudado a lo largo de su formación universitaria.

Este trabajo fue realizado con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME con clave de proyecto **PE111923**.

PARTES DEL MANUAL

Modelos

En el presente documento encontrarás los modelos que se realizaron por Impresión 3D (I3D) y por Corte Láser en madera (CL). Hablaremos de las piezas que componen al modelo, los parámetros de I3D y/o CL para su manufactura, y algunos consejos de fabricación. También, encontrarás información relevante sobre el tema que busca explicar el material didáctico.

Anexo A – Planos

En el Anexo A podrás consultar los planos de cada una de las piezas que conforman los modelos aquí presentados. Así como, su correspondiente explosivo de ensamble. Esto te ayudará a recrear las piezas, realizar su ensamble y su fabricación.

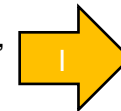
El orden en que se presentan los planos corresponde al orden en que se encuentran en este documento los modelos.

Anexo B – Sitios de Interés

En el Anexo B proponemos algunos sitios de interés que pueden ayudarte a comprender algunos puntos importantes sobre los procesos de manufactura presentados. También, en estos sitios podrás encontrar información relevante sobre los temas que se discuten en el manual, o el acceso a páginas donde puedes explorar otros modelos para impresión.

A lo largo de las páginas, podrás encontrar estas sugerencias como **flechas amarillas con números romanos**. Y, al consultar el Anexo B, solo debes buscar el número correspondiente. Ejemplo:

“La caracterización de los materiales de impresión es importante porque ...”



Anexo C – Filamentos

Como parte de la elaboración de este manual y los distintos modelos que se presentan aquí, se elaboró un resumen de las características y propiedades de algunos de los filamentos que existen en el mercado. Toda lo anterior, se puede consultar en el Anexo C.

Anexo D – Manual corte láser

Para poder realizar algunos de los modelos que se presentan en este manual, se necesitan algunos conocimientos en corte láser. En el anexo D encontrarás una guía básica para iniciarte en el corte láser y poder realizar los cortes.

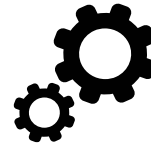
SIMBOLOGÍA



Parámetros de impresión



Parámetros de corte láser



Configuración especial



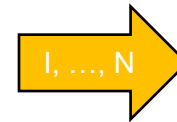
Tolerancias y ajustes.



Filamentos y consejos de
impresión



Consejos sobre corte
láser



Consulta el Anexo B y
busca el número I, II, III o N

Índice

1. TIPOS DE JUNTAS	1
1.1 Impresión 3D.....	3
2. MECANISMO DE WATT.....	6
2.1. Impresión 3D.....	7
2.2. Corte láser.....	11
3. CASOS VECTORIALES.....	15
3.1 Impresión 3D.....	18
4. EFECTO CORIOLIS.....	21
4.1 Impresión 3D.....	21
4.2 Corte láser.....	24
5. BOMBA PETRÓLEO.....	27
5.1 Impresión 3D.....	29
5.2 Corte láser.....	34
6. LEVAS Y SEGUIDORES.....	37
6.1 Impresión 3D.....	38
7. TREN DE ENGRANES PLANETARIO.....	43
7.1 Impresión 3D.....	44
8. REFERENCIAS.....	50

Índice de Tablas

Tabla 1.1	<i>Parámetros de impresión Juntero.</i>	<i>3</i>
Tabla 2.1	<i>Parámetros de impresión PLA Madera.</i>	<i>8</i>
Tabla 2.2	<i>Parámetros de impresión para pernos y manivela Watt.....</i>	<i>9</i>
Tabla 2.3	<i>Parámetros de impresión para base Watt.</i>	<i>9</i>
Tabla 2.4	<i>Parámetros de corte láser para las piezas.....</i>	<i>12</i>
Tabla 2.5	<i>Impresión manivela y pasador–perno</i>	<i>12</i>
Tabla 3.1	<i>Parámetros de impresión Flecha –Casos Vectoriales</i>	<i>18</i>
Tabla 4.1.	<i>Parámetros de impresión para modelo Efecto Coriolis</i>	<i>23</i>
Tabla 4.2.	<i>Parámetros de corte Efecto Coriolis.....</i>	<i>25</i>
Tabla 5.1.	<i>Parámetros para bases y torre de bomba petróleo</i>	<i>29</i>
Tabla 5.2.	<i>Parámetros de impresión para piezas de la bomba petróleo</i>	<i>31</i>
Tabla 5.3.	<i>Parámetros de corte para modelo Bomba Petróleo.</i>	<i>34</i>
Tabla 6.1.	<i>Parámetros de impresión para pies de base y base (Delfín).</i>	<i>40</i>
Tabla 6.2.	<i>Parámetros de impresión para ejes con PET-G.</i>	<i>40</i>
Tabla 6.3.	<i>Parámetros de impresión para delfín, engranes, seguidores y manivela.</i>	<i>40</i>
Tabla 7.1	<i>Parámetros de impresión para base, soportes y engrane corona.....</i>	<i>46</i>
Tabla 7.2	<i>Parámetros de impresión para engranes y el resto de los elementos.....</i>	<i>46</i>

1. TIPOS DE JUNTAS

Una junta, también conocida como par cinemático, es una conexión entre dos o más eslabones en sus nodos, que permite el movimiento entre ellos. Existen varios tipos de juntas, los cuales se describen a continuación.

Junta prismática

Permite traslación d entre eslabones.

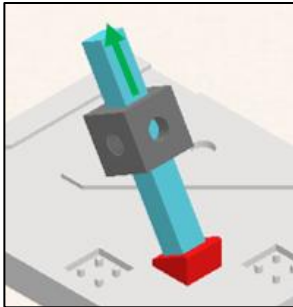


Figura 1.1. Junta prismática.

Usado en movimiento plano y espacial.

Semijunta

Permite una traslación d y un giro θ .

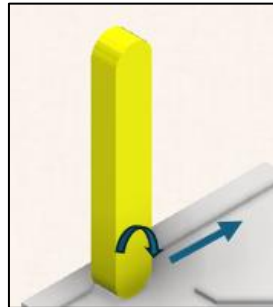


Figura 1.2. Semijunta.

Usado en movimiento plano y espacial

Junta rotacional

Permite un giro θ entre eslabones.

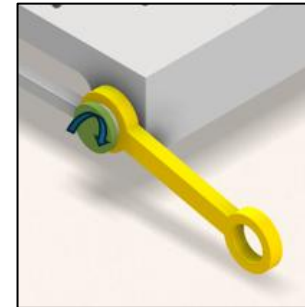


Figura 1.3. Junta rotacional.

Usado en movimiento plano y espacial.

Junta de tornillo

Permite una traslación d y un giro θ , pero están relacionados.

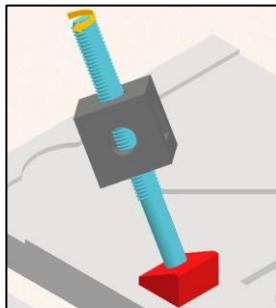


Figura 1.4. Junta de tornillo

Usado en movimiento espacial.

Junta cilíndrica

Permite una traslación d y un giro θ .



Figura 1.5. Junta cilíndrica.

Usado en movimiento espacial.

Junta esférica

Permite 3 giros $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ entre eslabones.

Figura 1.6. Junta esférica

Usado en movimiento espacial.

1

Junta múltiple
Permite 2 giros θ .

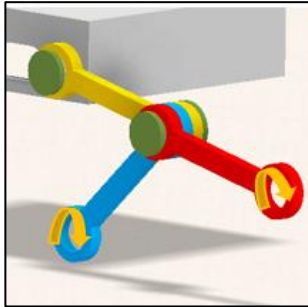


Figura 1.7. Junta Múltiple.

Usado en movimiento plano y espacial.

Junta plana
Permite 2 traslaciones (x,y) y un giro θ .

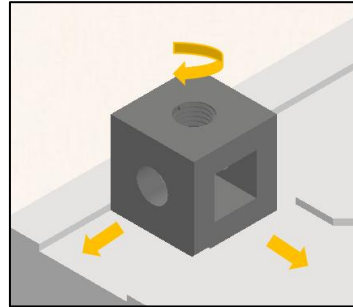


Figura 1.8. Junta plana.

Usado en movimiento plano y espacial.

Perno, ranura, Semijunta
Permite 2 giros θ .

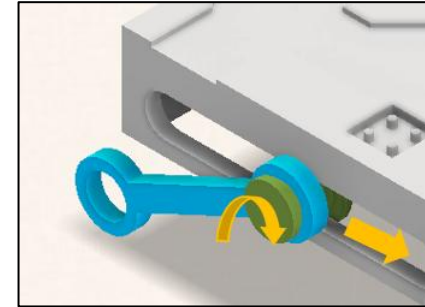


Figura 1.9. Perno, ranura semijunta.

Usado en movimiento plano y espacial.

Para que puedas comprender de mejor manera el tema de juntas, te presentamos un modelo llamado “Juntero”. El cual consiste en un tablero que contiene todas las juntas aquí presentadas. Por lo tanto, el tablero se conforma de distintas piezas que interactúan entre sí y al ensamblarlas se obtiene como resultado el tablero que se muestra en las figura 1.10 y 1.11.

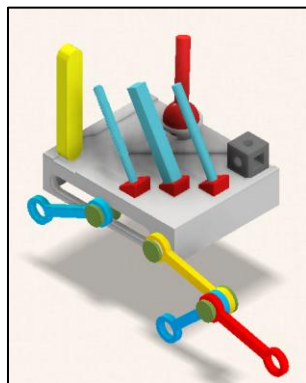


Figura 1.10. Modelo CAD del Juntero.



Figura 1.11. Juntero impreso.

1.1 Impresión 3D

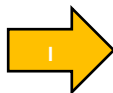
Para replicar este modelo, solo necesitas tu impresora 3D y un rollo de filamento PLA. El modelo presentado en la figura 1.11, está impreso en su totalidad con PLA, ya que es un material ligero y económico. En la Tabla 1.1 podrás encontrar los parámetros de impresión utilizados para todas las piezas de este Juntero.

Tabla 1.1 *Parámetros de impresión Juntero.*

Parámetro	Valor sugerido
Material	PLA
Temperatura extrusor	230 °C
Temperatura cama	50 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	10%
Patrón de relleno	Iluminado
Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 4 líneas mínimo



Recuerda que estos parámetros son los que nosotros sugerimos en base a nuestra experiencia. Sin embargo, los parámetros pueden variar de acuerdo con el tipo de filamento que utilices. Lo más recomendable es que siempre consultes la ficha técnica del material que el fabricante proporcione. También, es importante que primero conozcas las capacidades y limitaciones de tu impresora, así como las características del material de trabajo. Para ello, consulta en el Anexo B, los videos sobre caracterización de los materiales de impresión.



- Tablero

La primera pieza que se imprimió fue el tablero o base del Juntero. En la figura 1.12 se muestra la orientación y posición que se recomiendan utilizar en el proyecto de trabajo del software de impresión (Cura, Prusa Slicer, FlashForge, etc.).

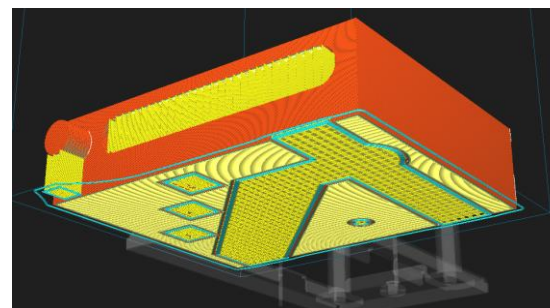


Figura 1.12. Posición recomendada para la impresión (parte superior del Juntero en contacto con la cama de impresión)



Figura 1.13. Tablero impreso en PLA.



La base o tablero para las juntas, como se puede ver en el anexo A, tiene unas dimensiones relativamente grandes, pues abarcan casi en su totalidad el área de trabajo de la máquina. Por esto mismo, se aconseja utilizar una boquilla de 0.8 mm para su impresión. De esta manera, se reducirá considerablemente el tiempo de trabajo de la máquina, ya que con esta boquilla se deposita una mayor cantidad de material en menor tiempo.

Otra sugerencia para la impresión de esta base es dejarla imprimiendo durante la noche o durante el día. Hoy en día, existen

impresoras que tienen una cámara integrada a la cual puedes conectarte por la red Wi-Fi para que monitorees la impresión de tus piezas y verificar que todo funcione correctamente, mientras realizas otras actividades. Antes de dejar a la impresora bajo este tipo de vigilancia, debes asegurarte de que las primeras capas se adhieran perfectamente a la cama de impresión.

- Junta esférica

La siguiente pieza por imprimir, por su nivel de dificultad, es la junta esférica. Proponemos que la acomodes de la forma que se muestra en la figura 1.14, dado que de esta forma será más fácil retirar los soportes y separar las dos piezas. Asimismo, como te puedes dar cuenta, en el proyecto de impresión debes colocar el ensamble de la junta esférica, no las piezas por separado.

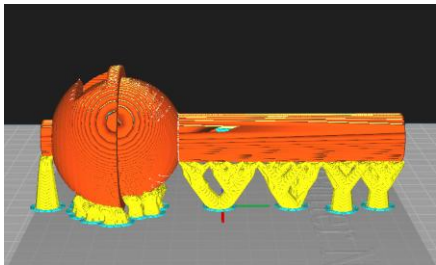


Figura 1.14. Impresión de junta esférica con soportes de árbol.



Figura 1.15. Junta esférica impresa.



En estas piezas se maneja un rango de tolerancias para asegurar que la junta esférica funcione de manera correcta, es decir, que la esfera tenga los grados de libertad propios de este tipo de juntas.

De igual manera, en el anexo A podrás consultar las medidas de las piezas para que determines la diferencia en medida que hay entre ellas (holgura).

- Junta cilíndrica, prismática y de tornillo

Es momento de imprimir la junta cilíndrica, prismática y de tornillo con todos los componentes que la conforman: rampas, cubo y barras.



Todas las piezas mencionadas anteriormente, las puedes imprimir al mismo tiempo (figura 1.16), distribuyéndolas en la cama de impresión. Sin embargo, se recomienda que se impriman una por una, ya que cuando se imprimen más de una pieza en un mismo proyecto puede presentarse el efecto *warping*.

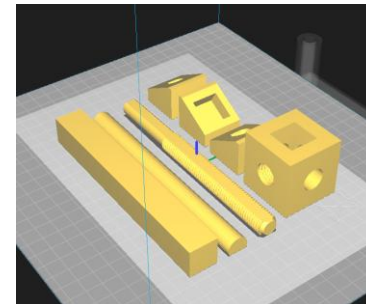
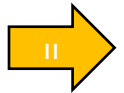


Figura 1.16. Acomodo de juntas prismática, cilíndrica y de tornillo con componentes.



Debes asegurarte de que las piezas encajen adecuadamente. Tanto las rampas en el tablero o base, como el cilindro, prisma y tornillo en ellas.

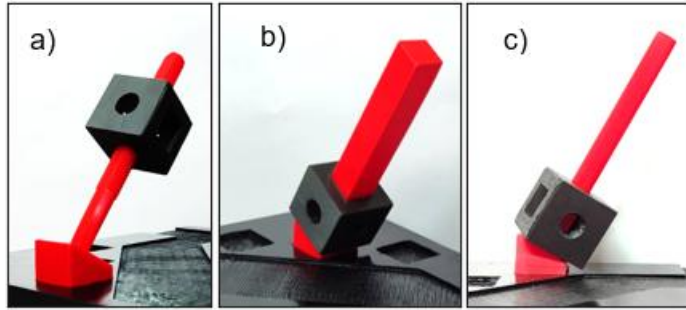


Figura 1.17. a) Junta de tornillo, b) Junta prismática, c) Junta cilíndrica, impresas.

- Semijunta, pernos y eslabones.

El resto de las piezas pueden imprimirse en un solo proyecto de impresión (figura 1.18). No obstante, como se ha mencionado antes, es preferible que se impriman una por una.

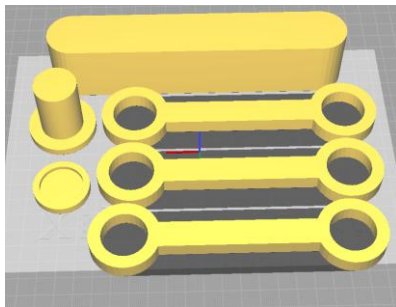


Figura 1.18. Impresión de eslabones, semijunta y perno.



Ten especial cuidado con la impresión del perno y su tapa, es importante que estas piezas encajen correctamente.

Una vez que tengas todas las piezas necesarias, asegúrate de que no haya excesos de material en ellas. Si estos existen, pueden retirarse con una lima, lija o pistola de calor. Finalmente, solo debes ensamblar las piezas tal y como lo muestra el explosivo de ensamble del modelo (anexo A).

Al terminarlo, podrás interactuar con los distintos tipos de juntas y entender sus características, así como identificar los grados de libertad que se discuten al principio de esta sección.

2. MECANISMO DE WATT

Dentro de los mecanismos existen algunos que tienen características destacables, como el Mecanismo de Watt. El cual consta de 6 barras. Dos de sus eslabones son ternarios, es decir, que tienen tres articulaciones. Las figuras 2.1 y 2.2 muestran a dicho mecanismo.

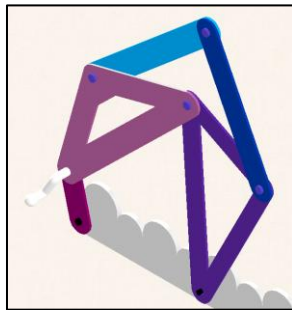


Figura 2.1 Mecanismo de Watt Tipo I.

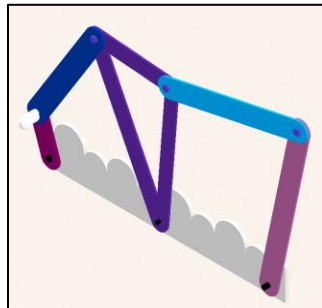


Figura 2.2 Mecanismo de Watt Tipo II.

Los dos mecanismos, anteriormente mostrados, son conocidos como mecanismo de Watt tipo I y tipo II, respectivamente. Ambos corresponden a inversiones cinemáticas.

Según Robert L. Norton (2009, 4° ed.), “una inversión es creada por la conexión a tierra de un eslabón diferente a la cadena cinemática. Por lo tanto, existen muchas inversiones de un eslabonamiento como los eslabones que tiene.” En cada inversión cinemática se producirá un movimiento distinto. Si bien los movimientos son diferentes, puede que estos sean muy similares entre sí.

En el siguiente enlace, se muestran ambos tipos de mecanismo y podrás apreciar su movimiento.



Para que puedas identificar y comprender de mejor manera las inversiones, te invitamos a reproducir este modelo. El cual está diseñado para su manufactura en I3D y CL. Las figuras 2.3 y 2.4 muestran a dicho mecanismo en la vida real.

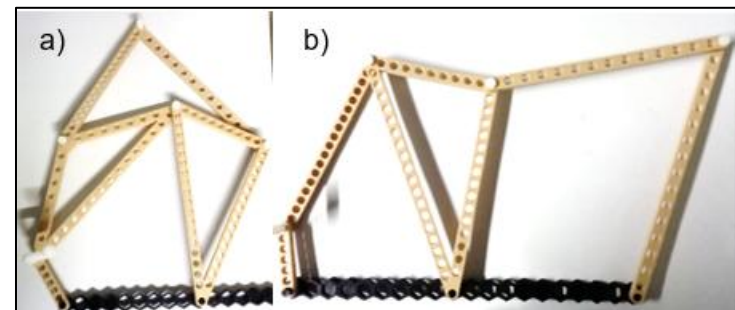


Figura 2.3 a) Watt tipo I impreso, b) Watt tipo II impreso.

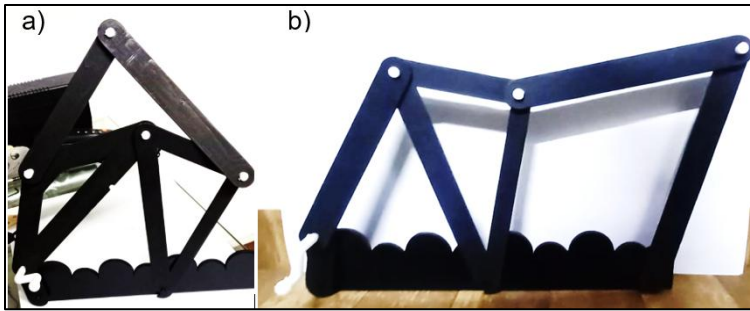


Figura 2.4 a) Watt tipo I en madera, b) Watt tipo II en madera.

2.1. Impresión 3D

Los modelos que te presentamos en la figura 2.3 están compuestos de tres materiales distintos, PLA, PLA con aditivo de madera y PET-G. Cada material tendrá sus propios parámetros de impresión, los cuales podrás encontrar en las tablas 2.1, 2.2 y 2.3.

Es necesario que identifiques todas las piezas que conforman al modelo, para ello guíate de las imágenes siguientes y de los planos mostrados en el anexo A.

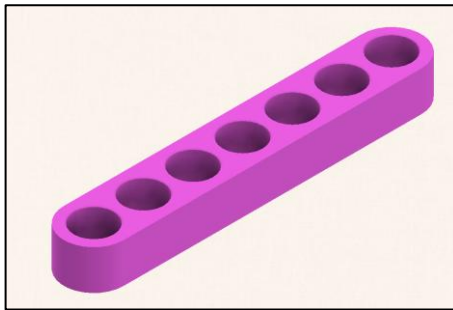


Figura 2.5 Eslabón L60.

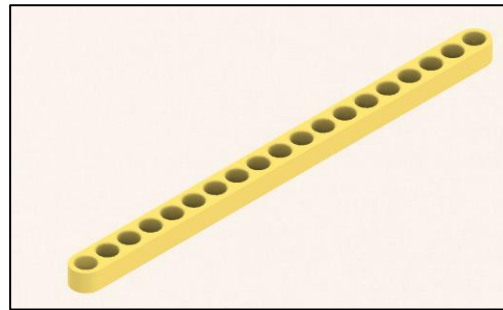


Figura 2.6 Eslabón L180.

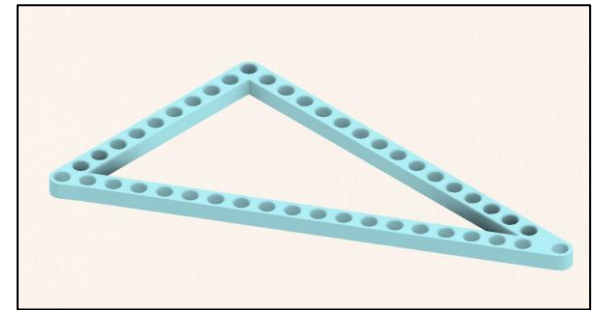


Figura 2.7 Eslabón T200.

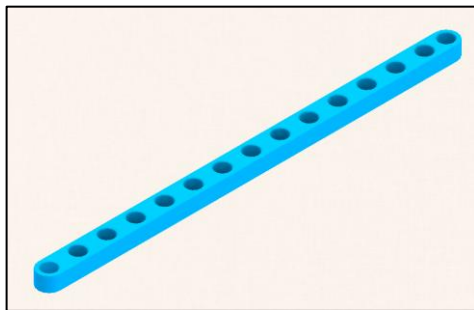


Figura 2.8 Eslabón L220.

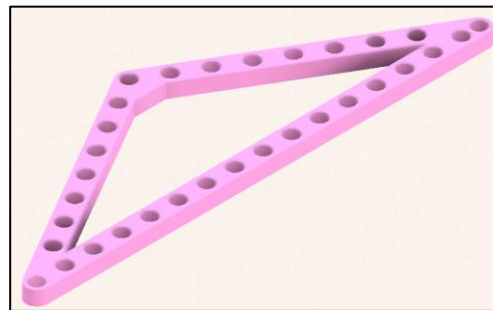


Figura 2.9 Eslabón T250.

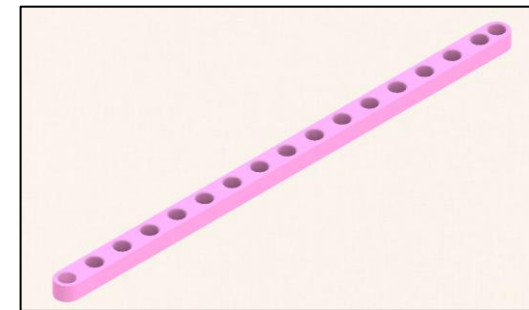


Figura 2.10 Eslabón L250.



Figura 2.11 Perno de unión.

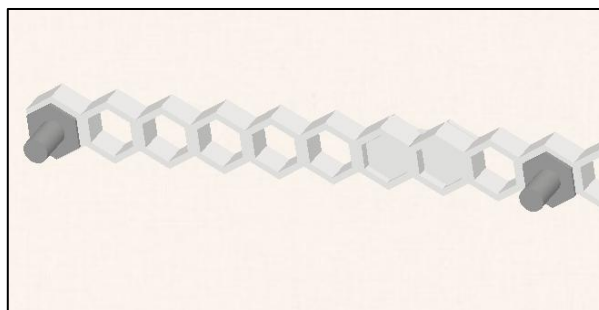


Figura 2.12 Base para mecanismo de 6 barras.

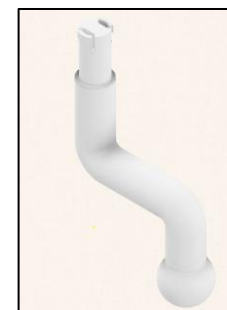


Figura 2.13 Manivela

Los eslabones de las figuras 2.5–2.10 fueron impresos con PLA de madera. En la tabla 2.1 se muestran los parámetros de impresión recomendados.

Tabla 2.1 Parámetros de impresión PLA Madera.

Parámetro	Valor sugerido
Material	PLA Wood
Temperatura extrusor	200 °C
Temperatura cama	65 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	10%
Patrón de relleno	Iluminado
Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 4 líneas mínimo



Las dimensiones de los eslabones permiten que varios se puedan imprimir en un mismo proyecto. Aunque, es recomendable que se impriman individualmente.



El filamento de madera de baja temperatura es especial y se comporta de una manera distinta al PLA, por lo cual debes de consultar su ficha técnica con el fabricante, ya que pueden variar los parámetros de impresión. Otra sugerencia, es que no despegues las piezas de la cama hasta que ésta se encuentre a temperatura ambiente. Así, evitarás deformación en ellas e incluso puedes agregar más líneas al Borde para que haya una mejor adherencia a la cama.

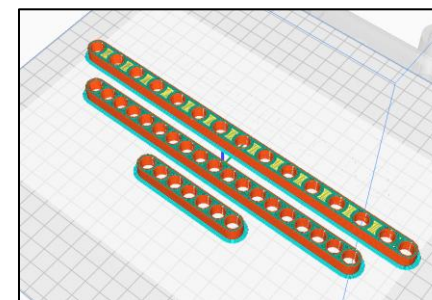


Figura 2.14 Impresión de los eslabones L60, L220 y L180.

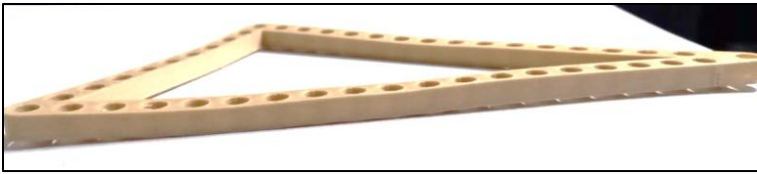


Figura 2.15 Deformación en eslabón T200, las caras no están completamente rectas.

Los pernos de unión y la manivela fueron impresos con PET-G. Ya que como podrás ver en el anexo C, el PET-G presenta buenas propiedades mecánicas.

Tabla 2.2 *Parámetros de impresión para pernos y manivela Watt.*

Parámetro	Valor sugerido
Material	PET-G
Temperatura extrusor	240 °C
Temperatura cama	75 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	50%
Patrón de relleno	Iluminado
Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 4 líneas mínimo

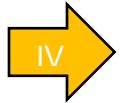


Los pernos de unión y la manivela los puedes imprimir en un solo archivo. Para la manivela, deberás activar los soportes. Una vez que la impresión esté completa, retira con cuidado los elementos de la cama de impresión. Presta

especial atención a las pestañas de los pernos, ya que podrían romperse.



El PET-G es un material que durante la impresión puede generar bastantes hilos. Por ello es importante que antes de imprimir tus piezas, realices pruebas para encontrar los parámetros de impresión adecuados. En este material, según las referencias consultadas, es importante que se configuren adecuadamente los parámetros de velocidad de impresión y todo lo referido a retracciones.



La base y sus componentes fueron impresos con PLA. Estos componentes están pensados para que puedas usarlos en más de un modelo.

La base está inspirada en el modelo llamado Honey Storage Wall de Rosta P, el cual podrás encontrar en la página de acceso gratuita de Prusa. El cual consiste en una pared en forma de panal que sirve para acomodar herramientas.

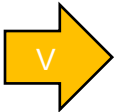


Tabla 2.3 *Parámetros de impresión para base Watt.*

Parámetro	Valor sugerido
Material	PLA
Temperatura extrusor	220 °C
Temperatura cama	35 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	10%
Patrón de relleno	Iluminado
Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 4 líneas mínimo



La base se compone de varias partes, las cuales se pueden ver en las figuras 2.16, 2.17, 2.18 y 2.19. Te recomendamos, que primero imprimas las tiras de paneles, las cuales puedes hacer de diferentes medidas. En seguida, las uniones hexagonales y finalmente los pernos-base, cuyo diámetro puedes modificar dependiendo de lo que se necesite.



Figura 2.16 Base.

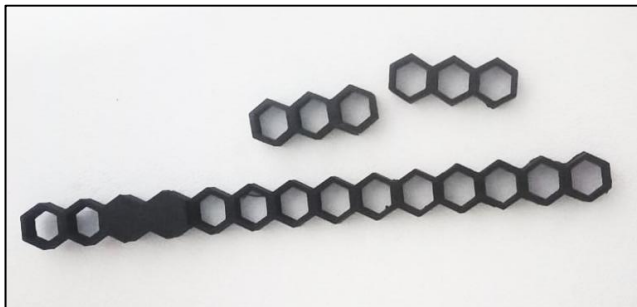


Figura 2.17 Tira de paneles.



Figura 2.18 Uniones hexagonales.



Figura 2.19 Perno base-mecanismo.

Con todas las piezas ya impresas, puedes comenzar el ensamble y ver cómo se logran las inversiones cinemáticas.

En la figura 2.20 se muestra el mecanismo de Watt tipo I, como se puede observar en este caso, los dos eslabones ternarios están conectados entre sí. En cambio, en la figura 2.21 el eslabón ternario ahora se convierte en tierra, ya que hay tres conexiones a ésta. Al hacer esta inversión, el movimiento del mecanismo cambia por completo.

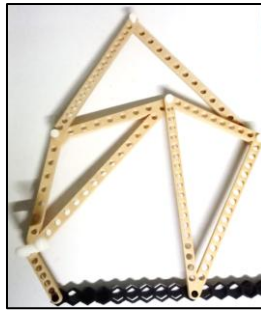


Figura 2.20 Mecanismo de Watt Tipo I impreso.

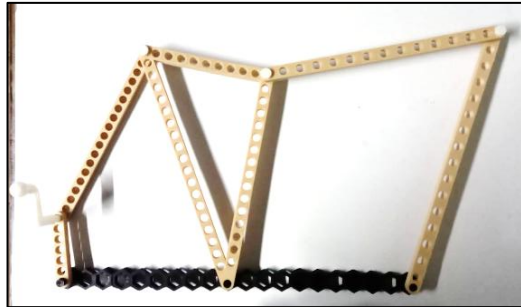


Figura 2.21 Mecanismo de Watt Tipo II impreso.

2.2. Corte láser

Para construir los modelos en madera por CL es necesario el uso de un software especial. Para este proyecto, utilizamos dos software: LightBurn y Laser GRBL. En el anexo D podrás encontrar una guía de cómo usar una cortadora láser básica y el software de corte.

Una vez que te familiarices con el corte láser, ya puedes poner manos a la obra y crear estas y otras muchas piezas. Como primer proyecto, te proponemos hacer el Mecanismo de Watt en madera.

Al consultar el anexo A, observarás que los eslabones mantienen las mismas longitudes que en la sección 2.1, pero su ancho cambia.

El proceso de ensamble es el mismo y la única pieza nueva sería la base del mecanismo, la cual se conforma de madera y unos pasadores de PLA. (V. figuras 2.22, 2.23 y 2.24)

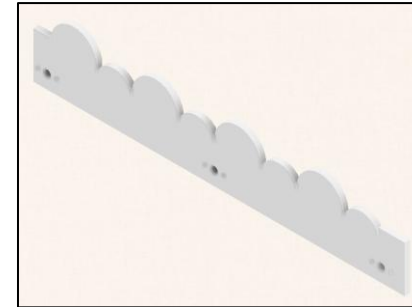


Figura 2.22 Base madera Mecanismo de Watt.

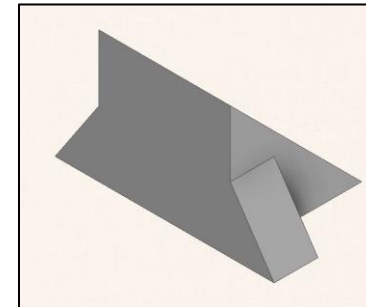


Figura 2.23 Soporte para base.

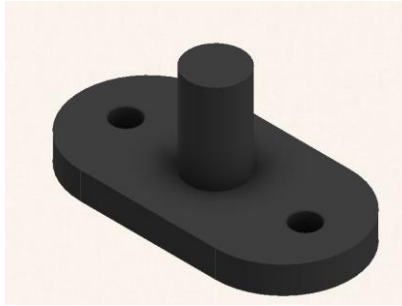


Figura 2.24 Pasador – perno.

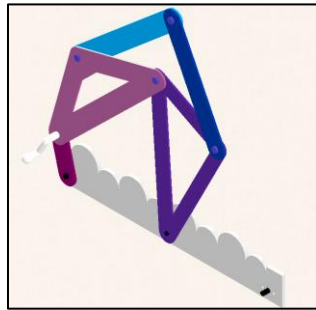
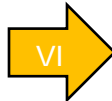


Figura 2.25 Mecanismo de Watt Tipo II modelo para madera.



Al igual que en I3D, en el corte láser es necesario caracterizar tanto a la máquina láser como al material de trabajo. Para ello, puedes realizar algunas pruebas en los materiales. El video que se muestra en el anexo B explica cómo hacer esta caracterización. La cual se hace mediante un programa definido por LightBurn. A pesar de que este es un software que requiere el pago de una licencia, obsequian una prueba gratuita de 30 días que puede ayudarte a caracterizar varios materiales para tener un muestrario del cual puedas partir para futuros trabajos.



A continuación, en las tablas 2.4 y 2.5 se muestran los parámetros de corte láser que se utilizaron para este modelo, así como los de impresión para el pasador-perno.

Tabla 2.4 Parámetros de corte láser para las piezas.

Parámetro	Valor sugerido
Material	MDF 3mm
Potencia del láser	80%
No. De pasadas	Tres
Velocidad de corte	300 mm/min (primera pasada) 400 mm/min (segunda y tercera pasada)
Tipo de corte	No



Tabla 2.5 Impresión manivela y pasador–perno.

Parámetro	Valor sugerido
Material	PLA
Temperatura extrusor	220 °C
Temperatura cama	35 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	10%
Patrón de relleno	Iluminado
Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 4 líneas mínimo



Dentro de las ventajas que ofrece el corte láser, en comparación con la impresión 3D, está la posibilidad de cortar varias piezas en un solo proyecto sin el riesgo de que exista el efecto *warping* u

otras deformaciones en las piezas. Aunque, en el corte láser también existe la limitación del área de trabajo, si ésta es lo suficientemente grande, puedes acomodar las piezas de manera que en un solo proyecto puedas cortar todas. Sin embargo, si el área está muy limitada, deberás adaptar las piezas de tal manera que puedas cortarlas sin ningún problema.

El corte láser pertenece a la clasificación de Manufactura Sustractiva, la cual es cualquier proceso en el que se producen piezas al eliminar o sustraer material de un material sólido (bloques, barras, cilindros, etc.). En este caso, el bloque sólido se vuelve el panel de madera MDF y mediante el corte láser es que se hace la sustracción de material. Es necesario, entonces, que siempre se busque ahorrar material y se use de una manera eficiente. Por ello, no temas en cambiar la orientación de las piezas cuantas veces sea necesario en el programa o los planos hasta que reduzcas el tiempo de trabajo de la máquina y el material utilizado.

En las figuras 2.26, 2.27 y 2.28 podrás encontrar algunos de los planos en los que se dividieron algunas de las piezas para su corte. Es importante que siempre se tenga cuidado con el área de trabajo y que ninguna pieza exceda los límites.

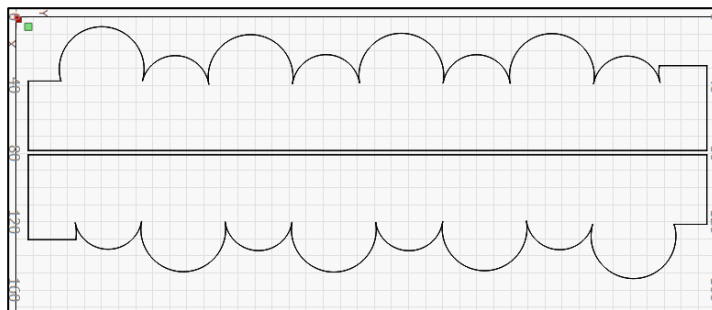


Figura 2.26 Plano 1: corte de base.

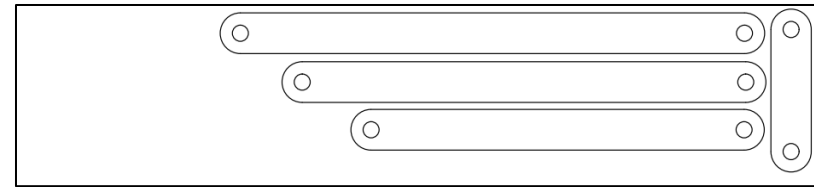


Figura 2.27 Plano 2: corte de eslabones parte 1.

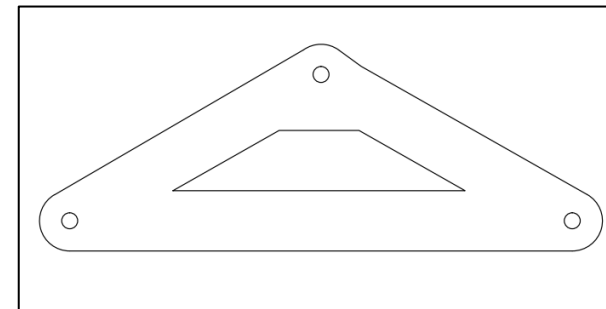


Figura 2.28 Plano 3: corte de eslabones parte 2..

Por otro lado, una de las desventajas que ofrece este proceso es que para hacer figuras más complejas debes recurrir al uso de otros materiales, como pegamento, silicón o Kola Loka, como es el caso del soporte de base, cuyo plano para corte se muestra en la figura 2.29. Asimismo, para dar resistencia y rigidez a algunas piezas, es necesario que agregues más capas de material.

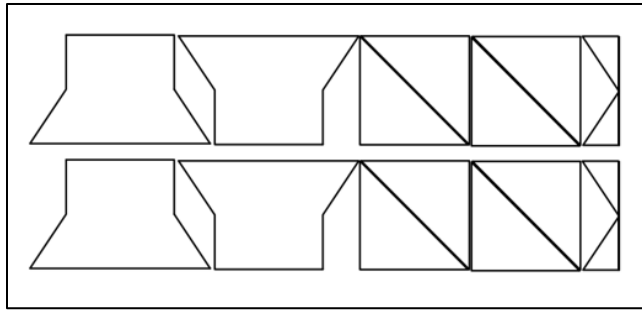


Figura 2.29 Plano de corte para soporte de base.



Finalmente, una vez que ya tengas todas las piezas de madera, te proponemos pintarlas con pintura acrílica. Antes de pintar debes realizar un lijado sobre el MDF.

Después de ello, con pegamento blanco (Resistol 850), hay que pegar las piezas hasta formar el soporte de base (v. figura 2.30).



Figura 2.30 Soporte de base en madera.

Para la base del mecanismo, te recomendamos cortar dos veces la pieza y después unirla con pegamento para que tenga mayor resistencia.

3. CASOS VECTORIALES

El Análisis Cinemático de Mecanismos (ACM) consiste en establecer y solucionar las ecuaciones de posición, velocidad y aceleración de los elementos y conectores del mecanismo. En el ACM no se analizan las fuerzas que interfieren en ellos.

En este ACM se busca conocer las aceleraciones lineales y angulares. Para calcular dichas aceleraciones, primero se deben hallar las posiciones lineales y angulares, y después las velocidades lineales y angulares.

Este proceso de cálculo se realiza para pequeños incrementos de valor de las variables de entrada, es decir, los grados de libertad. Dichas variables pueden ser ángulos o distancias. Para hacer el análisis cinemático, se requiere del uso de un programa de computadora, ya que se necesitan resolver una gran cantidad de ecuaciones un número considerable de veces.

En la figura 3.1, se puede ver el diagrama general de los pasos a seguir para realizar un ACM.



Figura 3.1 Análisis Cinemático de Mecanismos.

Para hacer el ACM, una vez hecho el análisis de posición, se deben establecer las ecuaciones de movimiento para determinar las velocidades y aceleraciones lineales y angulares. Para ello, se pueden definir tres casos vectoriales en donde se tendrán una o dos variables distintas. A continuación, presentaremos los tres casos vectoriales con ayuda de un modelo impreso llamado Flecha.

El modelo consta de 12 piezas, las cuales se ilustran en las siguientes figuras:

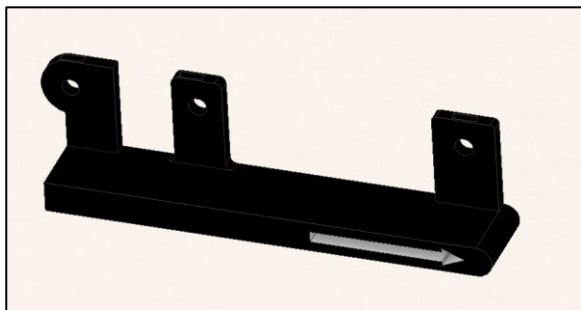


Figura 3.2 Base del modelo Casos Vectoriales.

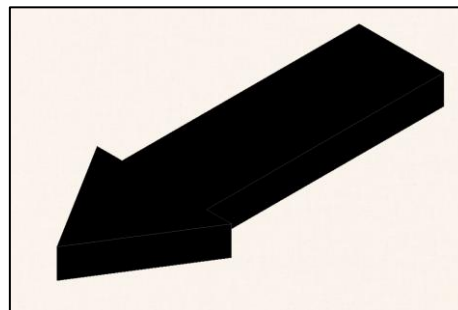


Figura 3.3 Eje flecha.

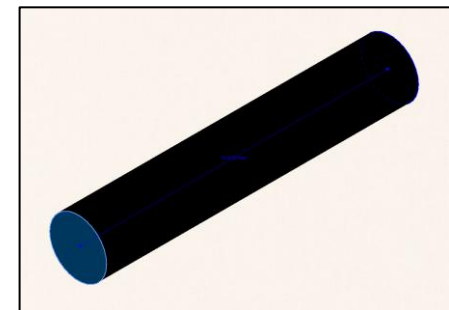


Figura 3.4 Eje largo para base.

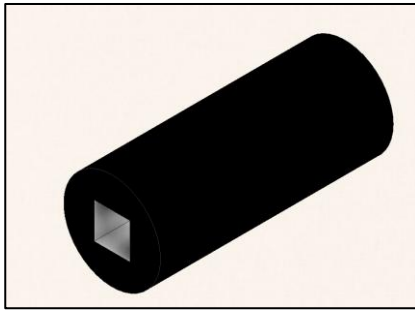


Figura 3.5 Eje corto para base (dos piezas).

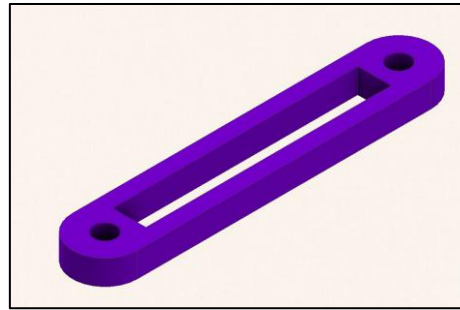


Figura 3.6 Eslabón L120.

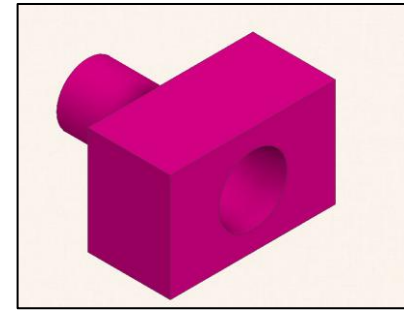


Figura 3.7 Eslabón-Corredera.

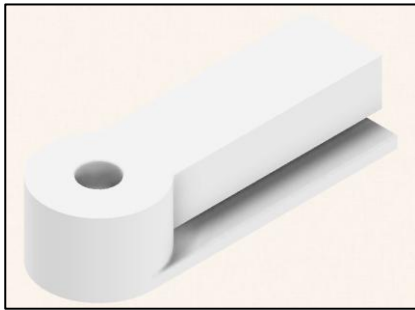


Figura 3.8 Riel para flecha.

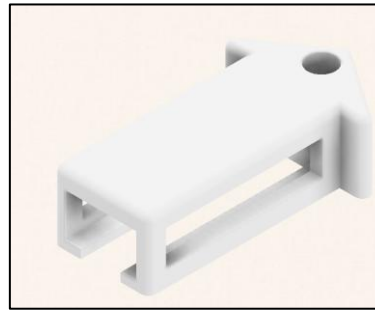


Figura 3.9 Flecha.



Figura 3.10 Manivela flecha y eslabón.

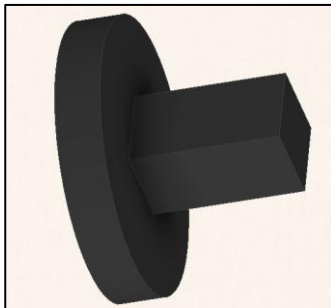


Figura 3.11 Tapa para perno.

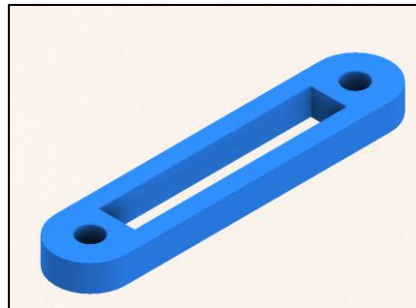


Figura 3.12 Eslabón L100.

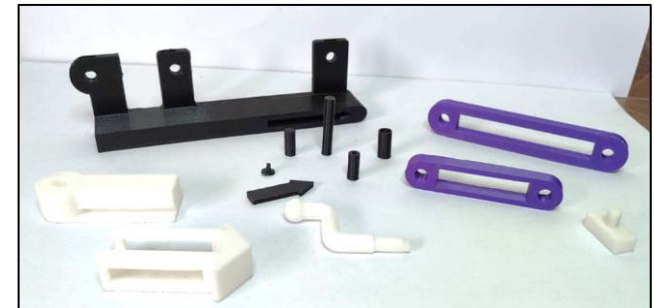


Figura 3.13 Piezas impresas del modelo Flecha.

Caso 1. Magnitud variable y Orientación fija.

En este caso, tenemos un eslabón que se desplaza una distancia d pero mantiene su orientación fija todo el tiempo. Por lo tanto, solo habrá una variable, o un grado de libertad, el cual se puede definir como d o x . En la figura 3.14, se muestran algunos ejemplos.

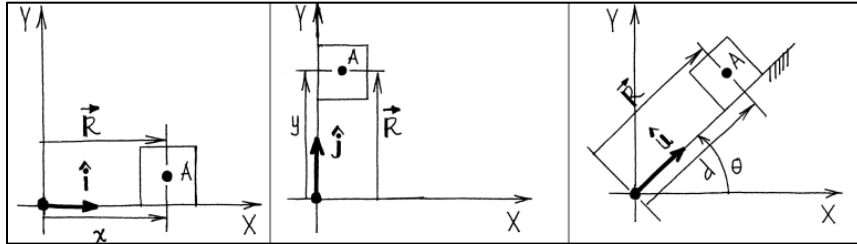


Figura 3.14 Caso 1. Magnitud variable y orientación fija.

Para que entiendas mejor este caso, observa el ensamble que se realizó con las piezas de este modelo (V. figura 3.15). En este caso, al manipular con la manivela el eslabón, y desplazarlo sobre el eje horizontal, verás cómo la longitud de la flecha cambia (ver figura 3.16). Lo cual representa la Magnitud Variable del vector que define a este eslabón.

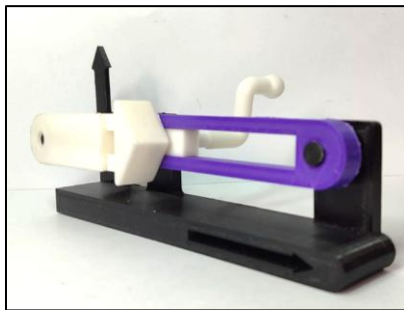


Figura 3.15 Ensamble de la flecha para el caso 1.

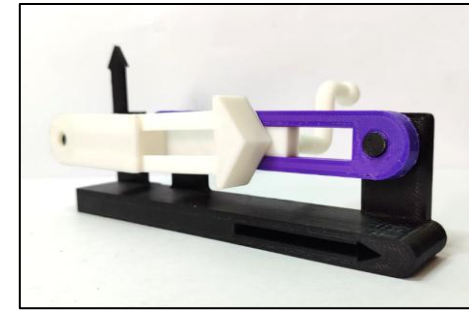


Figura 3.16 Cambio en longitud de flecha (caso 1).

Caso 2. Vector de Magnitud Fija y Orientación Variable.

Para el caso 2 el ensamble es el que se muestra en la figura 3.17. De igual manera, al manipular el eslabón con la manivela y hacer que rote sobre el eje de la base, se observa que la longitud de la flecha se mantiene fija, pero ahora la variación se da en la orientación con respecto al eje horizontal (V. figura 3.18).

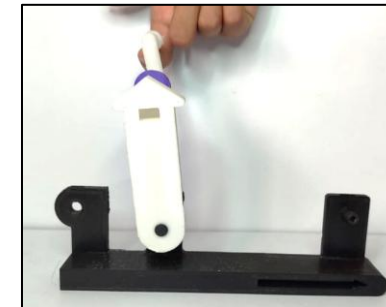


Figura 3.17 Ensamble de la flecha para el caso 2.

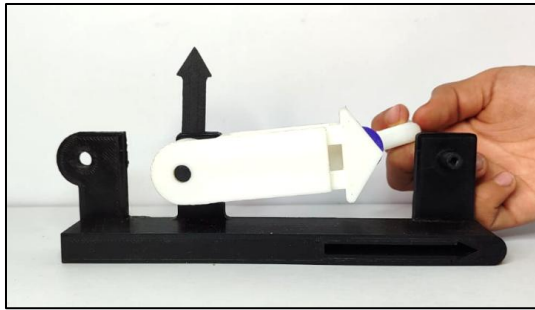


Figura 3.18 Cambio de la orientación de la flecha y eslabón (caso 2).

Caso 3. Vector de Magnitud y Orientación Variable.

El ensamble del caso 3 se muestra en la figura 3.19. Aquí tanto la orientación como la magnitud del vector se ven afectadas por el tipo de movimiento que tiene el eslabón. Al consultar las figuras 3.19 y 3.20, verás como la flecha cambia tanto de magnitud como de orientación, conforme la corredera se desplaza y el eslabón morado rota.

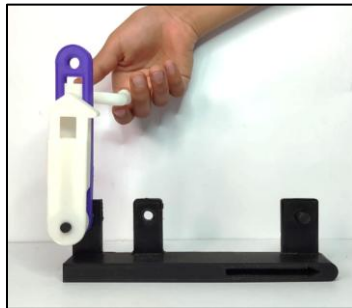


Figura 3.19 Ensamble de la flecha para el caso 3.

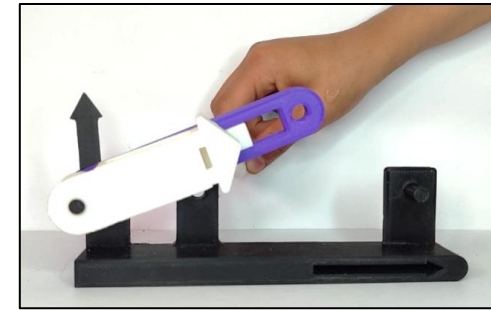


Figura 3.20 Cambio de magnitud y orientación de flecha.

3.1 Impresión 3D

Es momento que reproduzcas el modelo para que puedas comprender de mejor manera los casos vectoriales aquí presentados.

Para imprimir todas estas piezas se utilizó PLA de diferentes colores, la tabla 3.1 muestra los parámetros de impresión sugeridos.

Tabla 3.1 Parámetros de impresión Flecha-Casos Vectoriales.

Parámetro	Valor sugerido
Material	PLA
Temperatura extrusor	220 °C
Temperatura cama	35 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	Base y cilindros: 20% Resto de las piezas: 10%
Patrón de relleno	Base: Triangular Resto de las piezas: Iluminado
Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 4 líneas mínimo



Lo primero es imprimir la base, te recomendamos que la acomodes en la posición que se muestra en la figura 3.21. Recuerda que la base tiene un porcentaje y patrón de relleno distintos, pues se busca que esta pieza tenga una mayor rigidez y su estructura sea más estable.

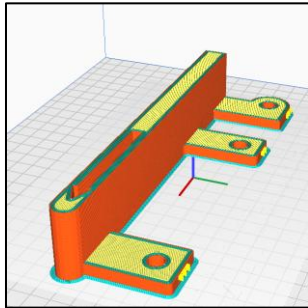


Figura 3.21 Base del modelo casos vectoriales.



El imprimir la base lleva bastante tiempo, por lo que te recomendamos que utilices de preferencia una boquilla de 0.6 o 0.8 mm para que acortes el tiempo de impresión. En nuestro caso, utilizamos una boquilla de 0.6 mm para la impresión de todas las piezas, y como puedes ver en las figuras 3.22, 3.23, y 3.24, el acabado de las piezas no presenta problemas.

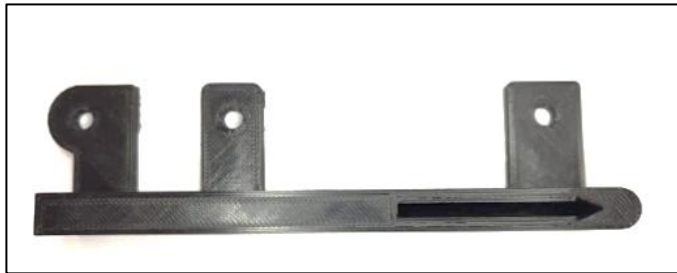


Figura 3.22 Base impresa en PLA.



Figura 3.23 Eslabones impresos modelo Flecha.

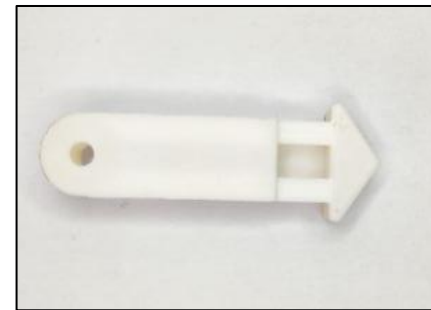


Figura 3.24 Base impresa en PLA 3.

Después te recomendamos imprimir el eslabón L120 y la corredera juntos. Como puedes ver en el anexo A, en los planos de este modelo, existe una holgura entre ambas piezas, la cual se consideró para asegurar el movimiento de corredera. En la cama de impresión, las piezas se acomodaron de la forma que se muestra en la figura 3.25. Y, en la corredera, no olvides activar los soportes (ver Figura 3.26).

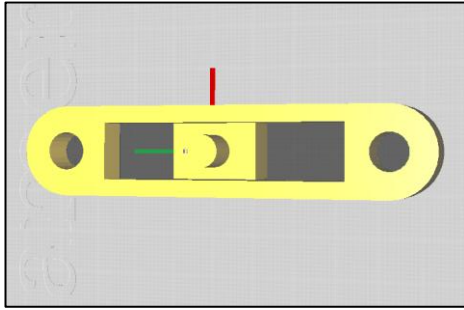


Figura 3.25 Impresión del eslabón y corredera.

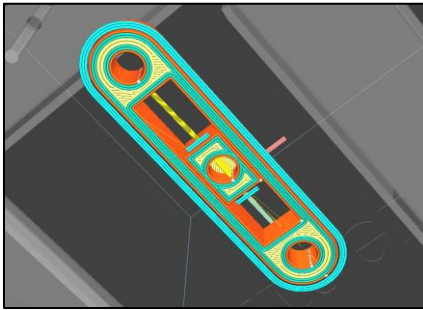


Figura 3.26 Soportes en corredera.

Después, puedes imprimir los ejes (20% de relleno), eje-flecha y la tapa para perno. El eje corto, se imprimirá dos veces.

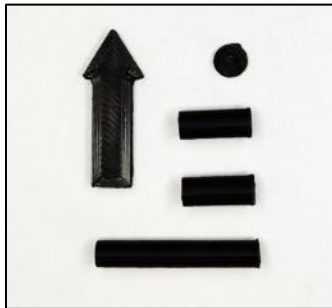


Figura 3.27 Ejes para base, tapa para ejes y flecha – eje.



Para los ejes deberás tener cuidado en que encajen con un buen apriete en la base de la flecha. Para poder ver las tolerancias aquí y en el resto de las piezas, puedes visitar los enlaces que se indican en el Anexo B, en donde encontrarás modelos que puedes reproducir para determinar las tolerancias ideales para tu impresora y material de trabajo.



Lo último por imprimir es la manivela de la figura 3.28. Para la cual deberás activar los soportes. Si ya imprimiste la manivela que se muestra en la sección 2 (figura 2.13), ya no es necesario que esta se imprima nuevamente.

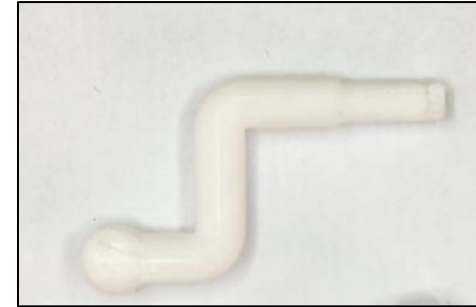


Figura 3.28 Manivela impresa en PLA.

Finalmente, ya solo queda hacer el ensamble para que puedas identificar todos los casos vectoriales. ¿Qué otros elementos puedes agregar a este modelo? ¿Tienes alguna configuración en especial que te gustaría explorar?

4. EFECTO CORIOLIS

La fuerza o efecto Coriolis fue descrito por el ingeniero y matemático Gustave–Gaspard Coriolis en 1835.

Dicho efecto se presenta cuando un cuerpo se encuentra en movimiento con respecto a otro sistema rotatorio. En el libro de Torres (2015) se menciona que el resultado de este efecto es una aceleración perpendicular al eje de rotación del sistema y tangente a la velocidad del cuerpo, a la cual se le suele llamar aceleración de Coriolis.

La componente de aceleración de Coriolis está presente en distintos fenómenos y eventos de la naturaleza, en especial cuando se relaciona con la fuerza de Coriolis. Un ejemplo está en el traslado de un avión de un punto A hacia un punto B, en línea vertical sobre la tierra. Los pilotos al planear el vuelo deben considerar el efecto Coriolis, dado que si se omitiera podría pasar que en lugar de llegar al punto B, se llegue a un punto C sobre la tierra. En este caso, el sistema que se encuentra en rotación es la Tierra y el que se traslada con respecto a éste es el avión.

“El efecto Coriolis adquiere mayor relevancia cuando el sistema de referencia de rotación se encuentra a altas velocidades” (Milo, 2023). Asimismo, se intensifica cuando las distancias del objeto que se desplaza con respecto al sistema rotatorio son mayores.

El efecto Coriolis tiene una gran importancia en la astrofísica, dinámica, ciencias de la tierra, meteorología, oceanografía, geología, física y otras tantas ciencias en las que el movimiento de la Tierra debe considerarse para determinar de forma correcta las ecuaciones de movimiento de los objetos que se mueven en ella.

La componente de la aceleración de Coriolis, la puedes identificar en el caso vectorial 3. Al consultar la Ecuación 1 de aceleración angular, tomando un caso 3, puedes comprobar este punto.

$$\vec{A} = a \hat{u} + 2\vec{\omega} \times (v \hat{u}) + \vec{\alpha} \times \vec{R} - \omega^2 \vec{R}$$

Ecuación 1.

De acuerdo con lo mencionado en los apuntes de Mecanismos (Silva, 2020) “la aceleración de Coriolis $2\vec{\omega} \times (v \hat{u})$, aparece cuando existe un movimiento de rotación y traslación en el cuerpo. Si no existe alguno de ellos, la aceleración de Coriolis es cero.”

Para que puedas comprender de mejor manera este tema del efecto Coriolis, te presentamos un modelo elaborado en PLA y madera, el cual busca demostrar que este efecto está presente en la vida diaria. El modelo es llamado el Plato de Coriolis.

4.1 Impresión 3D

El modelo impreso es el que se puede ver en las figuras 4.1 y 4.2. Está desarrollado en su totalidad con PLA. El modelo consiste en un platillo con distintas formas (v. figura 4.3 y 4.4) que al montarse sobre un motor a pasos gira en una determinada dirección y al dejar caer una canica por su rampa, se puede observar cómo esta en vez de viajar en línea recta, llega a un punto distinto del esperado, demostrando así el efecto Coriolis.

Para que puedas desarrollar este modelo, es importante que identifiques sus componentes. Consulta el anexo A y observa las figuras siguientes.

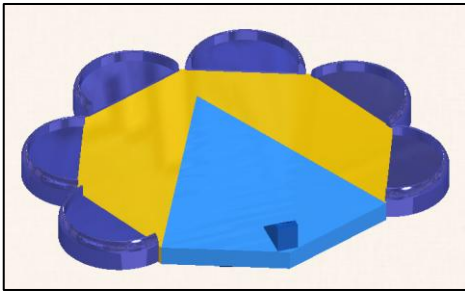


Figura 4.1. Modelo CAD del efecto Coriolis.



Figura 4.2. Modelo impreso del efecto Coriolis.

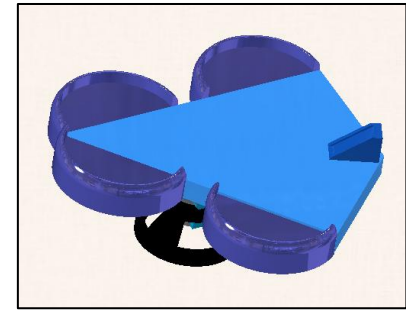


Figura 4.3. Triángulo Coriolis.

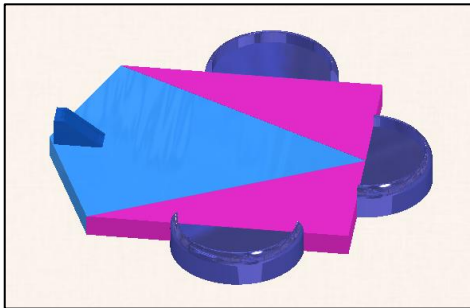


Figura 4.4. Cuadro Coriolis.

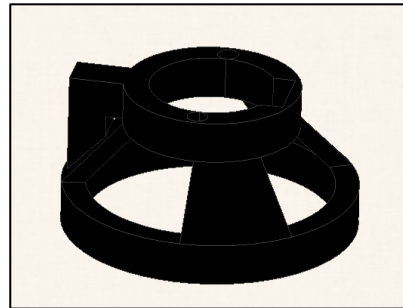


Figura 4.5. Base del motor.

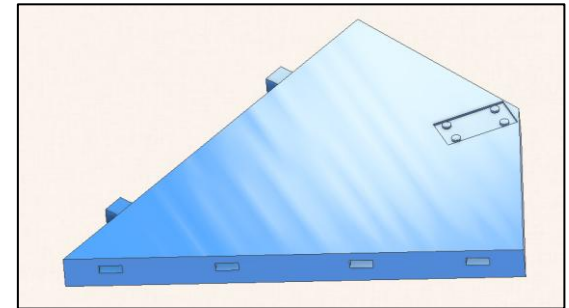


Figura 4.6. Triángulo.

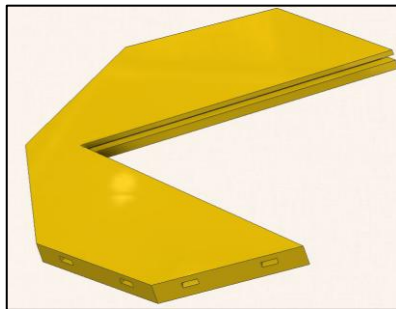


Figura 4.7. Octágono.

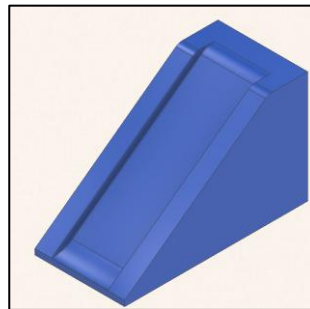


Figura 4.8. Rampa.

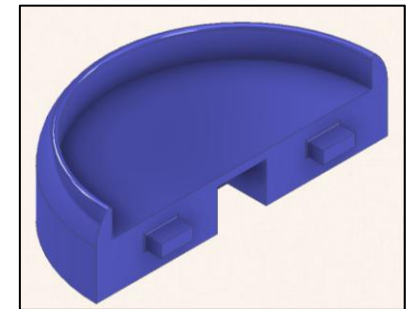


Figura 4.9. Oreja.

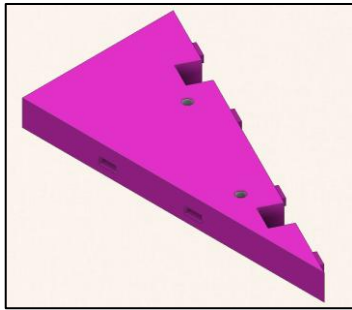


Figura 4.10. Triángulo lateral 1.

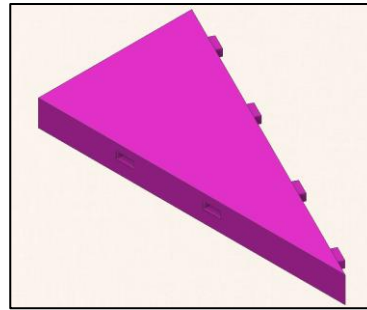


Figura 4.11. Triángulo lateral 2.

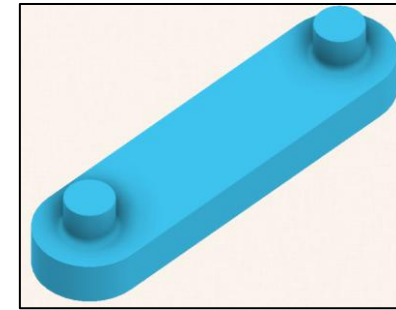


Figura 4.12. Pasador.

Lo primero por imprimir es la base del motor y sus piezas. El plano para esas piezas las podrás encontrar el anexo A. El diseño de la base del motor (V. figura 4.5) se hizo pensando en el ahorro del material y el evitar usar soportes. Para el resto de las piezas, te recomendamos imprimirlas en un mismo archivo, ya que al ser pequeñas la posibilidad de que se presente el efecto *warping* es muy baja. (V. figura 4.13)

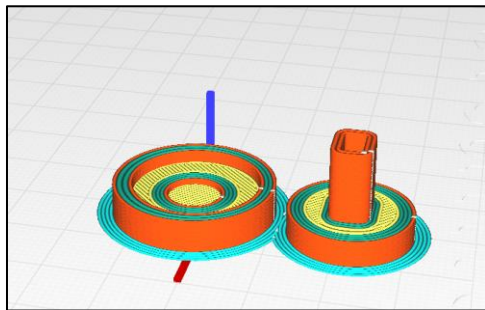


Figura 4.13. Piezas restantes para el motor.

Los parámetros de impresión son lo que se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Parámetros de impresión para modelo Efecto Coriolis.

Parámetro	Valor sugerido
Material	PLA
Temperatura extrusor	220 °C
Temperatura cama	35 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	Base y cilindros: 10%
Patrón de relleno	iluminado
Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 4 líneas mínimo



Después, imprime el triángulo que se muestra en la figura 4.6. Esta pieza conlleva bastante tiempo de impresión, por lo que considera el usar boquillas más grandes de 0.6 o 0.8 mm, por ejemplo.

Posteriormente, puedes imprimir los triángulos laterales de las figuras 4.10 y 4.11 o bien el octágono de la figura 4.7. Para este modelo en específico, puedes elegir entre imprimir todas las piezas o solo las que formen el modelo que más te haya gustado (Triángulo o Cuadrado Coriolis).

Por último, imprime las orejas y la rampa. Los planos que te mostramos tienen las medidas con las que nosotros aseguramos que el ensamble fuera el adecuado. Sin embargo, al imprimir las orejas ten especial cuidado en que estas encajen correctamente en sus espacios correspondientes. Debido a lo anterior, es que se propone imprimir hasta el último las orejas, pues al tener el resto de las piezas ya impresas, solo tendrías que hacer modificaciones en las dimensiones de las orejas y no de todas las piezas.



Si bien lo mencionado en el párrafo anterior es lo ideal, también puedes hacer un posproceso en las orejas y el resto de las piezas para asegurarte de que el ensamble sea el correcto. El postproceso se puede hacer utilizando un Mototool o lijas con las que puedas afinar bordes y caras de las piezas.

Finalmente, ya con todas las piezas impresas puedes realizar los distintos ensambles que se muestran en los planos del anexo A (v. figuras 4.14 y 4.15).



Figura 4.14. Triángulo Coriolis impreso.



Figura 4.15. Cuadrado Coriolis impreso.

No olvides que puedes montarlo sobre un motor a pasos el cual se puede conectar a un microcontrolador como la ESP32, o bien, puedes hacer una configuración analógica que te permita controlar al motor y también los cambios en velocidad. En este proyecto, nosotros utilizamos una tarjeta ESP32 y agregamos unos rodamientos de carga axial para facilitar el movimiento rotatorio

Una vez que todo esté ensamblado ya puedes comenzar a experimentar y observar de primera mano el Efecto Coriolis. Para ello, pon a rotar el platillo y por la rampa desliza una canica o pelota pequeña, verás que ésta no sigue una trayectoria recta y acaba en un lugar distinto al esperado. ¿Puedes adivinar en qué oreja caerá?

4.2 Corte láser

Este modelo está pensando para que se pueda reproducir parcialmente en madera. La figura 4.16 muestra el modelo en la vida real. Como puedes observar, solo se cortaron las piezas que te mostramos en las figuras 4.6 y 4.7. Y sobre el plano de trabajo en LightBurn se diseñaron pequeños triángulos como los señalados en la figura 4.17, para ayudar a que las piezas se sostuvieran. Es importante, que consultes en los planos las modificaciones hechas sobre las piezas ya mencionadas, ya que de otra forma no se podrá recrear el modelo.

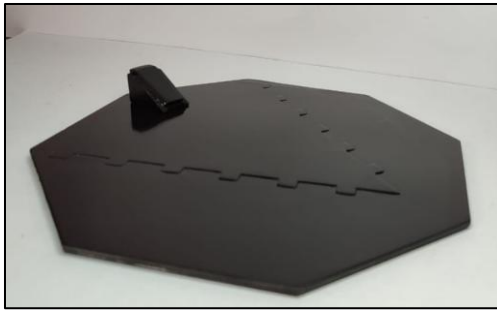


Figura 4.16. Plato de Coriolis en madera.

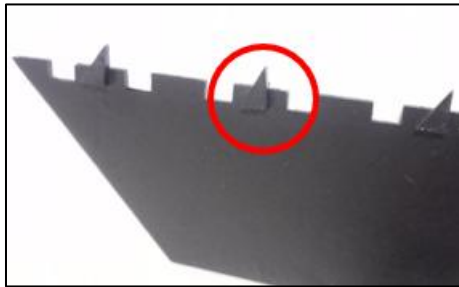


Figura 4.17. Triángulo de soporte.

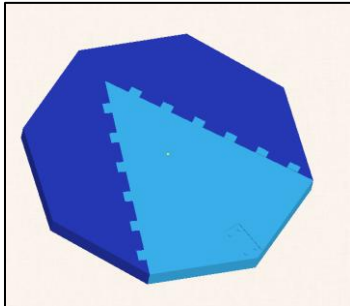


Figura 4.18. Ensamble del plato de Coriolis.

En la figura 4.19, te mostramos el plano que se utilizará para el corte. Para este caso se utilizó directamente el ensamble de ambas

piezas y se agregaron al corte los triángulos más pequeños para dar sostén en el centro del modelo. La tabla 4.2 contiene los parámetros utilizados para este modelo de acuerdo con las características de la cortadora láser utilizada.

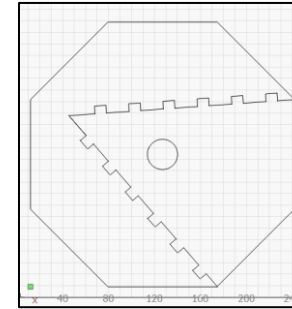


Figura 4.19. Plano de corte para el plato de Coriolis.

Tabla 4.2. Parámetros de corte Efecto Coriolis



Parámetro	Valor sugerido
Material	MDF 3mm
Potencia del láser	80%
No. De pasadas	Tres
Velocidad de corte	300 mm/min (primera pasada) 400 mm/min (segunda y tercera pasada)
Tipo de corte	Línea

En este modelo, como en el pasado de madera, se necesita usar pegamento blanco, los triángulos pequeños se pueden distribuir al interior del octágono (v. figura 4.17), de tal manera que se asegure el ensamble y el sostén de las piezas.

Por último, solo queda montar el modelo sobre el motor a pasos para que puedas comenzar a experimentar. Puedes intentar armar

con varias capas de material la rampa o bien utilizar la que imprimiste u algún otro material que te ayude (v. figura 4.20 y 4.21).

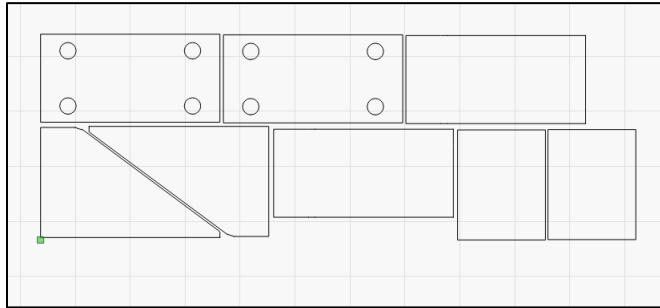


Figura 4.20. Plano de corte para rampa.



Figura 4.21. Rampa de madera.

Cuando experimentes con este Plato de Coriolis de madera, ten cuidado y vigila dónde cae la canica o pelota, ya que en este modelo se omiten las orejas.

Como se puede apreciar, el modelo en corte láser es más simple que el de I3D. Esto debido a que con el corte láser realizar figuras

más complejas como las orejas es más difícil que con la impresión 3D. Al tomar lo anterior en consideración, vemos que la I3D ofrece en este aspecto mayores ventajas. Si bien, el tiempo de impresión puede ser mayor que el de corte, se ve compensado por el tiempo que se necesita para armar figuras complejas o con grandes volúmenes. ¿Qué otras diferencias significativas encuentras entre el CL y la I3D?

5. BOMBA PETRÓLEO

Cuando se diseñan mecanismos, en ocasiones es necesario poner elementos que ayuden a transformar movimientos. Un ejemplo de esto es el sistema de biela–manivela. Según la información de (Xunta de Galicia, 2014) un sistema biela-manivela “está constituido por un elemento giratorio denominado manivela, el cual se conecta a una barra rígida llamada biela, de modo que cuando gira la manivela, la biela está forzada a avanzar y retroceder sucesivamente”. Este mecanismo transforma el movimiento circular en movimiento rectilíneo alternativo.”

El ejemplo más común para este caso es el de manivela – biela – pistón. En donde a la barra rígida (biela) se conecta al pistón, el cual se inserta en una guía. La figura 6.1 muestra un ejemplo de este sistema y al visitar el sitio de interés que se señala (TECH LAPSE, 2021) podrás observar una animación en donde se ilustra esta transformación de movimiento.

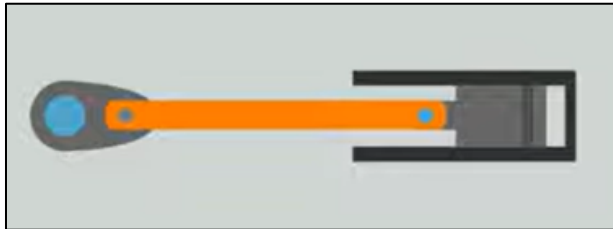


Figura 5.1. Sistema biela–manivela.

El sistema de Biela-manivela-pistón es reversible. Esto quiere decir que si la manivela tiene un movimiento rotatorio, provocará que el pistón avance y retroceda en línea recta, y viceversa, si el pistón comienza a desplazarse en línea recta, la manivela se verá obligada a girar. Este tipo de sistemas también lo puedes encontrar

en otros mecanismos, como en una locomotora de vapor (v. figura 5.2).

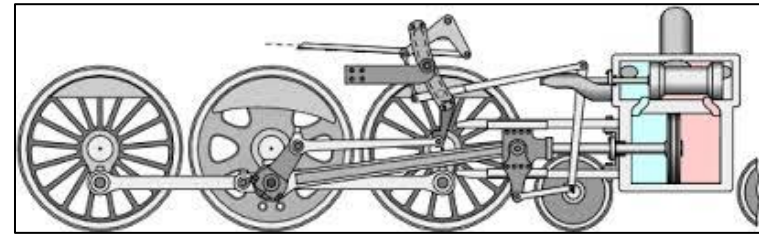


Figura 5.2. Sistema biela – manivela en locomotora de vapor.

Para que puedas comprender mejor este tema, te recomendamos reproducir el modelo que se ilustra en la figura 5.3, el cual es una bomba de petróleo. En ella podrás identificar la transformación de movimiento que se da desde el giro de las poleas hasta el levantamiento del cilindro pequeño.



Figura 5.3. Bomba de petróleo impresa.

Ahora te presentaremos cada una de las piezas que conforman este modelo para que puedas reproducirlo.

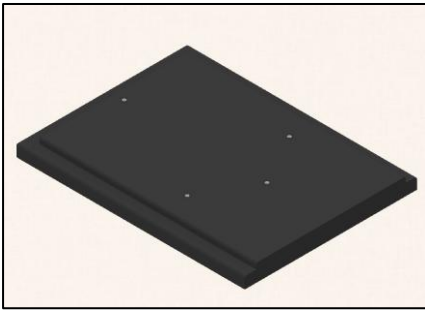


Figura 5.4. Base bomba parte 1.

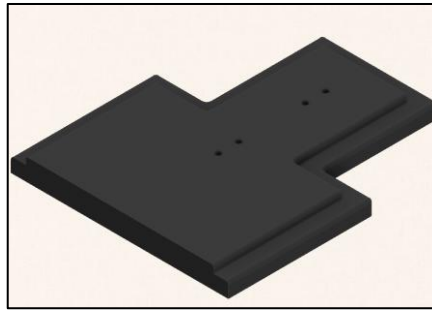


Figura 5.5. Base parte bomba 2.



Figura 5.6. Torre bomba petróleo.

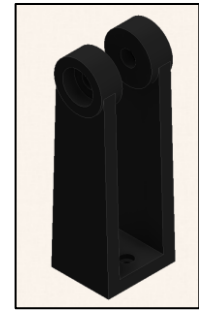


Figura 5.7. Base polea primaria.

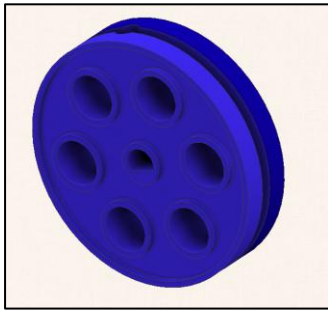


Figura 5.8. Polea primaria.

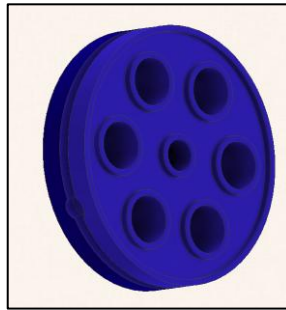


Figura 5.9. Polea secundaria.



Figura 5.10. Base polea secundaria.

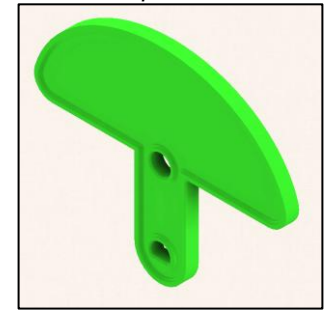


Figura 5.11. Manivela contrapeso.

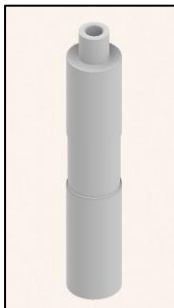


Figura 5.12. Tubería.



Figura 5.13. Balancín.

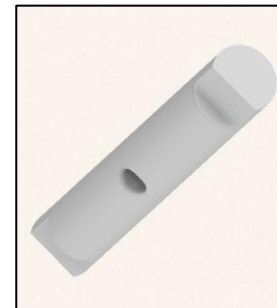


Figura 5.14. Eje primario.

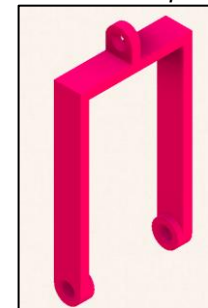


Figura 5.15. Biela.

Asimismo, se necesitan varios pernos de unión para hacer el ensamble de las piezas, los cuales se muestran en la figura 5.16. En el anexo A, podrás encontrar la medida de cada uno de ellos

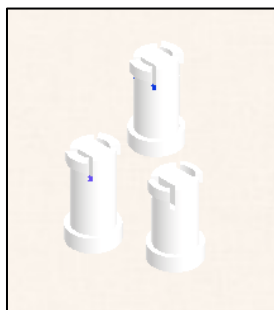


Figura 5.16. Pernos de unión.

Por último, para poder dar movimiento al mecanismo, se necesita la manivela que se muestra en la figura 5.17.

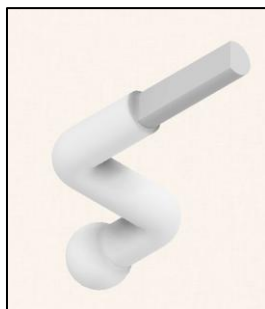


Figura 5.17. Manivela para bomba petróleo.

Una vez identificadas las piezas es momento de que comiences a reproducirlas. Este modelo se reproducirá tanto en I3D como en CL.

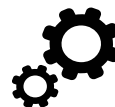
5.1. Impresión 3D

Todas las piezas fueron impresas con PLA. Sin embargo, para algunas piezas la densidad y el patrón de relleno son distintos. Por lo que es importante que prestes atención a los parámetros que se muestran en las tablas 5.1 y 5.2.

Lo primero será imprimir las bases que se muestran en las figuras 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 y 5.10. Puedes escoger el orden de estas piezas como prefieras. Lo recomendable es que imprimas una por una para que no se presente el efecto *warping*. La tabla 5.1 muestra los parámetros de impresión para estas piezas.

Tabla 5.1. Parámetros para bases y torre de bomba petróleo.

Parámetro	Valor sugerido
Material	PLA
Temperatura extrusor	220 °C
Temperatura cama	50 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	30%
Patrón de relleno	Líneas
Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 5 líneas mínimo.



Como puedes observar en la tabla 5.1, además de que la densidad y el patrón de relleno cambien, se agrega una línea más de borde. Lo anterior se debe a que las piezas son más grandes e incluso altas, por lo que es necesario construir una buena placa de adhesión para obtener una excelente

capa inicial. Así, durante el proceso de impresión no se correrá el riesgo de que haya un despegue de piezas, *warping* u otro efecto.

Asimismo, considerando que las bases de las figuras 5.4 y 5.5 son de gran tamaño, se recomienda usar una boquilla de 0.8 mm, pues como se ha mencionado anteriormente, cuando hay una mayor deposición de material, el tiempo de impresión se reduce. Para el resto de las piezas puedes utilizar la boquilla de 0.6 mm.



La figura 5.18 muestra a la base de la polea secundaria en el área de trabajo de Cura. Como puedes apreciar en la imagen, la base está acostada sobre la cama de impresión. Si bien, podrías imprimirla de manera vertical, lo recomendable es que siempre se oriente la pieza de tal forma que no sea fácil que se despegue de la cama de impresión, es decir, que lo mejor es que el área de contacto entre la pieza y la cama de impresión sea lo mayor posible. Por el contrario, en la figura 5.19 se puede apreciar a la base de la polea primaria, ésta sí debe estar orientada verticalmente, ya que no es posible acostarla porque implicaría el uso de soportes causando que use más material y que en algunas partes de las piezas queden rebabas o defectos estéticos.

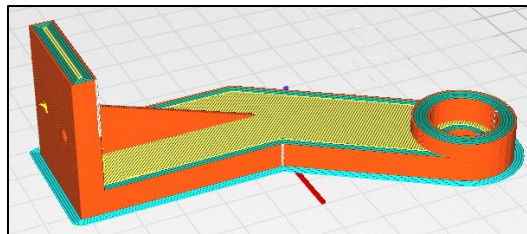


Figura 5.18. Base de polea secundaria en Cura.

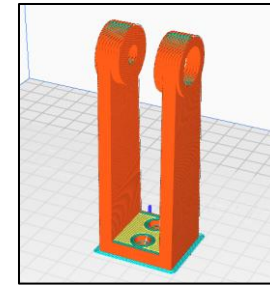


Figura 5.19. Base de polea primaria en Cura.

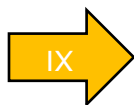
Siguiendo con la base de la polea primaria, hay algunas zonas que podríamos identificar como zonas en donde deberían ir soportes. No obstante, el espesor de estas partes es relativamente delgado, por lo cual, al imprimir esta pieza no se corre el riesgo de deformación o falta de adherencia entre capas. La figura 5.20 muestra esta base ya impresa, y como se puede apreciar tiene un buen acabado y no hubo material que no se adhiriera.



Figura 5.20. Base de polea primaria impresa.

Como lo habrás podido notar a lo largo del manual, para nosotros es trascendental siempre reducir tanto el tiempo de impresión como la cantidad de material utilizado. Es importante que para tus futuros diseños pienses constantemente en el ahorro de energía y

material, pues es indispensable siempre tener en cuenta el impacto ambiental que se podría causar. Consulta el anexo B para que obtengas más información sobre la sustentabilidad y la impresión 3D.



Para imprimir las bases de las figuras 5.4 y 5.5 es recomendable que dejes a la impresora trabajando en la noche, dado que el tiempo de impresión es significativo.

Para estas bases ten especial cuidado en que se presente el efecto *warping*, si la placa de adhesión no se construye correctamente puedes obtener piezas con deformaciones en las esquinas. Lo cual no es conveniente porque no brindaría un correcto soporte.

Para unir ambas bases, se diseñaron unos pasadores que se ajustan con tornillos (anexo A). La figura 5.21 muestra la manera en que deben ir sobre las bases. Para realizar los agujeros donde entran los tornillos, se utilizó una broca de 3 mm de diámetro y el Mototool. Poniendo los pasadores sobre ambas bases, se logró perforar y ensamblar todos los tornillos.



Figura 5.21. Pasador de unión de las bases de la bomba petróleo.

Llegó la hora de imprimir el resto de las piezas. La tabla 5.2 muestra los parámetros de impresión recomendados.

Tabla 5.2. Parámetros de impresión para piezas de la bomba petróleo.

Parámetro	Valor sugerido
Material	PLA
Temperatura extrusor	220 °C
Temperatura cama	35 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	30%
Patrón de relleno	Líneas
Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 5 líneas mínimo.



Las primeras piezas que se deben imprimir son las poleas, las cuales usarán soportes (V. figura 5.22). Se necesitan un total de dos poleas.

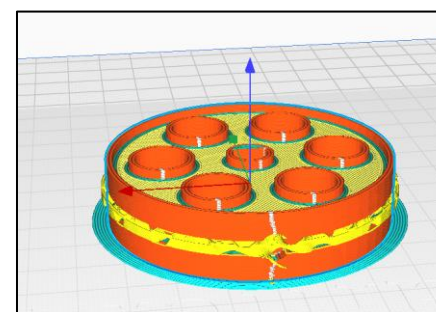


Figura 5.22. Polea primaria y secundaria con soportes tipo árbol.

De igual manera, se recomienda imprimir estas piezas una por una para que no haya problemas durante los distintos procesos de impresión.



Lo segundo que se sugiere imprimir es el Balancín. Puedes ocupar la boquilla de 0.8 mm para que reduzcas el tiempo de impresión. No olvides activar los soportes.

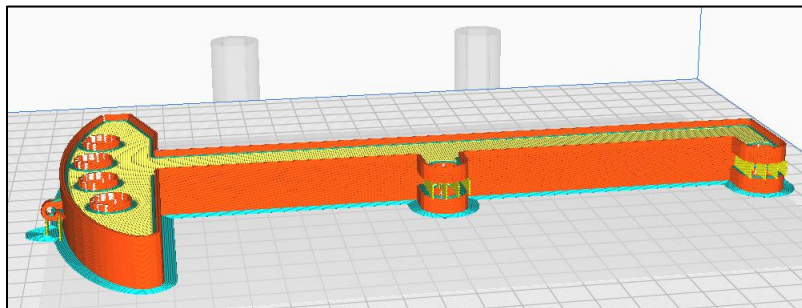


Figura 5.23. Impresión de balancín con soportes.

Después, se recomienda imprimir la biela y la llamada manivela contra peso. Para la primera, se necesitarán soportes, los cuales pueden ser Normales o de Árbol, tal y como se muestran en la figura 5.24.

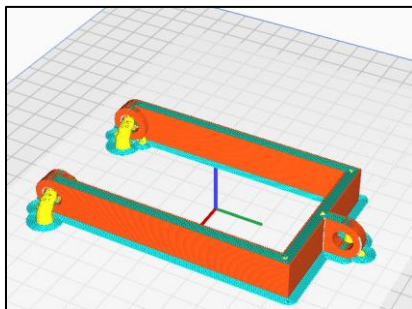


Figura 5.24. Biela doble para bomba de petróleo.

Finalmente, debes imprimir los pernos, ejes y la tubería. La tubería la puedes agregar en uno de los trabajos de impresión de estas piezas. Pero, para los ejes y los pernos trata de hacer proyectos de impresión distintos. Asimismo, estas son las piezas que se deben

imprimir al último, pues al tener el resto de los agujeros ya impresos, puedes hacer ajustes en las medidas de los diámetros y alturas antes de imprimir para asegurar el correcto ensamble de las piezas. A continuación, te presentamos una lista de los ajustes que son necesarios para el ensamble y los tomes en cuenta antes de imprimir las piezas.



- Eje primario–polea: ajuste de apriete.
- Eje primario–rodamientos (base polea primaria): ajuste de apriete.
- Eje primario–manivela: ajuste de apriete.
- Pernos de unión entre biela y manivela: ajuste de apriete.
- Perno de unión entre biela y balancín: ajuste de apriete.
- Perno de unión entre torre y balancín: ajuste indeterminado.

No es necesario que actives los soportes para los pernos, puedes colocarlos en el área de trabajo como se indica en las figura 5.25 y 5.26. Sin embargo, para los ejes y manivela sí serán necesarios activarlos, ya que lo ideal es que se coloquen en posición horizontal sobre la cama de impresión para que tengan una mayor resistencia. Al acabar de imprimir estas piezas y retirar los soportes es posible que tengas que hacer un lijado en ellas, para que no haya problemas de ensamble.

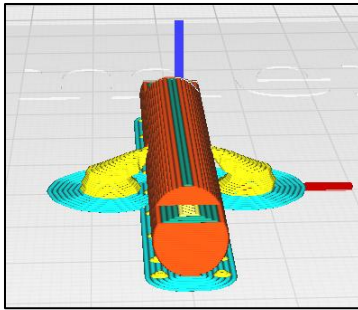


Figura 5.25. Eje primario sobre el área de trabajo con soportes de árbol.

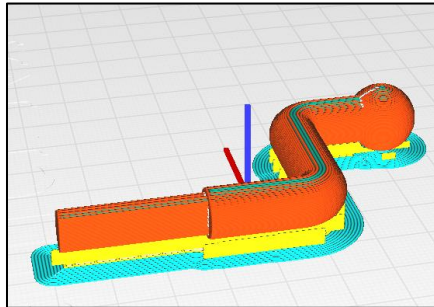


Figura 5.26. Manivela con soportes activados.

Una vez que estén todas las piezas impresas ya puedes comenzar con el ensamble. Al observar las figuras 5.20 y 5.21 te percatarás de que se usaron tornillos con cabeza hexagonal para realizar el ensamble. Estos tornillos son de una medida estándar de 3 mm y tienen distintas longitudes. Puedes adquirir una caja que tenga diferentes longitudes para usarla en tus proyectos (v. figura 5.27).



Figura 5.27. Set de tornillos M3 con diferentes longitudes.

Con respecto al ensamble debes tener cuidado cuando unas al eje primario con su respectiva polea. Como habrás podido notar en las figuras 5.8 y 5.14, ambas piezas tienen un agujero pequeño (3 mm, consultar anexo A), el cual debes hacer que se alinee en las dos piezas para que en él puedas atravesar un tornillo o eje de la misma medida. Con esto, asegurarás que cuando la polea primaria reciba el movimiento transmitido por la banda (liga), el eje primario gire con ella y se garantice el movimiento de los demás componentes. (v. figura 5.28).

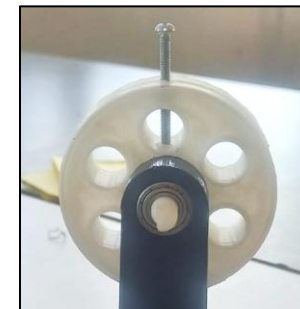


Figura 5.28. Ensamble de polea y eje primario. Se unen a través de un tornillo de 3 mm.

Como última recomendación, puedes utilizar rodamientos en las bases para poleas, para que la fricción entre la manivela, eje

primario y las poleas se reduzca. De esta manera, obtendrás una buena transmisión de movimiento. Finalmente, llegó el momento de que experimentes con tu bomba y veas las distintas transmisiones de movimiento entre los eslabones. ¿Qué otro mecanismo podrías crear a partir de estas piezas?

5.2. Corte láser

El modelo también puede realizarse mediante corte láser. A continuación, se describe el proceso.

Igual que en la I3D, es recomendable primero cortar la base principal y las de las poleas. Es importante que en el plano de corte se marquen las circunferencias que corresponden a los agujeros del tornillo para que puedas hacer el ensamble. (V. figura 5.29).

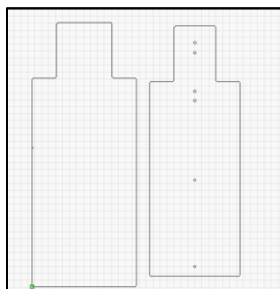


Figura 5.29. Plano de corte para la base principal del modelo (dos piezas).



Como puedes observar en la figura anterior, la base principal se compone de dos capas, las cuales debes unir con pegamento blanco. De igual forma, las bases para poleas se deben cortar doble, y así dar mayor rigidez y resistencia a estas piezas. Para estas últimas piezas debes eliminar algunas líneas sobre el plano de trabajo, pues no se deben cortar porque si no habría un error en estas piezas. (V. figura 5.30)

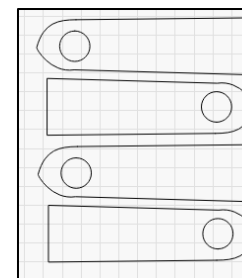


Figura 5.30. Eliminación de líneas en base de poleas y torre.

Una vez que tengas los planos, es hora de cortar las piezas, los parámetros que nosotros utilizamos son los que se muestran en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Parámetros de corte para modelo Bomba Petróleo.

Parámetro	Valor sugerido
Material	MDF 3mm
Potencia del láser	80%
No. De pasadas	Tres
Velocidad de corte	300 mm/min (primera pasada) 400 mm/min (segunda y tercera pasada)
Tipo de corte	Línea



Para la torre, los planos de corte se muestran en la figura 5.31. Nuevamente, deberás recurrir al pegamento blanco para armar esta pieza. Posteriormente, en la parte inferior de ésta tendrás que hacer los agujeros necesarios para que se pueda ensamblar a la base principal. Ayúdate de una broca de 3 mm y un Mototool o taladro.

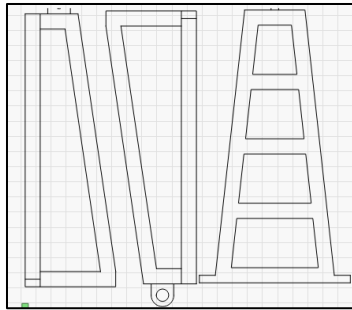


Figura 5.31. Plano de corte para torre.

Después de tener las bases, es momento de cortar las demás piezas. Para las poleas, tendrás que dibujar un círculo más pequeño para que puedas hacer el ensamble. Y es recomendable que no cortes los círculos que están al interior del diámetro mayor de la polea a excepción del dónde va el eje, lo anterior permitirá que haya menos desechos de material y que el tiempo de corte se reduzca. (V. figura 5.32).

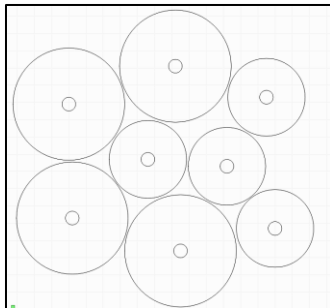


Figura 5.32. Círculos para poleas.

La unión de las piezas las deberás hacer con pegamento blanco.

A continuación, corta el balancín, el cual se compone de las piezas que se muestran en la figura 5.33. Como puedes ver, es necesario

agregar dos rectángulos que permitirán hacer la separación entre ambas caras. (v. figura 5.34)

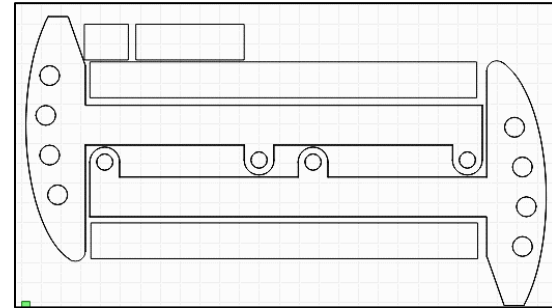


Figura 5.33. Plano de corte balancín.

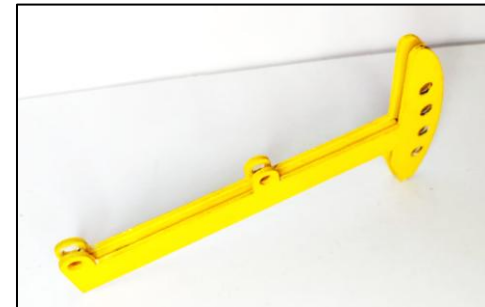


Figura 5.34. Balancín en madera.

Para los ejes, pernos y manivela puedes reutilizar los del modelo de impresión, o adaptar palos de bandera a ellos. Estos los puedes adquirir en cualquier papelería. De igual manera, para la tubería basta con que cortes un pequeño cilindro de madera de la altura correcta para que funcione como es debido.

Es momento de que ensambles las piezas y comiences a experimentar. Para la transmisión de movimiento, puede que necesites ligas más resistentes, o puedes agregar otros elementos como rodamientos para facilitar movimiento. También, te

recomendamos que pintes cada una de las piezas con colores distintos para hacer aún más llamativo el modelo y puedas identificar cada una de las piezas con mayor facilidad. Finalmente, el modelo te quedará como se muestra en las figura 5.35 y 5.36.



Figura 5.35. Modelo de madera.



Figura 5.36. Bomba Petróleo en madera.

6. LEVAS Y SEGUIDORES

Una leva es un elemento mecánico de perfil irregular que sirve para impulsar a otro elemento, conocido como seguidor. Según lo explicado por Fernández y García (2019) “lo que se busca es que el seguidor desarrolle un movimiento específico”. La figura 6.1 muestra un ejemplo de leva seguidor.

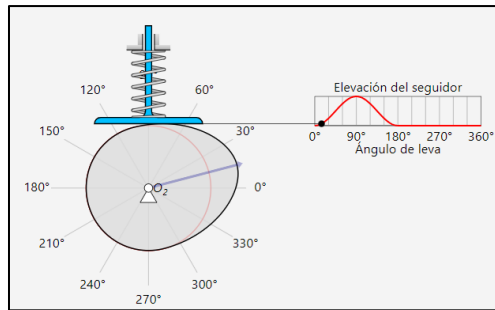
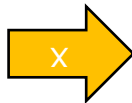


Figura 6.1. Mecanismo leva seguidor plano. (Sánchez, 2020).

Al visitar el sitio que se muestra en el anexo B, podrás encontrar una animación de este movimiento.



Los sistemas leva-seguidor tienen múltiples aplicaciones, por ejemplo, en los automóviles se utilizan árboles de levas (v. Figura 6.2). Asimismo, se pueden encontrar en los reductores de velocidad, en bombas y otras tantas máquinas.

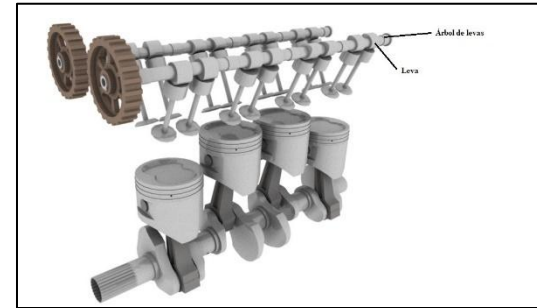


Figura 6.2. Árbol de levas. (Dominguez Monferrer, 2018).

Los sistemas leva-seguidor pueden ser clasificados de varias maneras:

- 1) Por el tipo de **movimiento del seguidor**:
 - a. Traslación
 - b. Rotatorio (oscilante)
- 2) Por el **tipo de leva**:
 - a. Radial
 - b. Cilíndrico
 - c. Tridimensional
- 3) Por el **tipo de seguidor**:
 - a. Curvado o plano.
 - b. De rodillo
 - c. De deslizamiento
- 4) Por el tipo de **cerradura de la junta**
 - a. Cerrado por fuerza
 - b. Cerrado por forma

- 5) Por el tipo de **restricciones de movimiento**:
- Critical Extreme Position (CEP). Restricción en la posición inicial y final del seguidor, con ninguna restricción en el intervalo de movimiento.
 - Critical Path Motion (CPM). Restricción en la trayectoria del movimiento y alguna de sus derivadas, durante el intervalo de movimiento.
- 6) Por el tipo de **programa de movimiento**.
- Rise-fall (RF)
 - Rise-fall-dwell (RFD)
 - Rise-dwell-fall -dwell (RDFD)

Para comprender algunas de estas clasificaciones y el sistema leva-seguidor se diseñó un modelo donde se pueden observar los tres tipos de seguidores mencionados en el inciso 3), dicho modelo se llama Leva-Seguidor-Delfín y se ilustra en la figura 6.3.



Figura 6.3. Modelo impreso Leva-Seguidor-Delfín.

Este modelo consiste en un sistema que da movimiento al delfín a través de la transmisión de movimiento de engranes y el sistema leva-seguidor (v. imagen 6.3 y 6.4). El delfín se divide en tres partes: cola, tronco y cabeza. Cada parte está conectada a un seguidor distinto, se relacionan como sigue:

- Cola-seguidor de deslizamiento (punta).
- Tronco-seguidor plano.
- Cabeza-seguidor de rodillo.

Y en las tres piezas se tiene a la misma leva, sin embargo, como se puede apreciar en la figura 6.3 las longitudes de los seguidores no son las mismas.



Figura 6.4. Tren de engranes para movimiento del Delfín.

En la figura 6.4 se muestra el tren de engranes utilizado para transmitir el movimiento a los ejes (figuras 6.8 y 6.9), y que estos a su vez lo transmitan a las levas que impulsarán a los seguidores.

Para que puedas apreciar el funcionamiento de estos sistemas y el comportamiento de cada seguidor, te invitamos a replicar el modelo anteriormente mostrado.

6.1. Impresión 3D

Para este modelo se utilizaron dos tonos de PLA y uno de PET-G, por lo cual se emplearon diferentes configuraciones. Las tablas 6.1, 6.2 y 6.3 muestran los parámetros de impresión sugeridos.

De igual forma, debes consultar el anexo A para que identifiques todas las piezas necesarias para este modelo, las cuales se presentan a continuación.

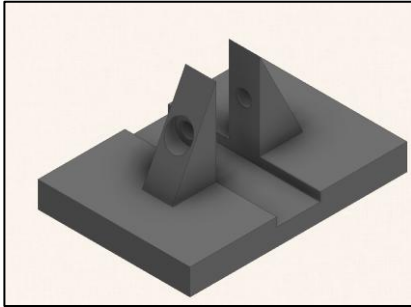


Figura 6.5. Pie de base (dos piezas).

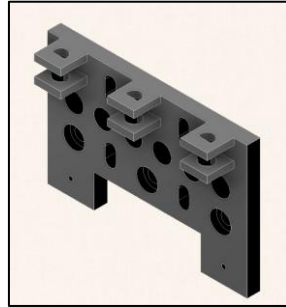


Figura 6.6. Base principal Delfín.

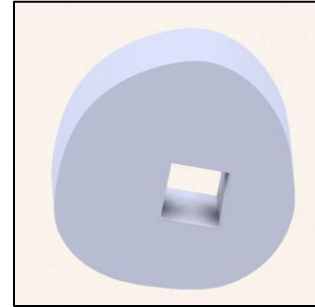


Figura 6.7. Leva (tres piezas).

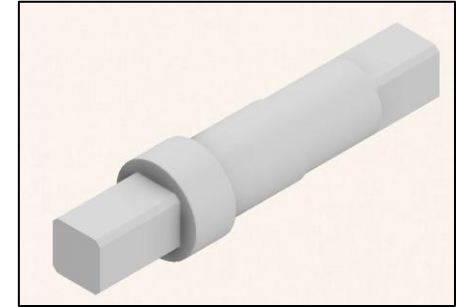


Figura 6.8. Eje lateral (dos piezas).

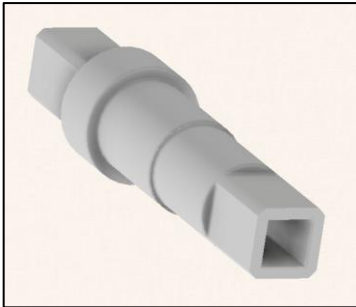


Figura 6.9. Eje central-unión con manivela.

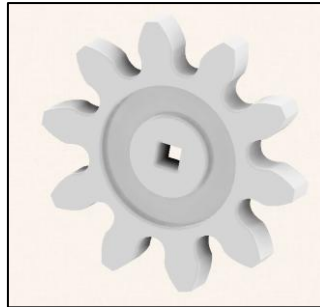


Figura 6.10. Engrane recto (3 piezas).

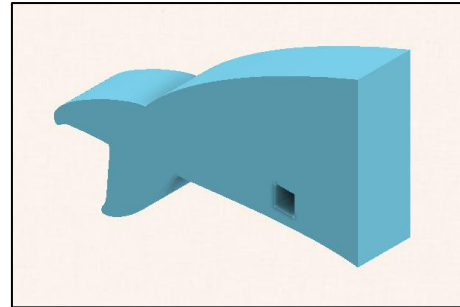


Figura 6.11. Cola de delfín.

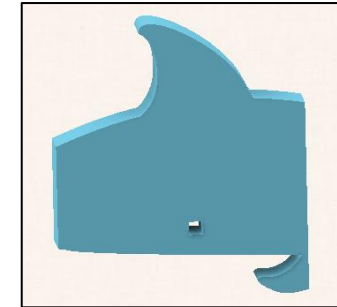


Figura 6.12. Torso de delfín.

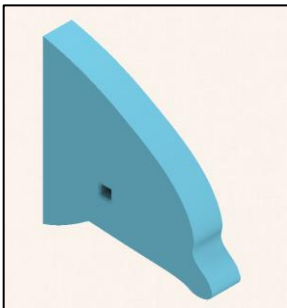


Figura 6.13. Cabeza de delfín.

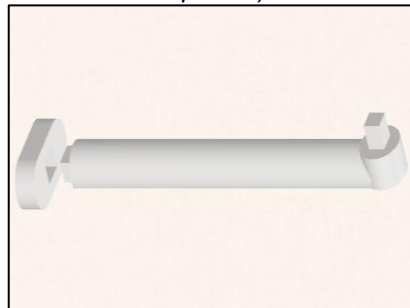


Figura 6.14. Seguidor plano (dos piezas).

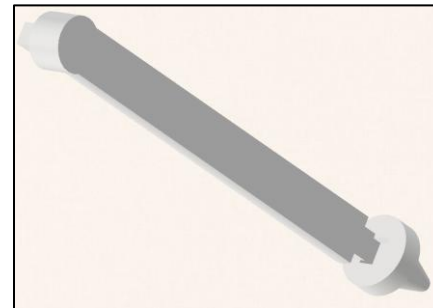


Figura 6.15. Seguidor de deslizamiento (dos piezas).

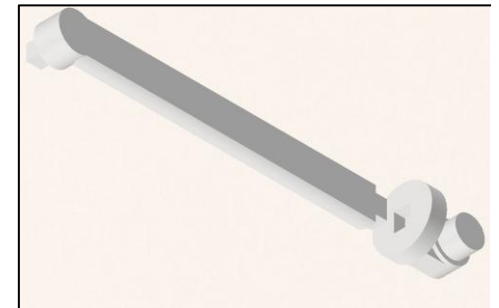


Figura 6.16. Seguidor de rodillo (dos piezas).

Tabla 6.1. *Parámetros de impresión para pies de base y base (Delfín).*

Parámetro	Valor sugerido
Material	PLA negro
Temperatura extrusor	220 °C
Temperatura cama	45 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	20%
Patrón de relleno	Giroide
Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 5 líneas mínimo.



Tabla 6.3. *Parámetros de impresión para delfín, engranes, seguidores y manivela.*

Parámetro	Valor sugerido
Material	PLA blanco
Temperatura extrusor	220 °C
Temperatura cama	45 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	20%
Patrón de relleno	Iluminado
Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 4 líneas mínimo.

Tabla 6.2. *Parámetros de impresión para ejes con PET-G.*

Parámetro	Valor sugerido
Material	PET-G
Temperatura extrusor	240 °C
Temperatura cama	70 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	100%
Patrón de relleno	Línea
Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 5 líneas mínimo.

Es momento de comenzar a imprimir las piezas. Al igual que en modelos anteriores, lo recomendable es que primero imprimas las bases (figuras 6.5 y 6.6). Para las cuales se utilizaron los parámetros de impresión de la tabla 6.1. La posición de los pies de base deberá ir como se muestra en la figura 6.17, no es necesario que actives los soportes.

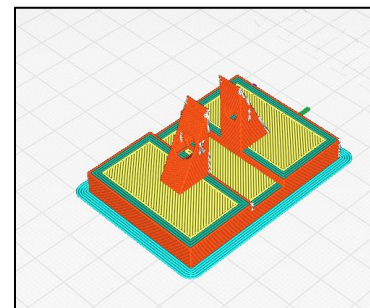


Figura 6.17. *Pie de base en software de corte.*

Después, se debe imprimir la base, la cual se coloca sobre la cama de impresión de la manera que se indica en la figura 6.18. Como habrás podido notar, la base se divide en dos partes, esto debido a que se buscaba el mínimo uso de soportes para que la impresión saliera lo más limpia posible, y tanto el tiempo de impresión como la cantidad de material utilizado se redujeran. Al ser un elemento grande, se recomienda usar una boquilla de 0.8 mm para su impresión.



Los pies de la base y la base se unen a través de tornillos de 3 mm (los mencionados en la sección 5), tal y como se muestra en la figura 6.19.

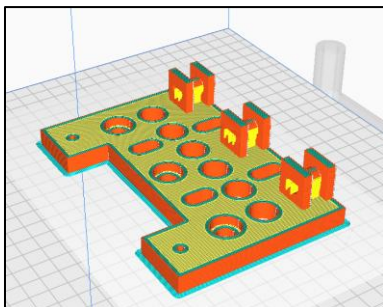


Figura 6.18. Base del modelo sobre la cama de impresión.

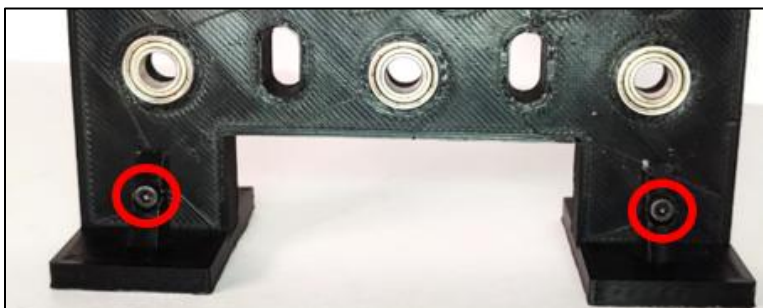


Figura 6.19. Ensemble de la base con tornillos.

Al observar la figura 6.19 verás que en la base también se ensamblaron rodamientos, los cuales ayudarán a reducir la fricción entre las piezas y permitir un movimiento más fluido.

Posteriormente, se sugiere imprimir el resto de las piezas a excepción de los ejes. Para ello, guíate de los parámetros de la tabla 6.3. Los seguidores tienen una cara plana para que la puedas acomodar sobre la cama de impresión.

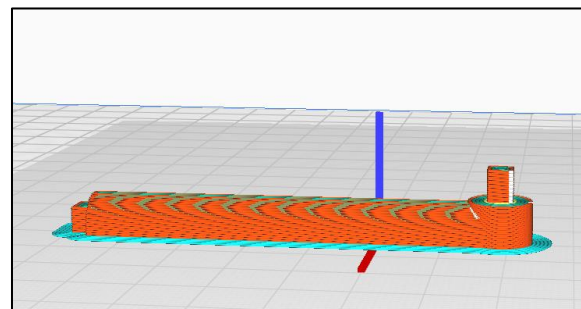


Figura 6.20. Seguidor con cara plana sobre la cama de impresión.



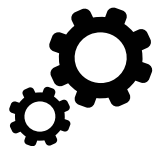
Para lo engranes, se recomienda se impriman uno por uno, para que así la expansión térmica que se da durante la impresión no tenga efecto sobre ellos. En estas piezas se debe tener especial cuidado en que no haya rebabas de material o hilos que obstruyan el movimiento. Si bien, los tres engranes son iguales y por lo tanto no se espera que haya interferencia, ésta podría existir si las piezas no se imprimieron adecuadamente.

Las tres piezas de las cuales se conforma el delfín pueden imprimirse en un solo archivo, solo asegúrate que todas las partes se adhieran correctamente a la cama de impresión.

Para las puntas que conforman a los seguidores (rodillo, plano, de deslizamiento), si bien son piezas pequeñas, se aconseja que se

impriman en archivos de trabajo distintos, esto para asegurar que la calidad de impresión sea la mejor.

Llegó el momento de utilizar los parámetros de la tabla 6.2, es decir, de imprimir los ejes. Aunque, el PET-G es un material que según la literatura es de mayor resistencia al PLA, no significa que no se puedan emplear otros materiales para la impresión de piezas que soporten cargas y esfuerzos. Para este proyecto, también se quería explorar y estudiar las propiedades y comportamiento del PET-G, por lo que se sugiere su uso. No olvides que puedes consultar el anexo C para aprender sobre otros materiales para la impresión 3D.



Al imprimir los ejes lo más recomendable es que estos se coloquen de manera horizontal sobre la cama de impresión (v. figura 6.21), ya que esto permitirá que tenga mayor resistencia. Lo ideal sería que cada eje se imprima por separado para que se obtenga una buena impresión. Antes de imprimirlos, no olvides verificar las medidas de las poleas y engranes, por si es que tienes que hacer un ajuste dimensional.

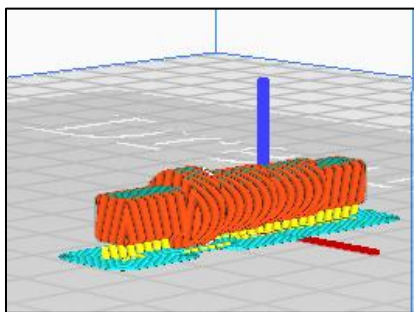


Figura 6.21. Posición del eje sobre el área de impresión.



Y hablando de ajustes, el eje tanto con el engrane y como con la leva debe tener un ajuste de apriete para asegurar

el movimiento de todos los componentes. Por otro lado, la manivela con el eje central basta con que tengan un ajuste indeterminado para que funcionen adecuadamente.

Finalmente, una vez que tengas todas las piezas comienza a ensamblar el modelo. Al examinar la figura 6.3, observarás que en el ensamble se encuentran algunos resortes que ayudan a limitar el movimiento de los seguidores, evitando que estos giren sobre su propio eje. Los resortes los puedes conseguir en papelerías o tlapalerías. Para hacer este ensamble, primero coloca el eje del seguidor, después el resorte y hasta el último la punta del seguidor (plano, de rodillo o de deslizamiento). En el caso del seguidor de rodillo, se utilizó otro rodamiento para que fungiera como rodillo.



Figura 6.22. Seguidor de rodillo impreso.

Para alinear las levas, antes de colocar los engranes, solo basta con que alinees al delfín. Entonces, dada ya la posición de levas y seguidores, por la parte posterior coloca los engranes teniendo cuidado en que estos no interfieran entre sí. Por último, coloca la manivela y comienza a hacer funcionar el tren de engranes para que el resto de los sistemas comiencen a moverse. ¿Qué diferencias encuentras entre un tipo de seguidor y otro?

7. TREN DE ENGRANES PLANETARIO

Una transmisión mecánica, según lo explicado por Horton (2012), es un mecanismo utilizado para transmitir la energía generada por los motores o cualquier fuente de energía y para variar la velocidad mediante la transformación de fuerzas o momentos.

Las transmisiones mecánicas tienen múltiples aplicaciones, tanto industriales como cotidianas, por ejemplo, en las cajas de velocidades (ver figura 7.1), maquinaria industrial o robots. Dentro de estas, los trenes de engranes constituyen una de las soluciones más utilizadas para la transmisión de movimiento y de par torsional.

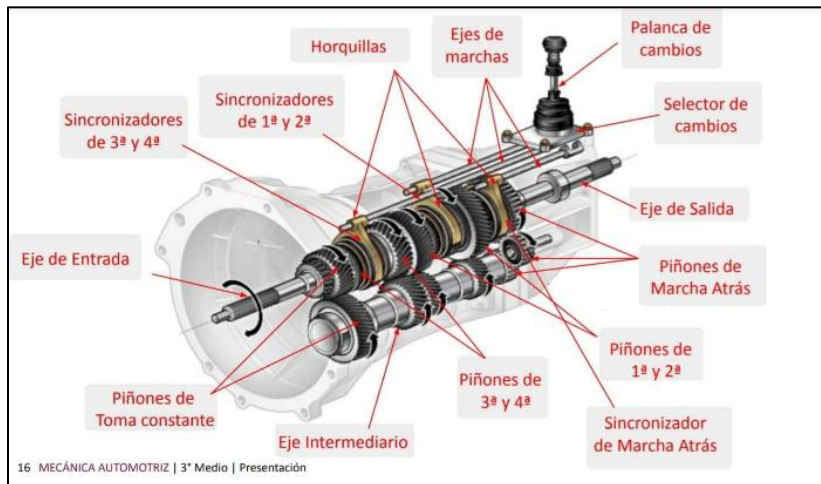


Figura 7.1. Partes de una caja de velocidades, donde se observa que el movimiento se transmite desde el eje principal hacia los engranes y, posteriormente, al eje de salida (B., n.d.).

Pueden existir diferentes configuraciones de trenes de engranes, entre las cuales se encuentra el tren de engranes planetario. Este sistema es altamente competitivo en precio frente a otros sistemas

de engranajes y también ofrece una gran eficiencia con dimensiones mínimas (Crowder, 2020). Los elementos principales de un tren de engranes planetario se muestran en la figura 7.2.

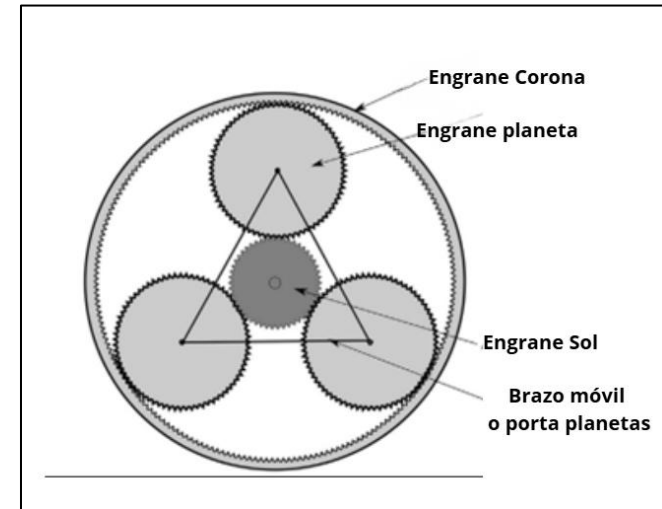


Figura 7.2. Partes de un tren de engranes planetario, imagen modificada a partir de Crowder (2020).

Según lo descrito por Yañez (2018) un tren de engranes planetario consiste en uno más engranajes, denominados planetas, que rotan alrededor de un engrane central, conocido como engrane sol. Asimismo, los engranes planeta van montados sobre un brazo móvil, también llamado porta planetas, que también transmite movimiento. Finalmente, todo el conjunto se acopla con un engrane corona.

Se pueden obtener diferentes configuraciones de salida dependiendo del rol que desempeñe cada elemento, es decir, si actúa como entrada, salida o elemento fijo.

Algunas de las configuraciones principales se describen a continuación:

Estado neutro o punto muerto:

En esta configuración, ninguno de los elementos está fijo o bloqueado. El engrane sol funciona como entrada y provoca el movimiento al resto del sistema.

1ª relación (estado de reducción de marcha):

Se fija la corona y la salida es el porta planetas. En esta configuración se obtiene una reducción de velocidad y un aumento del par torsional.

2ª relación:

Para esta configuración se fija el engrane sol; la entrada es la corona y la salida el porta planetas. Al igual que en la primera relación, se obtiene un aumento del par y una reducción de velocidad, aunque en menor magnitud.

3ª relación (transmisión directa):

Esta relación se logra cuando dos elementos del tren de engranes se conectan entre sí. Esto provoca que todo el conjunto gire como una sola unidad. Es por lo anterior que se conoce como transmisión directa o 1:1, pues la velocidad de entrada es igual a la de salida y el par torsional se mantiene.

4ª relación (marcha inversa):

En este estado, se inmoviliza o fija el porta planetas, es decir, que este no girará por lo que el engrane corona y el sol tendrán sentidos de giro opuestos.

Como puede observarse, a partir de un mismo sistema se pueden obtener múltiples configuraciones. El modelo desarrollado permite explorar estas variaciones y comprender sus diferencias (ver Figura 7.3).

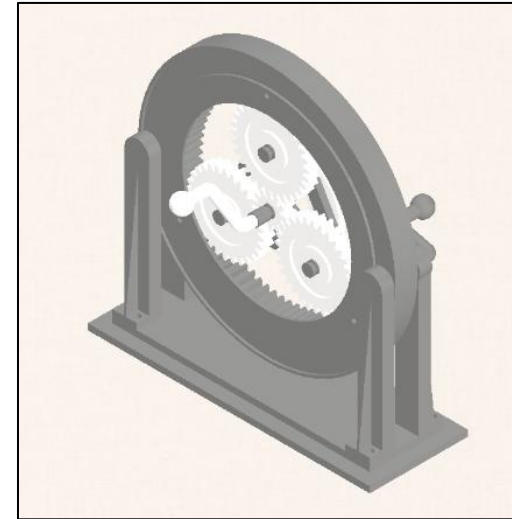


Figura 7.3. Tren de engranes planetario, modelo en CAD.

7.1. Impresión 3D

Este modelo fue impreso en su totalidad en PLA, ya que inicialmente se buscaba verificar que la movilidad de las piezas fuera adecuada y que las relaciones cinemáticas definidas se cumplieran correctamente.

El modelo cuenta con 13 piezas únicas, las cuales se muestran desde la figura 7.4 a la 7.16.

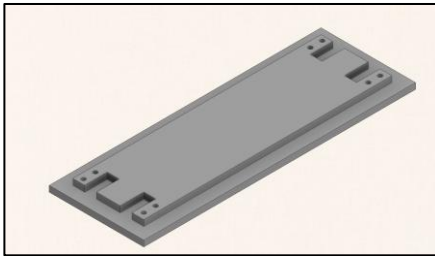


Figura 7.4. Base mecanismo.

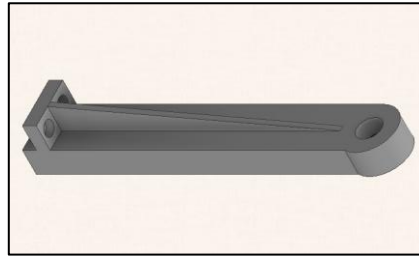


Figura 7.5. Soporte I.

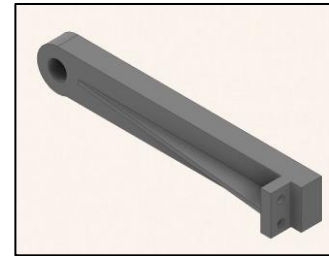


Figura 7.6. Soporte II.

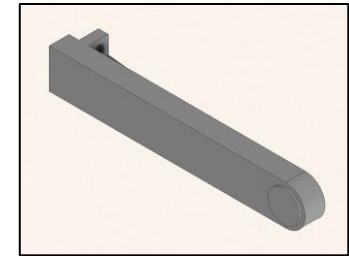


Figura 7.7. Soporte III.

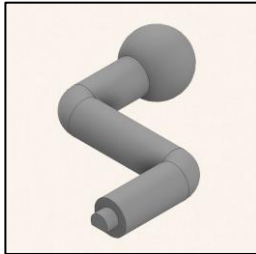


Figura 7.8. Manivela.

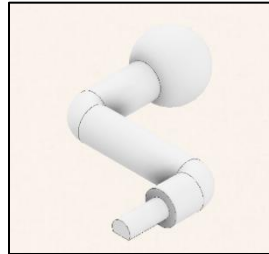


Figura 7.9. Manivela central.

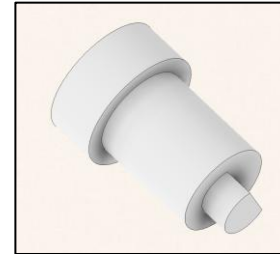


Figura 7.10. Perno.

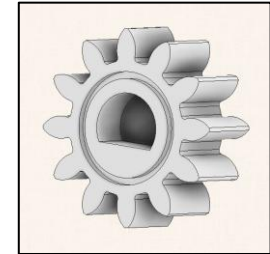


Figura 7.11. Mini engrane.

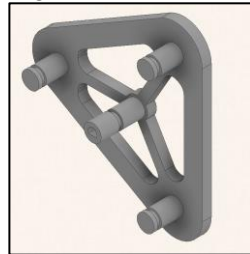


Figura 7.12. Porta Planetas.

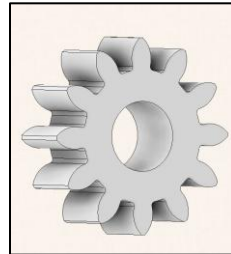


Figura 7.13. Engrane Sol.

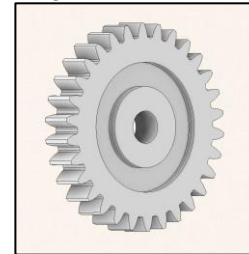


Figura 7.14. Engrane planeta.

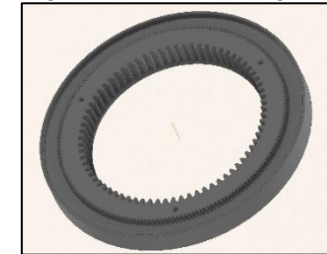


Figura 7.15. Engrane Corona.

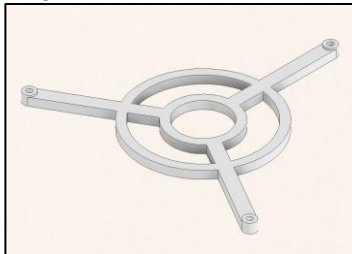


Figura 7.16. Limitador.

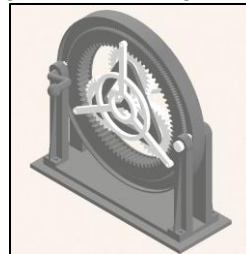


Figura 7.17. Vista posterior del tren engranes.

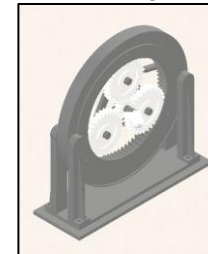


Figura 7.18. Vista frontal del tren de engranes.

Tabla 7.1. *Parámetros de impresión para base, soportes y engrane corona.*

Parámetro	Valor sugerido
Material	PLA negro
Temperatura extrusor	220 °C
Temperatura cama	45 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	30%
Patrón de relleno	Triángulo
Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 6 líneas mínimo.



Tabla 7.2. *Parámetros de impresión para engranes y el resto de los elementos.*

Parámetro	Valor sugerido
Material	PLA blanco
Temperatura extrusor	220 °C
Temperatura cama	45 °C
Ventilación	50%, a partir de la sexta capa de impresión
Densidad de relleno	20%
Patrón de relleno	Cruz 3D
Grosor de las paredes	1.6
Cantidad de paredes	4
Placa de adhesión	Borde: 4 líneas mínimo.

A diferencia de modelos anteriores, en los que se inicia imprimiendo la base, en este caso se recomienda comenzar con el engrane corona, ya que es el elemento con mayor interacción con el resto de la piezas. Con base en la experiencia del equipo, resulta más sencillo iniciar con esta pieza y, en caso necesario, ajustar posteriormente las demás a sus dimensiones.

En la figura 7.19 se muestra la posición que deberá tener la pieza en la cama de impresión. Recuerda que puedes adaptar las medidas a las que prefieras, en este caso, se decidió aprovechar el máximo espacio disponible para visualizar correctamente el movimiento del sistema.

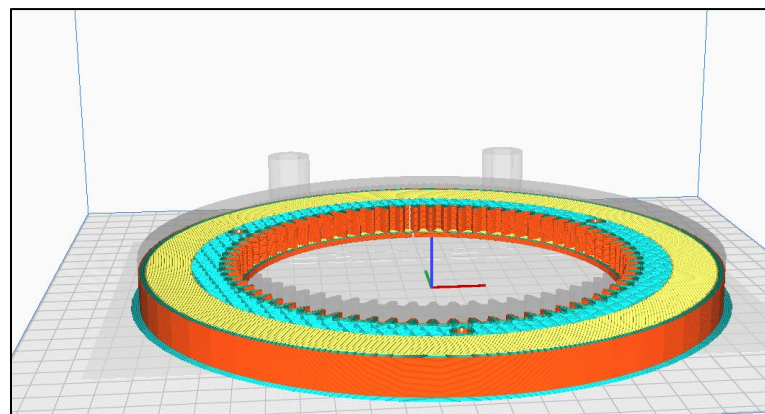


Figura 7.19. *Engrane corona, posición en la cama de impresión con cara lisa sobre plataforma.*



El tiempo de impresión de esta pieza, al ser de dimensiones relativamente grandes, puede ser considerable. La recomendación es utilizar una boquilla de tamaño medio (0.3 mm o 0.4 mm) para reducir el tiempo y consumo energético. Sin embargo, una boquilla de 0.2 mm permitirá obtener mayor definición en los dientes del engrane,

por lo que esta elección dependerá del nivel de detalle y calidad que desees.

La segunda pieza para imprimir es la base del mecanismo, la cual comparte los mismos parámetros de impresión que el engrane corona. La orientación recomendada se muestra en la Figura 7.20.

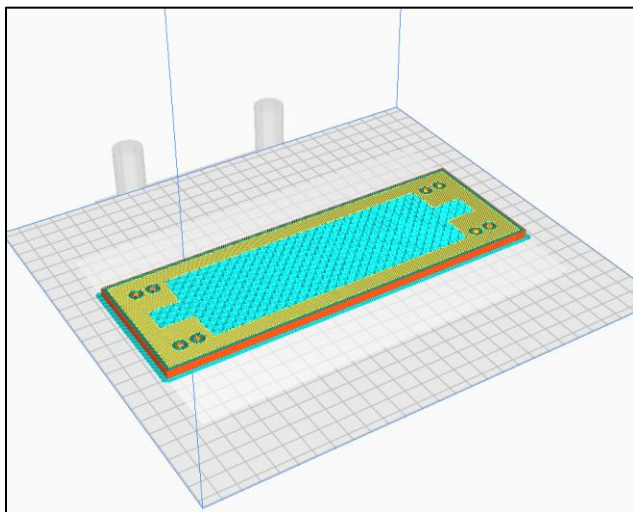


Figura 7.20. Configuración de la base en Cura.

En la cara en contacto con la cama de impresión se encuentran pequeños orificios destinados a la fijación de los soportes. No es necesario activar soportes adicionales durante la impresión, aunque puede hacerse si se considera conveniente.



warping.

Para piezas de gran tamaño, también se recomienda el uso de boquillas de mayor diámetro, por ejemplo, de 0.8 mm, así como realizar la impresión en un ambiente con temperatura estable para evitar defectos como el

Posteriormente, puedes configurar todos los soportes en un mismo archivo para su impresión simultánea (Figura 7.21).

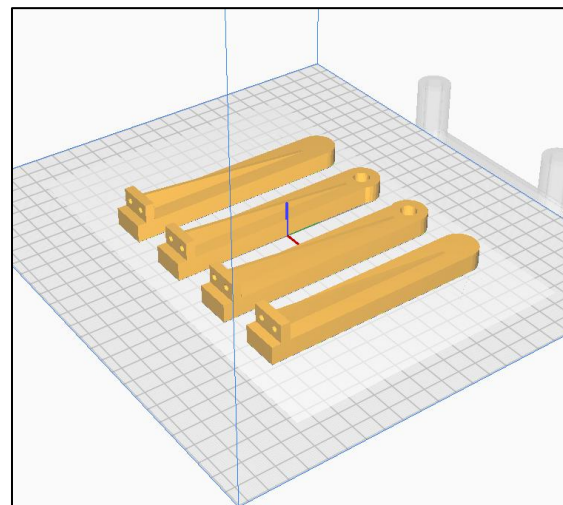
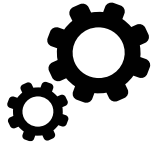


Figura 7.21. Acomodo de los soportes en la cama de impresión.

Como puedes ver en la Figura 7.21, todos los soportes cuentan con una cara plana, lo cual facilita su adhesión a la cama y mejora la calidad de impresión al reducir el riesgo de deformaciones.

Después, puedes imprimir el resto de los elementos que no sean engranes, como las manivelas y los pernos en un solo lote. Para las manivelas, sigue las instrucciones descritas en modelos anteriores.

Llegó el momento de imprimir los engranes. Te recomendamos iniciar con un engrane planeta y el engrane sol, esto te ayudará a ver cómo interactúan entre ellos y con el engrane corona, así determinas si hay interferencia entre los dientes o hay algún otro elemento que agregar. Para realizar este modelo, imprimimos primero un engrane planeta. En la Tabla 7.2 se muestran los parámetros de impresión.



En este caso, se recomienda utilizar la boquilla de 0.2 mm para un mejor nivel de detalle. Ten especial cuidado en que el filamento no presente hilos y su flujo sea el adecuado.

Después, imprime el engrane sol. Recomendamos fabricar cada engrane por separado, ya que esto permite un mayor control sobre las variables de impresión y facilita la supervisión del proceso.

Como última sugerencia antes de imprimir, asegúrate de que la cama de impresión esté correctamente nivelada y que la distancia del extrusor a esta sea la adecuada, para evitar que la primera capa presente expansión o no se adhiera correctamente.

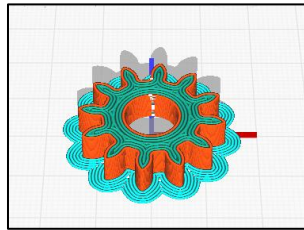


Figura 7.22. Configuración del engrane Sol.

Una vez verifiques la correcta interacción entre los engranes, imprime el resto de los planetas y el mini engrane. Posteriormente, mide la distancia entre los ejes de los engranes para validar las dimensiones del porta planetas. Estas distancias se ilustran en la Figura 7.23.

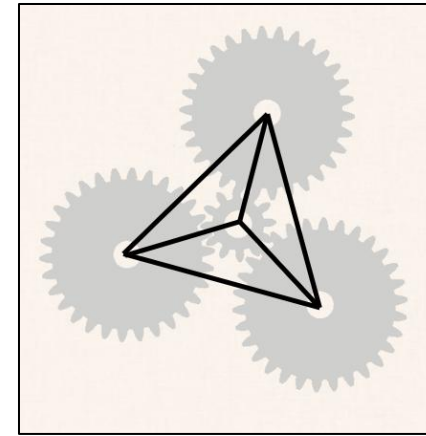


Figura 7.23. Preconfiguración de los engranes. Las líneas negras representan la distancia entre centros que deben verificarse.

Con base en estas mediciones, determina si es necesario realizar ajustes en el modelo CAD antes de imprimir el porta planetas. La orientación recomendada para su impresión se muestra en la Figura 7.24.

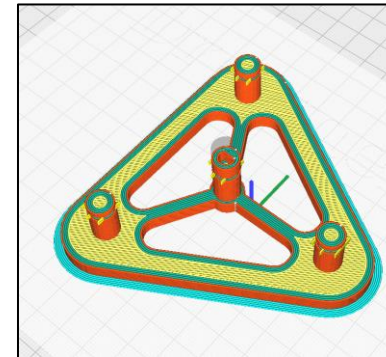


Figura 7.24. Configuración del porta planetas en la cama de impresión, la cara plana va sobre la cama de impresión.



Los ajustes que debes considerar son los siguientes:

- Ejes del porta planetas-engranes: ajuste de apriete.
- Manivelas-engranes: ajuste de apriete.
- Perno - mini engrane: ajuste indeterminado.

Con base en estos ajustes puedes definir las tolerancias para garantizar el correcto funcionamiento del mecanismo.

Por último, una vez ensamblado el sistema, se recomienda medir las dimensiones internas del engrane corona para fabricar el limitador. Esta pieza evita el desplazamiento axial de los engranes, aunque puede no ser necesaria si el sistema presenta un ajuste adecuado.

Finalmente, obtendrás el modelo que se muestra en la figura 7.25.

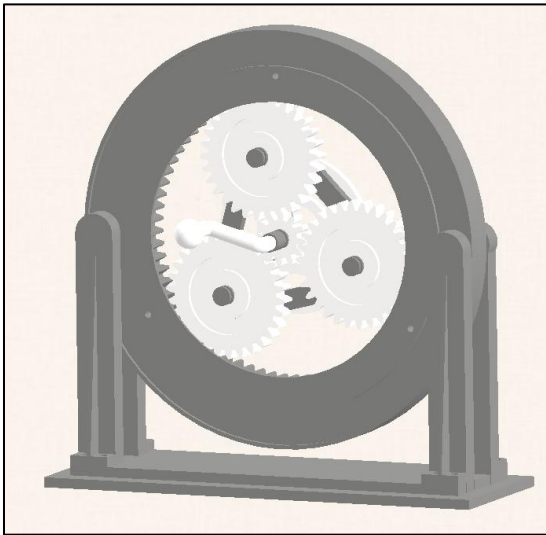


Figura 7.25. Ensamble final del tren de engranes planetario.

Es momento de que explores las diferentes configuraciones del tren de engranes, e incluso modifiques los elementos para

personalizarlo, puedes agregar más engranes planetas, o variar las dimensiones de los engranes para establecer nuevas relaciones.

8. REFERENCIAS

- Astronomic Limit [@AstronomicLimit]. (2020, enero 26). *¿Qué es el Efecto Coriolis? | Con experimentos caseros*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=9K2qyZvLPgg>
- B., D. (n.d.). *Partes caja de cambios manual*. Kharty.com. Retrieved April 24, 2024, from <https://www.kharty.com/es/diagram/Gyn8DAmJOA>
- CADistas [@CADistas]. (2020, febrero 20). *DISEÑO DE ENGRANAJES EN INVENTOR*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=kpygR9VuDQY>
- Carim, J. M. [@JMCBARNA]. (2020, octubre 29). *AUTODESK INVENTOR MAQUETA DE UNA BOMBA DE PETROLEO DE VARILLA*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=JNbjOVyh4sM>
- Crowder, R. (2020). Power transmission and sizing. In *Electric Drives and Electromechanical Systems* (pp. 73–106). Elsevier.
- De Hacer, M. F. [@MuyFacilDeHacer]. (2015, mayo 23). *Cómo Hacer una Máquina Petrolera (muy fácil de hacer)*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=yqFjRAfc0dY>
- Diaz, A. I. W. [@astridInventor]. (2023, julio 14). *DISEÑO Y ANIMACION DE ENGRANAJES PLANETARIOS | AUTODESK INVENTOR (ENGRANES EPICICLOIDALES)*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=DyGnNCyBzhM>
- Dominguez Monferrer, C. (2018, julio). *Dinámica de mecanismos de levas*. I1.wp.com. <https://i1.wp.com/www.momentogp.com/wp-content/uploads/2018/07/arbol-de-levas-final.jpg?fit=1041%2C600&ssl=1>
- Dwamena, M. (2021, diciembre 9). *How to 3D print holes without supports - is it possible?* 3D Printerly. <https://3dprinterly.com/how-to-3d-print-holes-without-supports-is-it-possible/>
- Fernández, A., & García, P. (2019). *Máquinas y mecanismos (2019), 10. Levas*. Unican.Es. <https://ocw.unican.es/course/view.php?id=233>
- Guerrero, J. [@JavierGuerrero_JAVI]. (2014, abril 9). *Bomba de Petróleo AIB*. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=iwINxsb_tgc
- Guzman Vásquez, A. V. (2017, marzo). *Bomba de varilla*. Prezi.com. https://prezi.com/bz_xrjy-y-vh/bomba-de-varilla/
- Hacer, N. Q. [@nqueh]. (2021, noviembre 18). *Bomba de petróleo para tu escritorio carga tu teléfono y ¡BOMBEEA DE VERDAD! | NQUEH*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=8p95R5bKBi0>

Hegab, H., Khanna, N., Monib, N., & Salem, A. (2023). Design for sustainable additive manufacturing: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 35(e00576), e00576. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00576>

Horton Cavazos, D. (2012). *Diseño de una transmisión y reducción de velocidades para un vehículo eléctrico de competencia* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

Industrial Quick Search. (s/f). *Planetary Gears*. Iqsdirectory.com. Recuperado el 15 de marzo de 2023, de <https://www.iqsdirectory.com/articles/gear/planetary-gears.html>

Jc, D. M. [@DisenoMecanicoJC]. (2022, febrero 8). *COMO HACER UNA LEVA EN #SOLIDWORKS*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=Moocc52LMrc>

Milo, A. (2023, agosto 24). *Efecto Coriolis: qué es y cómo afecta a la duración de los vuelos*. National Geographic en Español. <https://www.ngenespanol.com/ciencia/efecto-coriolis-que-es-y-como-afecta-a-la-duracion-de-los-vuelos/>

Mirón, V., Ferrándiz, S., Juárez, D., & Mengual, A. (2017). Manufacturing and characterization of 3D printer filament using tailoring materials. *Procedia Manufacturing*, 13, 888–894. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.151>

Motorservice Group [@motorservicegroup]. (2018, marzo 12). *Estructura y función del cigüeñal (animación 3D) - Motorservice Group*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=91ODNBbnY84>

Nerhi, D. F. [@doctornerhi]. (2022, abril 18). *Cinematica de mecanismo manivela biela corredera*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=0DnhotKpz3U>

Nop, J. [@jpbaussnop355]. (2017, abril 18). *Printed 3D planetary gear - engrenage planétaire*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=WHXImOYJ7yw>

Norton, R. L. (2009). *Diseño de Maquinaria: Síntesis y Análisis de Máquinas y Mecanismos* (S. A. Mcgraw-Hill/Interamericana Editores, Ed.).

Planetary gears explained: A design written in the stars. (2025, noviembre 25). MetMo. <https://www.metmo.co.uk/blogs/news/planetary-gears-explained-a-design-written-in-the-stars>

Posadas Basurto, J. C. (2018). *Diseño de levas*. Uaemex.mx. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/103382/secme-8614_1.pdf?sequen

ProCiencia [@ProCiencia_SaberEsPoder]. (2017, diciembre 22). *Efecto Coriolis (Demostración experimental)*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=9QL88dVb-78>

ProyectosFaciles [@ProyectosFaciles]. (2021, octubre 5). *Como Hacer Maqueta de MAQUINA PETROLERA*. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=a5AOH-_0H2M

RetroArte [@retro_arte]. (2021, abril 1). *Tutorial LaserGRBL Fácil para todas las grabadoras laser*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=QZJu8lbPtpo>

RRVRuiz [@RRVRuiz]. (2022, febrero 17). *¿Cómo funcionan los engranajes planetarios? -Transmisión Automática - ¿Cómo funciona? #8 - RRV Ruiz*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=MLlcRRtruBg>

Sánchez, F. (2020, diciembre). *Mecanismo de leva seguidor*. Uji.es; Universidad Jaume. https://www.mecapedia.uji.es/pages/mecanismo_de_leva_seguidor.html

Sensiba, J. (2021, enero 26). *Is 3D printing A clean technology?* CleanTechnica. <https://cleantechnica.com/2021/01/25/is-3d-printing-a-clean-technology/>

44

Shinde, A. A, Patil, R.D., Dandekar, A.R., Dhawale, N.M. (2020, julio). 3D Printing Technology, Material Used For Printing and its Applications. *International Journal of Scintific & Engineering Research*. https://www.researchgate.net/publication/345763830_3D_Printing_Technology_Material_Used_For_Printing_and_its_Applications

Silva Rico, J. A. (2020). *Apuntes de Mecanismos*. Universidad Nacional Autónoma de México. (1° edición publicada en 2007)

Steingrube, A. [@AustinSteingrube]. (2018, agosto 4). *Laserweb Basics Tutorial*. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=W0V_k_Sw5lks

Tech, Y. in [@YvetteinTech]. (2020, abril 24). *SolidWorks - Diseño Mecanismo Leva Seguidor y Gráficas de Movimiento*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=gXuVvfrsJxl>

TECH LAPSE [@techlapse_AlbertoMolina]. (2021a, abril 14). *La biela - manivela (mecanismo de transformación)*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=Dyee1JVYsd0>

TECH LAPSE [@techlapse_AlbertoMolina]. (2021b, noviembre 11). *Leva y excéntrica*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=Fpls57XAEWI>

TechTube [@techtube3082]. (2021, mayo 29). *Sewing Machine Mechanism in 3D Animation| how sewing machine work in 3D*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=khDChx7nP8Q>

The Editors of Encyclopedia Britannica. (2024). Coriolis force. En *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/Coriolis-force>

Torres, C. G. (2015). *Análisis y Síntesis de Mecanismos con Aplicaciones*. Grupo Editorial Patria.

Torres Búa, M. (2014). 5.3- Biela-manivela. Xunta.gal. Recuperado el 7 de marzo de 202, de https://www.edu.xunta.gal/centros/espazoAbalar/aulavirtual/pluginfile.php/296/mod_resource/content/1/10_paquetes_web/5_mecanismos/53_bielamanivela.html.

Universitat Jaume I. (2020, diciembre 20). *Mecanismo de 6 barras de Watt*. Uji.es. http://www.mecapedia.uji.es/pages/mecanismo_de_6_barras_de_Watt.html

yllw [@bhyllw]. (2020, mayo 11). *Engranés Planetarios*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=3Q4T6B2u5mk>

Yañez-Valdez, R., Cisneros, J. A., Todd, O. A., & Pano, J. C. (2018). *Diseño mecánico de un multiplicador de velocidad basado en un tren epicicloidal*. Unam.Mx. Recuperado abril, 2024, de https://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/4554/Publica_20180116224224.pdf

ANEXO B

SITIOS DE INTERÉS

I. Características de tu impresora y caracterización de materiales de impresión

- a. EREXIT3D [@erexit3d]. (2023, mayo 11). Guía completa impresión 3D para principiantes: montaje, nivelación, CURA y primeras impresiones. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=81IBo0dFUnU>
- b. 3d, C. [@Control3D]. (2023, noviembre 5).  GUÍA DEFINITIVA de MATERIALES de IMPRESIÓN 3D  ¡+MIS TRUCOS para IMPRIMIRLOS! Control 3D . Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=qiYNsbXgvXQ>
- c. 3d, C. [@Control3D]. (2023a, julio 9).  7 TEST INDISPENSABLES para CALIBRAR tu IMPRESORA 3D  CONSEJOS y TIPS Impresión 3D *Anycubic KOBRA 2. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=E8sZXs0Y1RU>
- d. THE MAKER 3D PRINTING [@TheMaker3DP]. (2021, junio 18). TOP 10  PIEZAS DE CALIBRACION PARA SU IMPRESORA. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=UHXBWO_WKiQ

II. ¿Qué es el efecto Warping?

- a. El Warping es una deformación causada por cambios de temperatura entre las capas de impresión. La deformación se da a medida que las capas se enfrían o endurecen. Este efecto se da principalmente entre las primeras capas de impresión y causa que el material se encoja y contraiga, sobre todo en las esquinas.
 - i. Ramian, J., Ramian, J., & Dziob, D. (2021). Thermal deformations of thermoplast during 3D printing: Warping in the case of ABS. *Materials*, 14(22), 7070. <https://doi.org/10.3390/ma14227070>
- b. Español, L.-R. [@LabRoboticsEspañol]. (2021, enero 31).   [Qué es el WARPING? y cómo EVITARLO?] || 5 Maneras de MEJORAR la adherencia de tu IMPRESORA 3D. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=NHtYYMzyPgA>
- c. Cómo superar la flexión y la deformación al imprimir modelos grandes en 3D. (2022, julio 18). Photocentric; Photocentric Ltd. <https://photocentricgroup.com/es/how-to-overcome-bending-and-warping-when-3d-printing-large-models/>

III. Mecanismo de Watt

- a. Universitat Jaume I. (2020, diciembre 20). Mecanismo de 6 barras de Watt. Uji.es. http://www.mecapedia.uji.es/pages/mecanismo_de_6_barras_de_Watt.html

IV. Imprimir con PET-G

- a. 3d, C. [@Control3D]. (2021, julio 4). ✨ CÓMO IMPRIMIR PETG ✨ Descubre QUÉ ES el filamento PETG (+Ajustes de impresión). Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=0SflS04zRhI>
- b. Lucía, C. (2023, mayo 29). El plástico PETG en la impresión 3D. 3Dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/el-plastico-petg-en-la-impresion-3d-181220192/>

V. Honey Storage Wall

- a. Rosta P. (2022). Honeycomb Storage Wall. Printables.com. <https://www.printables.com/es/model/152592-honeycomb-storage-wall>

VI. Test de materiales para corte láser

- a. Jesús Rojas, E. T. [@EITallerdeJesusRojas]. (2023, marzo 25). Pruebas de Corte y Grabado Láser en Madera MDF y Contrachapado. Sculpfun S30 5W. Lightburn. 374. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=uRh94qgLGUE>
- b. Informáticas-Esdichi, S. [@esdichi]. (2023, junio 4). 🌱 Como hacer un TEST DE MATERIALES en Lightburn 📌 Que PARÁMETROS poner en grabador láser 🎁. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=bkPT0ojewVg>

VII. Tolerancias

- a. ImpresoEn3D [@ImpresoEn3Dmx]. (2023, octubre 21). Así puedes conocer las tolerancias de tu impresora 3D para imprimir modelos con ensambles. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=B_cmp1qNkxw
- b. Esdichi [@esdichi]. (2023, octubre 10). 🟡 Mis PIEZAS impresas en 3D no ENCAJAN ⚡ Como hacer una prueba de TOLERANCIA en 3D 🌟. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=tlzvG-Yz8pY>

VIII. Biela – manivela

- a. TECH LAPSE [@techlapse_AlbertoMolina]. (2021, Abril 14). La biela - manivela (mecanismo de transformación). Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=Dyee1JVYsd0>

IX. Impresión 3D sustentable

- a. AMFG. (2020, marzo 10). How Sustainable is Industrial 3D Printing? AMFG. <https://amfg.ai/2020/03/10/how-sustainable-is-industrial-3d-printing/>
- b. Colorado, H. A., Velásquez, E. I. G., & Monteiro, S. N. (2020). Sustainability of additive manufacturing: the circular economy of materials and environmental perspectives. Journal of Materials Research and Technology, 9(4), 8221–8234. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.04.062>
- c. Sheikoner [@sheikoner]. (2024, febrero 26). Impreso en 3D SIN SOPORTES 🤖 (Descubre el Secreto). Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=P_VoXjl9wOc

X. Leva – Seguidor

- a. Sánchez, F. (2020). Mecanismo de leva seguidor. Uji.es. https://www.mecapedia.uji.es/pages/mecanismo_de_leva_seguidor.html