



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

Integración de Herramientas Computacionales para la construcción de engranajes de Fotocopiadoras Ricoh – Serie 8000

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de magister en
Electromecánica

Autor:
Mayo Mayo Edison Gonzalo

Tutor:
Héctor Raúl Reinoso

LATACUNGA –ECUADOR
2021

AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Integración de Herramientas Computacionales para la construcción de engranajes de Fotocopiadoras Ricoh – Serie 8000” presentado por Mayo Mayo Edison Gonzalo, para optar por el título magíster en Electromecánica.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, octubre 10, 2021



Ing. Héctor Raúl Reinoso, Mg.

CC: 0502150899

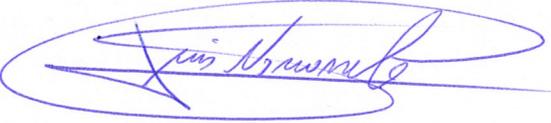
AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: Integración de Herramientas Computacionales para la construcción de engranajes de Fotocopiadoras Ricoh – Serie 8000, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electromecánica; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, diciembre 08 del 2021



.....
MSc. Edwin Homero Moreano Martínez
0502607500
Presidente del tribunal



.....
MSc. Luis Miguel Navarrete López
1803747284
Lector 2



.....
MS. Luigi Orlando Freire Martínez
0502529589
Lector 3

DEDICATORIA

El viaje acumula una parada más,
hoy me permite mencionar a las personas
que han contribuido a mi realización como ser humano,
A mi Padre, si hubieras vivido cuántas cosas hubiéramos compartido,
A mi Mami, Dios me quitó a Papá, pero me recompensó el doble contigo,
A mi corazón, mi Mayita seguimos en el camino a pesar de las dificultades,
A Mis hijos Gadiel, Emil y Leslie, ustedes son el motor y felicidad de mi vida
A mis hermanos y mis hijos de corazón, son el complemento ideal de mi familia

Edison

AGRADECIMIENTO

Al culminar el proyecto, agradezco a Dios, por sus bendiciones y permitir compartir experiencias de vida

A mi hogar por su apoyo y comprensión para alcanzar un proyecto más de estudio

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por ser el Alma Mater del pueblo, permitiendo el mejoramiento profesional de los actores de la sociedad.

A las autoridades y docentes por la valiosa contribución en la implementación del programa de Maestría en Electromecánica.

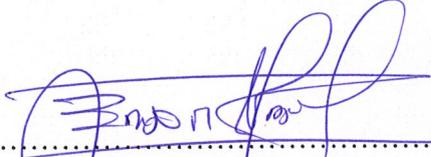
Un agradecimiento especial al PhD. Enrique Tamayo, excelente coordinador y al Ing. Raúl Reinoso destacado tutor, seres humanos excepcionales

Edison Mayo

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación

Latacunga, diciembre 08, 2021



Edison Gonzalo Mayo Mayo
C.C. 0502129737

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, diciembre 08, 2021



.....
Edison Gonzalo Mayo Mayo
C.C. 0502129737

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe declara que el presente Trabajo de Titulación: “Integración de Herramientas Computacionales para la construcción de engranajes de Fotocopiadoras Ricoh – Serie 8000” contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, diciembre 08, 2021



.....
Msc. Edwin Homero Moreano Martínez
C.I. 0502607500

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Título: Integración de Herramientas Computacionales para la construcción de engranajes de Fotocopiadoras Ricoh – Serie 8000

Autor: Mayo Mayo Edison Gonzalo

Tutor: Héctor Raúl Reinoso

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un estudio teórico y experimental, se propone técnicas de reconstrucción tridimensional utilizando visión artificial con software y hardware libre. La revisión bibliográfica soporta las aplicaciones de los trabajos analizados, en cuanto se refiere a herramientas computacionales para procesamiento de imágenes planas (2D) como la generación de un objeto en tres dimensiones (3D). La primera etapa de diseño consiste en el análisis de las características físicas de los engranes plásticos de una fotocopiadora Ricoh serie 8000. A partir del estudio experimental y un proceso analítico jerárquico se obtuvo una caracterización y selección de los engranes más adecuados para ser construidos mediante técnicas de prototipado rápido con impresión 3D, además se realizó un análisis estático del engrane reconstruido para una fuerza de 1.7 Nm utilizando las propiedades mecánicas de los polímeros como PLA (Acido Poliláctico), PETG (Tereftalato de Polietileno) y ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) obteniendo un factor de seguridad de 4.57, 4.63, y 4.73 respectivamente. Se realizó una comparación entre las técnicas de impresión 3D como SLS (Estereolitografía), SLA (sinterización selectiva por láser) y FDM (Deposición de Hilo Fundido). Los engranes obtenidos con la técnica de prototipado rápido FDM tuvieron un error mínimo de 0.5% y máximo de 2.5% entre la medida real y la reproducida. La metodología propuesta permite reconstruir un engrane plástico CAD (Diseño Asistido por Computador), analizar sus características mecánicas con diferentes materiales CAE (Ingeniería Asistida por Computador) y construirlo mediante técnicas de impresión 3D CAM (Manufactura Asistida por Computador).

PALABRAS CLAVE: Prototipado rápido, Engranes plásticos, Visión Artificial, Reconstrucción 3D.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Title: Integration of Computational Tools for Ricoh Photocopier Gear Construction - 8000 Series

Author: Mayo Mayo Edison Gonzalo
Tutor: Héctor Raúl Reinoso

ABSTRACT

In the present work, a theoretical and experimental study was carried out, proposing three-dimensional reconstruction techniques using artificial vision with free software and hardware. The bibliographic review supports the applications of the analyzed works, in terms of computational tools for flat image processing (2D) as well as the generation of a three-dimensional object (3D). The first design stage consists of the analysis of the physical characteristics of the plastic gears of a Ricoh 8000 series photocopier. From the experimental study and a hierarchical analytical process, a characterization and selection of the most suitable gears to be replicated by rapid prototyping techniques with 3D printing was obtained, in addition, a static analysis of the reconstructed gear for a force of 1.7 Nm was performed using the mechanical properties of polymers such as PLA (Polylactic Acid), PETG (Polyethylene Terephthalate) and ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene). A comparison was made between 3D printing techniques such as SLS (Stereolithography), SLA (Selective Laser Sintering) and FDM (Fused Fiber Deposition). The gears obtained with the FDM rapid prototyping technique had a minimum error of 0.5% and a maximum of 2.5% between the real measurement and the reproduced one. The proposed methodology allows reconstructing a plastic gear CAD (Computer Aided Design), analyzing its mechanical characteristics with different CAE (Computer Aided Engineering) materials and building it by means of 3D CAM (Computer Aided Manufacturing) printing techniques.

KEYWORDS: Rapid prototyping, Plastic gears, Artificial Vision, 3D Reconstruction.

Yo, Mg Marco Paúl Beltrán Semblantes con cédula de identidad número 0502666514 Licenciado en Ciencias de la Educación especialización Inglés con número de registro de la SENESCYT: 1020-06-701921; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "Integración de Herramientas Computacionales para la construcción de engranajes de Fotocopiadoras Ricoh – Serie 8000." de: Mayo Mayo Edison Gonzalo aspirante a Magister en Electromecánica.


Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes
0502666514



**CENTRO
DE IDIOMAS**

Latacunga, diciembre, 09, 2021

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|------|
| AVAL DEL TUTOR..... | II |
| AVAL DEL TRIBUNAL..... | III |
| DEDICATORIA | IV |
| AGRADECIMIENTO | V |
| RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA | VI |
| RENUNCIA DE DERECHOS..... | VII |
| AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL..... | VIII |
| RESUMEN..... | IX |
| ABSTRACT..... | X |
| ÍNDICE DE CONTENIDO..... | XI |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPITULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 7 |
| 1.1 Antecedentes | 7 |
| 1.2 Fundamentación Teórica | 9 |
| 1.2.1 Fotocopiadora..... | 9 |
| a) Evolución de las fotocopiadoras | 10 |
| b) Impresoras multifuncionales | 11 |
| c) Funcionamiento de una fotocopiadora | 12 |
| d) Sistema de Alimentación de Tóner | 13 |
| e) Rodillo de tóner..... | 15 |
| f) Sistemas de control de fotocopiadoras..... | 15 |
| 1.2.2 Adquisición de datos | 16 |
| a) Visión humana | 17 |
| b) Visión artificial..... | 18 |
| c) Técnicas de lectura 3D..... | 18 |
| d) Técnicas de reconstrucción tridimensional | 20 |
| 1.2.3 Ingeniería Concurrente..... | 24 |
| a) Estructura funcional | 25 |
| b) Dibujo y diseño (CAD) | 26 |
| c) Análisis integral (CAE)..... | 26 |
| d) Procesos de fabricación (CAM)..... | 27 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 1.2.4 | Aspectos generales de manufactura | 28 |
| a) | Modelado por deposición fundida (FDM) | 28 |
| b) | Impresión 3D..... | 29 |
| 1.2.5 | Materiales de Impresión | 32 |
| 1.3 | Conclusiones del capítulo I | 33 |
| CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS..... | | 34 |
| 2.1 | Estructura funcional | 34 |
| 2.1.1 | Características técnicas | 34 |
| 2.2 | Dibujo y Diseño con aplicaciones CAD..... | 35 |
| 2.2.1 | Digitalización de la imagen..... | 36 |
| a) | Adquisición de la imagen..... | 37 |
| b) | Conversión de BGR a escala de grises..... | 37 |
| c) | Umbralización de la imagen (Thresholding)..... | 37 |
| d) | Eliminación de ruido de la imagen..... | 37 |
| e) | Detección del engrane | 37 |
| f) | Obtención de características..... | 37 |
| g) | Desarrollo HMI | 38 |
| h) | Reconstrucción tridimensional..... | 38 |
| 2.3 | Análís integral con CAE..... | 38 |
| 2.3.1 | Análisis estático | 38 |
| 2.4 | Proceso de fabricación CAM y CNC | 39 |
| 2.4.1 | Espesor de capa | 39 |
| 2.4.2 | Densidad de relleno..... | 40 |
| 2.4.3 | Cantidad de capas superior e inferior..... | 41 |
| 2.5 | Conclusiones del capítulo II | 41 |
| CAPITULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS | | 42 |
| 3.1 | Análisis fotocopidora Ricoh | 42 |
| 3.2 | Digitalización de la imagen | 43 |
| 3.2.1 | Adquisición de imágenes | 44 |
| 3.2.2 | Mediciones obtenidas..... | 45 |
| 3.2.3 | Reconstrucción tridimensional..... | 47 |
| 3.3 | Análisis mecánico estático | 49 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.3.1 | Conversión a solido..... | 49 |
| 3.3.2 | Inventor | 50 |
| 3.3.3 | Elementos de sujeción..... | 51 |
| 3.3.4 | Torque aplicado..... | 51 |
| a) | Tensión de Von Mises..... | 52 |
| b) | Desplazamientos | 53 |
| c) | Factor de seguridad | 53 |
| d) | Fuerza de ruptura..... | 54 |
| e) | Simulaciones con PLA, PETG y ABS | 54 |
| 3.4 | Manufactura CAM y CNC | 55 |
| 3.4.1 | Tecnologías de impresión 3D..... | 55 |
| 3.4.2 | Mediciones reales vs datos obtenidos | 57 |
| 3.5 | Conclusiones del capítulo III..... | 59 |
| | CONCLUSIONES GENERALES | 60 |
| | RECOMENDACIONES | 61 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 62 |
| | ANEXOS | 67 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1. Fotocopiadora del año 1806..... | 10 |
| Figura 1.2. Impresora Ricoh Serie 8000. | 12 |
| Figura 1.3. Funcionamiento de una fotocopiadora..... | 12 |
| Figura 1.4. Proceso de carga de tóner y revelado. | 13 |
| Figura 1.5. Sistema de suministro de tóner. | 14 |
| Figura 1.6. Partes del rodillo de tóner. | 15 |
| Figura 1.7. Sistema de control del suministro de tóner..... | 16 |
| Figura 1.8. Proceso de adquisición de datos. | 17 |
| Figura 1.9. Partes del ojo humano..... | 17 |
| Figura 1.10. Reconstrucción tridimensional con VA..... | 18 |
| Figura 1.11. Técnicas de digitalización 3D..... | 19 |
| Figura 1.12. Técnica de luz estructurada en VA..... | 20 |
| Figura 1.13. <i>Shape-from-X</i> primera aproximación. | 21 |
| Figura 1.14. <i>Shape-from-X</i> resultado con cuatro vistas. | 22 |
| Figura 1.15. S1 y S2 son indistinguibles utilizando siluetas..... | 22 |
| Figura 1.16. Cálculo de Visual Hull a partir de siluetas. | 23 |
| Figura 1.17. Diferentes criterios de salida del Deep Learning..... | 24 |
| Figura 1.18. Arquitectura de reconstrucción basada en autoencoders. | 24 |
| Figura 1.19. Diagrama de flujo de la ingeniería concurrente..... | 25 |
| Figura 1.20. Ejemplo de un diseño CAD. | 26 |
| Figura 1.21. Ejemplo de los análisis CAE. | 27 |
| Figura 1.22. Ejemplo de manufactura CAM..... | 28 |
| Figura 1.23. Técnicas de prototipado rápido..... | 28 |
| Figura 1.24. Proceso de impresión 3D..... | 29 |
| Figura 1.25. Tipos de impresión 3D. | 31 |
| Figura 2.1. Diseño de la caja metálica. | 36 |
| Figura 2.2. Espesor de capa en impresión 3D..... | 40 |
| Figura 2.3. Densidad de relleno en impresión 3D..... | 40 |
| Figura 2.4. Densidad de relleno en impresión 3D..... | 41 |
| Figura 3.1. Índice promedio de replicación de engranes. | 43 |
| Figura 3.2. Caja metálica de visión artificial. | 44 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.3. Datos de dispersión del diámetro del engrane 1. | 46 |
| Figura 3.4. Datos de dispersión del diámetro del engrane 2. | 46 |
| Figura 3.5. Datos de dispersión del diámetro del engrane 3. | 46 |
| Figura 3.6. Convolución aplicada a los datos 1. | 47 |
| Figura 3.7. Convolución aplicada a los datos 2. | 47 |
| Figura 3.8. Convolución aplicada a los datos 3. | 47 |
| Figura 3.9. Software OpenScad. | 48 |
| Figura 3.10. Reconstrucción del engrane de 17.2 mm de diámetro. | 48 |
| Figura 3.11. Reconstrucción del engrane de 19.3 mm de diámetro. | 49 |
| Figura 3.12. Reconstrucción del engrane de 31 mm de diámetro. | 49 |
| Figura 3.13. Malla importada en Fusion 360. | 49 |
| Figura 3.14. Creación de los grupos de caras. | 50 |
| Figura 3.15. Engrane convertido en sólido. | 50 |
| Figura 3.16. Software Inventor Autodesk. | 51 |
| Figura 3.17. Puntos de sujeción del engrane. | 51 |
| Figura 3.18. Motor a pasos del mecanismo de fotocopiado. | 52 |
| Figura 3.19. Simulaciones del engrane con 100%, 20% y 0% de relleno. | 53 |
| Figura 3.20. Desplazamiento del engrane en 100%, 20 y 0% de relleno. | 53 |
| Figura 3.21. Factor de seguridad con 100%, 20% y 0% de relleno. | 54 |
| Figura 3.22. Factor de seguridad de ruptura. | 54 |
| Figura 3.23. Extrusor de la impresora Formbot RAPTOR. | 56 |
| Figura 3.24. Impresión de engranes. | 57 |
| Figura 3.25. Comparación de medidas de un engrane. | 57 |
| Figura 3.26. Error absoluto del diámetro externo. | 59 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.1. Tecnologías de Impresión 3D | 10 |
| Tabla 1.2. Tecnologías de Impresión 3D | 30 |
| Tabla 1.3. Ventajas y limitaciones de la fabricación aditiva (AM). | 31 |
| Tabla 1.4. Materiales termo-plásticos y termo-estables..... | 32 |
| Tabla 2.1. Medidas de los engranajes. | 34 |
| Tabla 2.2. Ponderación de los engranes. | 35 |
| Tabla 3.1. Engranajes de Ricoh Serie 8000. | 42 |
| Tabla 3.2. Ponderación de los engranes. | 42 |
| Tabla 3.3. Índice promedio de cada engrane..... | 43 |
| Tabla 3.4. Tipos de cámaras..... | 44 |
| Tabla 3.5. Resultados del procesamiento de imágenes..... | 45 |
| Tabla 3.6. Propiedades mecánicas del PLA, ABS y PETG. | 52 |
| Tabla 3.7. Resultados obtenidos para un engrane al 20% de relleno. | 55 |
| Tabla 3.8. Resultados obtenidos para un engrane al 0% de relleno..... | 55 |
| Tabla 3.9. Tecnologías de impresión 3D. | 56 |
| Tabla 3.10. Parámetros de impresión..... | 57 |
| Tabla 3.11. Medidas de diámetro externo y el error obtenido. | 58 |

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el análisis dimensional y los sistemas de prototipado rápido son necesidades de varias industrias que realizan reconstrucción tridimensional (3D) de diferentes objetos como engranes, soportes, acoples, uniones e incluso la reproducción de piezas dentales en el área odontológica [1]. Sin embargo, uno de los retos más importantes dentro de este proceso es la reconstrucción del objeto en 3D sin contacto mecánico y en el menor tiempo posible. La metrología óptica es una técnica de medición que ofrece una alta precisión a la hora de medir las propiedades físicas de un objeto [2]. Una imagen digital está compuesta por una cantidad finita de elementos y cada uno de ellos con un valor y una localidad particular, dichos puntos son llamados píxeles. El procesamiento de imágenes es una parte de la ingeniería que se encarga de extraer mediciones, datos, contornos, colores y formas contenidas en una imagen; para lo cual se tienen algoritmos en el dominio espacial, algoritmos en el dominio de la frecuencia y algoritmos de extracción de características como los más utilizados. La detección de contornos de una imagen se refiere a un método por el cual se reconocen los límites de los objetos presentes en una imagen utilizando los criterios de gradiente y laplaciano, para después generar piezas en 3D en un proceso CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing) [3].

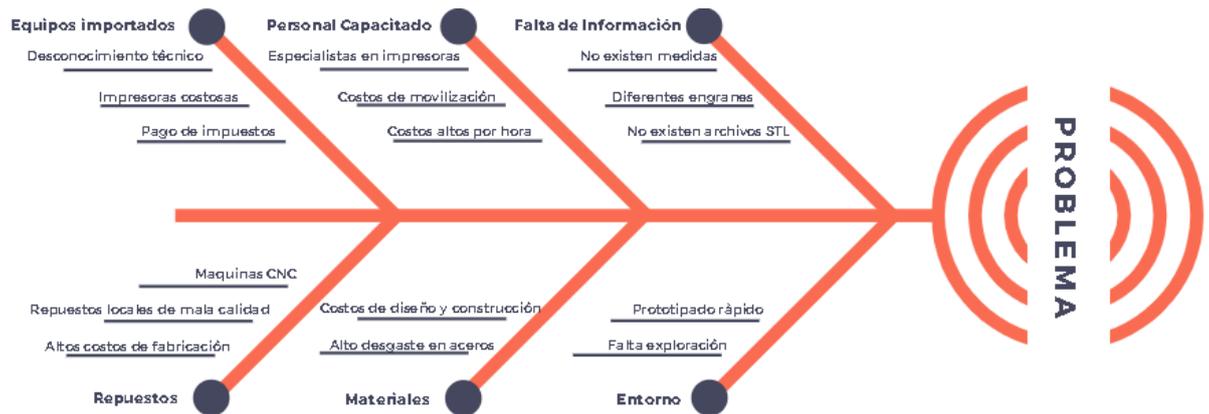
Antecedentes: El presente proyecto se enfocará en la **Línea de Investigación** referente a los Procesos Industriales, debido a la relación con la Industria 4.0 e Ingeniería Inversa, a través del correcto uso de las herramientas computacionales, que conllevan a la manufactura digital constituyéndose en una alternativa de diseño, siendo una nueva tendencia tecnológica [4], enmarcados en el desarrollo socio económico del país y el cambio de la matriz productiva de la zona [5]. Esto permitirá construir los engranajes del sistema de alimentación del tóner de las Fotocopiadoras de marca Ricoh Serie 8000, permitiendo tener al alcance del consumidor una forma de producir estos elementos mecánicos de acuerdo a sus necesidades. En el programa de Maestría en Electromecánica, la **sub línea de Investigación** en la que se desarrollara es la de diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas Electromecánicos, específicamente en los engranajes del sistema de alimentación del tóner de

fotocopiadoras. Estos elementos son parte de un mecanismo empleado para transmitir la potencia mecánica generada por un motor eléctrico hacia un eje, para construir estos engranes se aplicarán diversas herramientas computacionales basadas en software y hardware libre.

Planteamiento del problema: las maquinas fotocopiadoras realizan las tareas de duplicación de documentos en papel; pero también, con el paso del tiempo han sucedido a trabajos más complicados como lo son: el registro de la información en ordenadores para su transferencia por Internet.

El costo actual de equipos nuevos en Latinoamérica es elevado, comparado con los países desarrollados, su implantación requiere una onerosa cantidad de dinero que en oportunidades no se justifica. En nuestro país una alternativa menos costosa y que ofrece equipos con una calidad comparable a los nuevos, es la de la instalación y operación de equipos con poco ciclo de uso; no existen estudios detallados referentes al estado actual de la infraestructura de equipos multifuncionales de fotocopiado.

El desgaste del engranaje de los distintos mecanismos de la fotocopiadora Ricoh – serie 8000, provoca la pérdida de la función de impresión y copiado del equipo. Tienden a desgastarse, por diferentes situaciones como: mantenimiento no adecuado, desgaste normal por uso diario, mal manejo, lo que ocasiona que se haga el cambio de uno o más engranajes, dependiendo de la magnitud del daño, debido a que el componente no existe en el país y se debe importar [1], o en su defecto se recurre a la instalación de piezas alternas que han sido construidas con materiales no adecuados, lo que ocasiona el cambio al poco tiempo por su baja caja calidad, determinando costos adicionales.



Formulación del Problema: El uso constante de las Fotocopiadoras Ricoh – Serie 8000 originan desperfectos o fallas en los engranajes del mecanismo de alimentación de tóner, esto ha supuesto una gran dificultad para el cumplimiento de un trabajo de calidad de estas máquinas. Utilizar métodos tradicionales para construir estos engranes es una tarea que toma mucho tiempo para realizarse y es de alta dificultad implicando la intervención de máquinas especializadas como tornos y fresadoras CNC y personal capacitado, lo que implicaría una inversión económica muy elevada. Sin embargo, en los últimos años se han desarrollado herramientas computacionales para reconstrucción 3D de elementos mecánicos como engranes, rodamientos, entre otros.

Objetivo General:

Construir engranajes en un rango de 5 a 20 mm de diámetro de las Fotocopiadoras Ricoh- Serie 8000, utilizando técnicas de integración computacional para la fijación del tóner en las hojas al imprimir.

Objetivos Específicos:

- Establecer los fundamentos teóricos de fotocopiado y de las herramientas computacionales para reconstrucción tridimensional a base de imágenes digitales.
- Analizar los engranajes obtenidos con el uso de las herramientas computacionales CAD – CAE.

- Construir engranajes utilizando prototipado rápido con materiales poliméricos mediante herramientas computacionales CAD – CAM.

Sistema de tareas

| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | ACTIVIDAD | RESULTADO DE ACTIVIDAD | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|---|---|---|---|
| Establecer los fundamentos teóricos de fotocopiado y de las herramientas computacionales para reconstrucción tridimensional a base de imágenes digitales. | <ul style="list-style-type: none"> - Recopilación de conceptos fundamentales de fotocopiado y de procesamiento de imágenes digitales. - Análisis de los conceptos de metrología óptica. - Técnicas para reconocimiento de contornos y formas. | <ul style="list-style-type: none"> -Equipos electrónicos necesarios para la adquisición de datos. - Informe sobre los tipos de herramientas computacionales. | <ul style="list-style-type: none"> - Páginas Web, tesis, papers, referentes al tema de investigación. |
| Analizar los engranajes obtenidos con el uso de las herramientas computacionales CAD – CAE. | <ul style="list-style-type: none"> - Investigación de los tipos de engranes de la fotocopiadora Ricoh Serie 8000. - Análisis de los materiales y métodos para reconocer diámetros y número de dientes de los engranes en una imagen digital. - Programación del sistema de procesamiento de imágenes digitales. - Transmisión de datos al software CAD para construir el engrane en 3D. | <ul style="list-style-type: none"> - Programación requerida para el funcionamiento del sistema en Python. - Engranes en 3D en el software OpenScad. - Archivos exportados de los engranes en formato STL. - Número de engranes construidos de la fotocopiadora. | <ul style="list-style-type: none"> - Software libre Python y OpenScad - Software Inventor, Solid o Ansys. |

| | | | |
|--|---|---|---|
| <p>Construir engranajes utilizando prototipado rápido con materiales poliméricos mediante herramientas computacionales CAD – CAM</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Construcción de los engranajes utilizando materiales como PLA, PETG y ABS. - Análisis mecánico mediante software del funcionamiento de los engranes. - Recopilación de los datos obtenidos. | <ul style="list-style-type: none"> - Diagrama de flujo de la programación implementada. - Tablas y gráficos con los resultados del análisis estático. | <ul style="list-style-type: none"> - Software Cura 15.3.2 - Software Excell |
|--|---|---|---|

Justificación: A finales del año 2014 el gobierno ecuatoriano incrementó el arancel de 588 productos de importación (maquinarias y equipos de computación), debido a estas medidas adoptadas por el gobierno nacional las importaciones de este tipo de productos bajaron considerablemente, así como el stock de sus repuestos. El uso de fotocopiadoras en el Ecuador, específicamente en la ciudad de Latacunga provincia de Cotopaxi es muy común y en su mayoría estas máquinas son revisadas (overhaul), lo cual genera inconvenientes a la hora de conseguir los respectivos repuestos para mantener en funcionamiento las copiadoras. Entonces, cuando se desea realizar el reemplazo de estos engranes la opción más viable es utilizar maquinas como torno y fresadora con materiales como acero, latón, cobre y aluminio con un operario capacitado, pero con resultados de muy mala calidad. Hoy en día existen procesos de diseño y manufactura asistidas por computador (maquinas CNC) y otras herramientas computacionales para reproducir objetos tridimensionales y que pueden ser aplicados para crear una representación 3D del engranaje deseado con una geometría libre.

Es así que este proyecto de tesis tiene como propósito desarrollar un sistema de procesamiento de imágenes sin contacto mecánico de los engranajes más importantes en un rango de 5 mm a 20 mm de diámetro de una fotocopiadora Ricoh Serie 8000 para obtener las medidas de diámetro externo, diámetro interno y numero de dientes utilizando software libre y las técnicas de metrología óptica con los criterios de gradiente y laplaciano para reconocer contornos y formas. Una vez

obtenidos estos parámetros se enviarán hacia un software CAD para reconstruir en 3D el engrane analizado y exportar un archivo en formato STL compatible con las impresoras 3D para iniciar con un proceso CAM de manufactura mediante técnicas de prototipado rápido. Adicionalmente este proyecto permitirá realizar un análisis estático mediante software de los engranes diseñados para determinar los esfuerzos máximos, deformación máxima, cálculo del índice de Vonn Mises y el factor de seguridad utilizando las propiedades mecánicas de diversos polímeros como el PLA (Acido Poliláctico), PETG (Tereftalato de Polietileno) y ABS (Acrilonitrilo butadieno Estireno).

Hipótesis

El sistema de procesamiento de imágenes y reconstrucción 3D permitirá construir los engranes del sistema de alimentación de tóner en las fotocopiadoras Ricoh serie 8000, replicando sus propiedades geométricas utilizando técnicas computacionales de hardware y software libre en un proceso CAD/CAM.

CAPITULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Este capítulo comprende una revisión bibliográfica investigativa de los proyectos relacionados con este tema de tesis y publicados en los últimos 3 años, también se describen los conceptos teóricos necesarios para comprender el desarrollo práctico e investigativo de esta tesis.

1.1 Antecedentes

Durante la revisión de bibliográfica se ha identificado la inexistencia de proyectos relacionados con la reconstrucción de engranes para fotocopiadoras Ricoh Serie 8000. Sin embargo, existe un proyecto desarrollado en el Reino Unido denominado: “Photocopier Remanufacturing at Xerox UK: An Environmental Impact Study” el objetivo principal de esta investigación está enfocado en un estudio ambiental para determinar la factibilidad de implementar un proceso de remanufactura de fotocopiadoras Xerox y de esta manera desviar los productos de desechos y vertederos. Los autores concluyen que es posible utilizar los mismos componentes después de aplicar varios procesos industriales de desmontaje, limpiado, pintura o recubrimiento para volver a montarlos con una serie de elementos menores [6].

La investigación denominada “Competitive strategy and production strategy of the original equipment manufacturer and the third-party remanufacturer in remanufacturing” consiste en el análisis de un proceso de fabricación de equipos originales (OEM por sus siglas en ingles) y un remanufacturador externo (TPR por sus siglas en inglés) considerando el caso de las fotocopiadoras Xerox y Ricoh a nivel mundial. La conclusión de esta investigación es que el proceso de remanufactura requiere que el OEM proporcione nuevos componentes para el TPR. Dado que el OEM tiene los derechos sobre nuevos productos y nuevos componentes, es más realista considerar que el OEM proporcione nuevos componentes. Por último, se expresa claramente que todo proceso de remanufactura va estar ligado directamente con los nuevos procesos de producción del OEM [7].

En la Universidad Distrital Francisco José de Caldas se ha desarrollado el proyecto titulado “Aplicación de la transformada Wavelet para el reconocimiento de formas en visión artificial” por los autores O. Bertel, C. Moreno y E. Toro. Este proyecto tiene como objetivo principal la utilización de la transformada matemática de

Wavelet (DWT) para extraer de forma óptima el contorno de diferentes objetos y determinar el área, perímetro, compacidad y diámetro de todos los objetos, cabe recalcar que en este caso se utilizó una imagen capturada por una cámara Web con una resolución de 320 x 240 píxeles en formato JPG en colores RGB. Por último los autores concluyen que el método de cotejo de imágenes es muy efectivo, pero bajo ciertas restricciones según la forma a ser analizada [8].

El proyecto de tesis titulado “Reconstrucción de objetos 3D en base a imágenes mediante técnicas de aprendizaje profundo” fue desarrollado por el autor G. Ignacio de la Puente. El objetivo principal de este proyecto de investigación fue el de analizar diferentes arquitecturas de redes neuronales para realizar la reconstrucción tridimensional de cualquier tipo de objeto únicamente con la adquisición de tres imágenes en dos dimensiones (2D) separadas en ángulos de 120°. El proyecto consistió en el desarrollo e implementación de una red generativa antagónica (GAN), un codificador capaz de generar directamente el volumen del objeto y por último se ha desarrollado un codificador para generar un mapa de profundidad de cada vista [9].

En la ciudad de Arequipa – Perú se ha desarrollado el proyecto titulado “Reconstrucción de modelos digitales tridimensionales de objetos a partir de múltiples imágenes adquiridos automáticamente por una sola cámara” por el autor Y. Huillca. El objetivo principal de este proyecto consistió en la investigación de la técnica Structure from Motion (SFM) aplicado a imágenes para estimar una estructura tridimensional a partir de una secuencia de imágenes en dos dimensiones. SFM es una técnica de la visión por computadora que utiliza la posición, orientación y las coordenadas 3D de la superficie de cada una de las imágenes obtenidas y a partir de esta información genera una reconstrucción 3D. Las aplicaciones más comunes de este tipo de tecnología son para reconstruir huesos de animales ovinos y porcinos por su potencial aplicación veterinaria [10].

Los diseños CAD y prototipado rápido a través de la impresión 3D cada día tienen más acogida dentro de la investigación académica e industrial, es así que en el proyecto titulado “Diseño de un producto industrial mediante técnicas de impresión 3D y nuevos materiales” desarrollado por el autor Y. Valencia, tiene como objetivo

principal el diseño de un violonchelo acústico tradicional de 122 x 44 cm. El proceso inicia con la adquisición de una secuencia de fotografías en 360° sobre el objeto, información que es procesada por un software que analiza y correlaciona las imágenes para generar una malla poligonal en un software CAD incluyendo el texturizado. El material utilizado en la impresión 3D del violonchelo es el PLA + Wood que contienen 60-70% de PLA y un 30-40% de fibras de naturales de diferentes maderas [11].

El proyecto titulado “Estudio del efecto de los parámetros de impresión en las propiedades geométricas de engranajes rectos fabricados por Modelado por Deposición Fundida (FDM)” desarrollado por J. Romero, consiste en un estudio de impresión de engranajes rectos mediante la técnica de prototipado rápido (RP) con deposición de filamento fundido (FDM) y el material escogido para este caso es el ácido poliláctico (PLA) por su bajo costo y sus características mecánicas, además que es un material biodegradable. El proceso consiste en la impresión de diferentes engranes con distintas configuraciones de la maquina Zortrax M300. El autor concluye que el parámetro de numero de contornos influye directamente sobre la medida del diámetro exterior del engrane en un 36.4% de error, el parámetro de módulo con un 16.9% en el diámetro de los engranajes, la calidad de impresión mejora el acabado superficial pero influye un 16.3% en el error del diámetro del engrane, el espesor de capa influye un 7% sobre la medida del diámetro, el porcentaje de relleno influye un 6.3% en el diámetro exterior y el ancho del engrane también afecta en un 3.9% el diámetro del engrane [12]. Esta información será de vital importancia para calibrar la impresora utilizada en este proyecto.

1.2 Fundamentación Teórica

1.2.1 Fotocopiadora

Las fotocopiadoras tienen sus inicios en el siglo XV cuando Johannes Gutenberg invento la imprenta, fue tanto el impacto de estas máquinas que las tenemos presentes hasta en nuestros días. En el año de 1806 el inventor inglés R. Wedgwood creó el papel carbón, este constaba de una pequeña lamina de papel con tinta que al secarse permitía fotocopiar la información de un mismo texto varias veces.

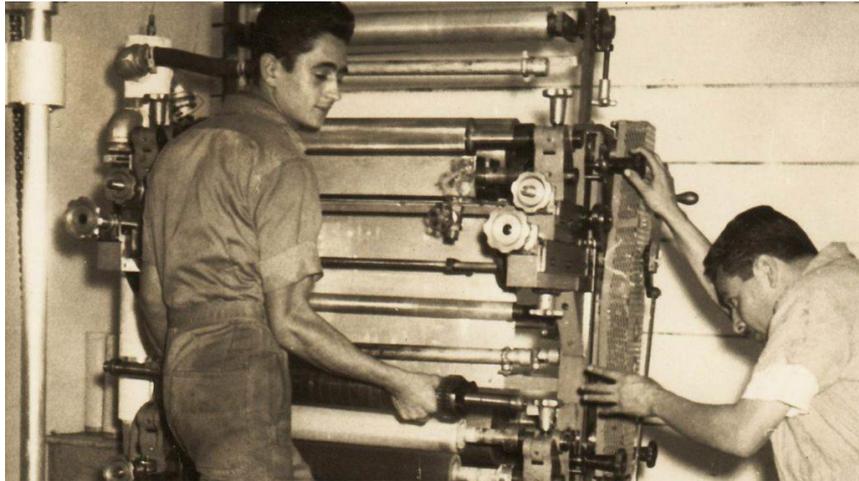


Figura 1.1. Fotocopiadora del año 1806.

Fuente: [13]

a) Evolución de las fotocopiadoras

En la siguiente tabla se muestra el desarrollo de las fotocopiadoras a través de los años, siendo una de las más reconocidas inventada por G. C. Beidler en el año de 1903.

Tabla 1.1. Tecnologías de Impresión 3D

| Año | Autor | Descripción | Foto |
|------|-----------------|--|---|
| 1779 | James Watt | Máquina que transfería la tinta desde una fuente original al duplicado. |  |
| 1937 | Georgi Nadjakov | Creó una copiadora manual que funcionaba con un campo eléctrico que se exponía a la luz. |  |
| 1938 | Chester Carlson | Es el inventor de la xerografía o impresión de copias en seco. |  |

| | | | |
|------|-----------------|---|--|
| 1968 | 3M | La empresa 3M desarrolla la primera fotocopiadora a color. |  |
| 1980 | HP | La empresa HP crea la inyección a tinta para fotocopiar 2 o más páginas por minuto. |  |
| 1990 | Laser Writer | Aparece la primera fotocopiadora a laser. |  |

Fuente: [13]

Hoy en día se siguen utilizando las fotocopiadoras con el método inventado por Carlson de xerografía, estas máquinas utilizan tóner o tinta en polvo y electricidad estática para reproducir páginas en tiempo récord a color como blanco y negro.

b) Impresoras multifuncionales

Este tipo de impresoras multifuncionales permiten realizar operaciones de imprimir, fotocopiar, escanear, enviar y recibir faxes entre otras características que hoy en día son integradas en las impresoras. La comunicación IoT (Internet de las Cosas) que poseen estas impresoras permite acceder a documentos en el cloud mediante la comunicación Wifi, lo cual facilita el trabajo en equipo y se puede compartir la información con otros dispositivos. Los formatos de impresión de las impresoras multifunción son de papel bond en tamaños A4 y A3 [14].



Figura 1.2. Impresora Ricoh Serie 8000.

Fuente: [14]

c) Funcionamiento de una fotocopidora

El proceso de fotocopiado inicia con la extracción del papel de la bandeja principal de la máquina, luego es empujado a una serie de rodillos. El tambor se carga con tóner mediante atracción de electricidad estática, este proceso genera una imagen que a su vez se plasmará en el papel blanco. La idea principal de una fotocopidora es que el tóner no sea atraído por las partes blancas de la hoja original, esto se logra mediante luz y es por eso que se llama fotocopidora. En la Figura 1.3 se muestra las partes más importantes del fotocopiado [13].

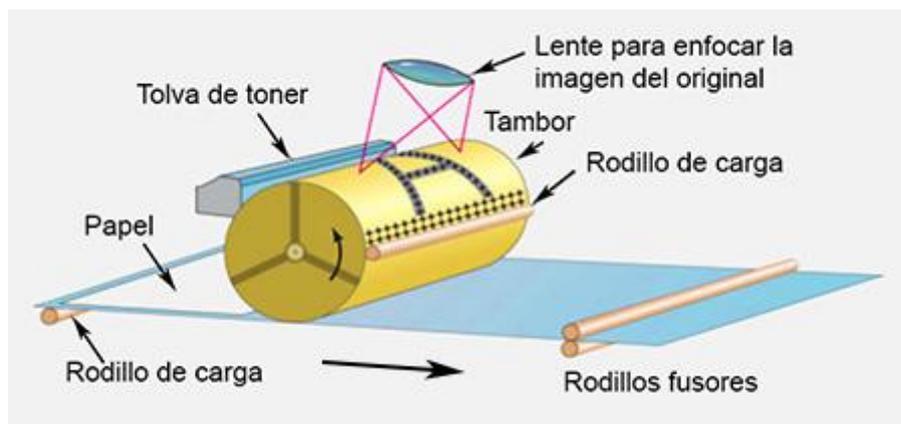


Figura 1.3. Funcionamiento de una fotocopidora.

Fuente: [13]

A continuación, se realiza una descripción detallada de todas las etapas que componen un proceso de fotocopiado, como se muestra en la Figura 1.4.

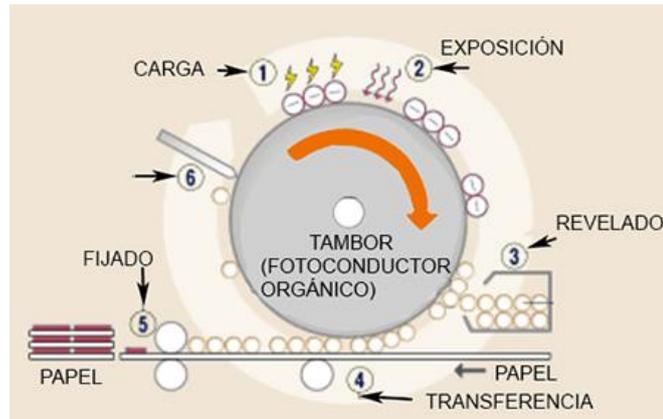


Figura 1.4. Proceso de carga de tóner y revelado.
Fuente: [15]

- 1) **Carga:** En la superficie del tambor fotoconductor orgánico se distribuye una carga electrostática en toda su longitud y durante la primera fase de fotocopiado se expone el tambor a un potencial negativo. Lo que resulta en un tambor cargado negativamente.
- 2) **Exposición:** Una luz es aplicada sobre el documento que se desea copiar y se leen solamente las áreas oscuras, posteriormente la carga electrostática se disipa y toma la misma distribución del texto o imagen original.
- 3) **Revelado:** Una vez que el tambor se ha cargado electrostáticamente, gira a través de la unidad de revelado que contiene tóner cargado positivamente. Entonces, el tóner es atraído únicamente por las áreas que están cargadas negativamente en el tambor, replicando la imagen o texto original.
- 4) **Transferencia:** Una fuerte carga negativa es aplicada en el reverso de la hoja donde se va a realizar el copiado, esta carga atrae las cargas positivas del tóner. En esta etapa el texto o imagen original se encuentra en el papel de copiado por acción de las cargas estáticas.
- 5) **Fijado:** El rodillo fusor aplica calor para fundir el tóner sobre el papel.
- 6) **Eliminación estática / limpieza:** Una cuchilla de mylar es la encargada de retirar todo el residuo de tóner que se pueda encontrar en el tambor, dejándolo listo para repetir el proceso de copiado [15].

d) Sistema de Alimentación de Tóner

El objetivo principal del sistema de rotación de una impresora multifunción es de transferir la cantidad adecuada de tóner al cilindro que a su vez transfiere la misma

cantidad de tóner al papel, de esta manera se puede imprimir texto o imágenes fielmente. La evolución de los sistemas de alimentación de tóner permite comprender el cambio gradual que han aplicado las grandes industrias a este sistema, llegando a implementar un sistema de control de procesos independiente que suministra tóner y adicionalmente realiza tareas automáticas que permiten obtener una imagen de calidad y muy estable.

El sistema de control de alimentación regula de manera automática la cantidad de tóner requerida para garantizar que la densidad de imagen sea buena y no cambie de una copia o impresión en papel a otra. Este tipo de problemas muchas veces es ocasionado por un inadecuado suministro de tóner desde el cartucho, botella y/o un inapropiado consumo de tóner por parte del usuario. En la Figura 1.5 se muestra las etapas y partes mecánicas de un sistema de alimentación de tóner de una impresora multifunción.

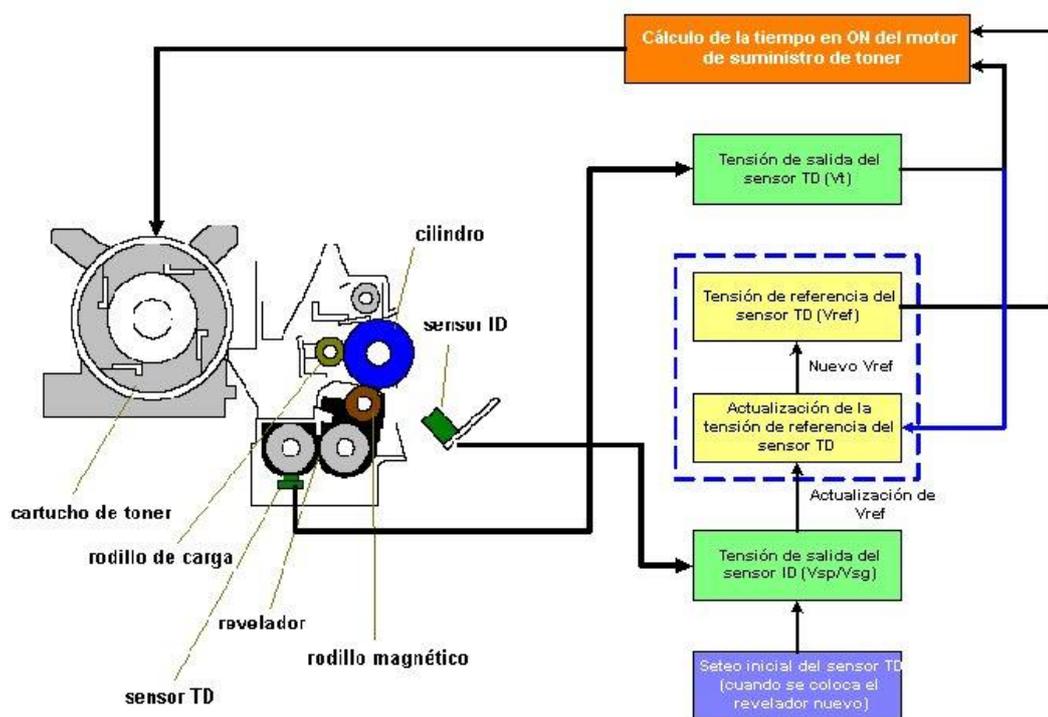


Figura 1.5. Sistema de suministro de tóner.

Fuente: [16]

e) Rodillo de tóner

El rodillo de tóner tiene la función de transportar el tóner desde la parte posterior hasta la parte delantera de la tolva y posteriormente hacia el interior de la unidad de revelado. El motor acoplado al sistema de suministro de tóner es el encargado de girar el cartucho para depositar el tóner. La tapa del cartucho de tóner se cierra inmediatamente cuando esta es extraída de su soporte. El tóner residual se separa del reutilizable mediante el sistema de reciclado. En la Figura 1.6 se puede observar las partes principales del rodillo de tóner

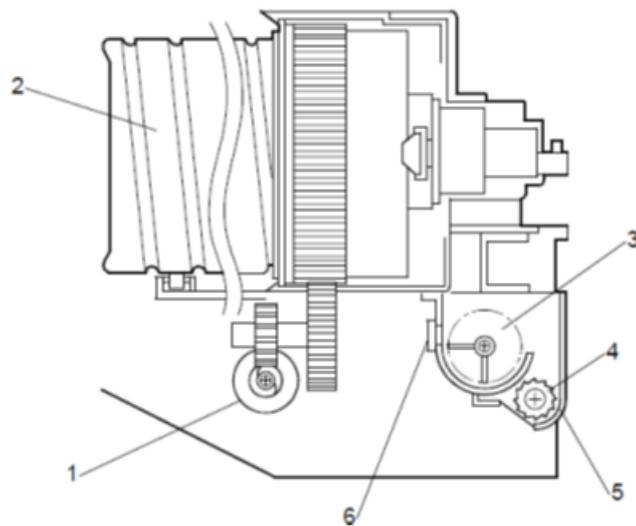


Figura 1.6. Partes del rodillo de tóner.

Donde:

1. Motor de suministro de tóner
2. Cartucho de tóner
3. Agitador de tóner
4. Rodillo de suministro de tóner
5. Tolva de tóner
6. Sensor de fin de tóner

f) Sistemas de control de fotocopiadoras

En la siguiente figura se puede observar el lazo de control empleado para realizar una impresión de alta calidad, este sistema inicia con la obtención de un error nulo o acotado entre la variable medida y una referencia especificada [16]. Los

elementos más importantes que integran este sistema de control son: motor de suministro de tóner, unidad de revelado y cilindro fotoconductor.

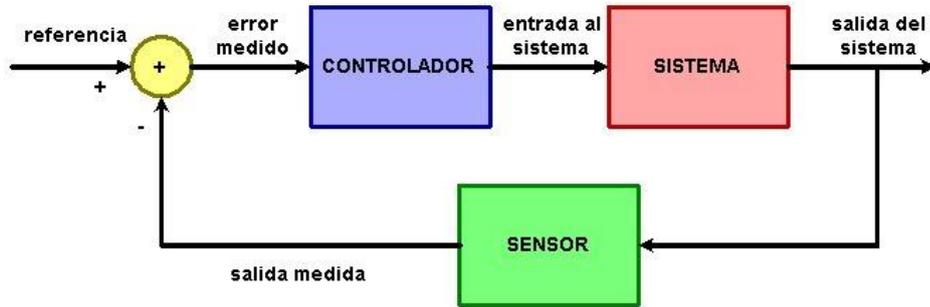


Figura 1.7. Sistema de control del suministro de tóner.
Fuente: [16]

1.2.2 Adquisición de datos

Electrónicamente se conoce al mundo real como un sistema analógico desde donde se puede adquirir diferentes datos como señales e imágenes, una vez que se obtiene esta información se puede generar datos digitales para que una computadora u otros dispositivos electrónicos puedan manipularlos. Entonces, dentro del proceso de adquisición de datos se puede identificar la etapa de obtención de una señal física mediante la utilización de un sensor que convierte dicha señal en una señal eléctrica, posteriormente se debe aplicar una etapa de filtrado y acondicionamiento de la señal para eliminar niveles de tensión no admitidos por el computador.

La conversión de señales consiste en una transcripción de las señales analógicas en señales digitales utilizando métodos de muestreo basado en la frecuencia de oscilación de la señal analógica. Por último, los datos obtenidos son enviados hacia una computadora o controlador electrónico para procesar dicha señal y tomar decisiones de control. En la siguiente figura se puede observar el proceso de adquisición de señales e imágenes [17].

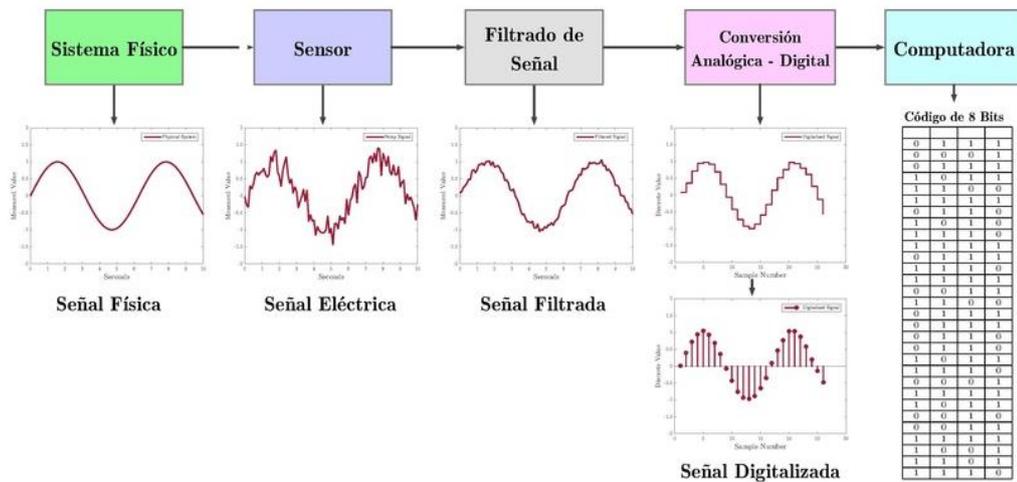


Figura 1.8. Proceso de adquisición de datos.
Fuente: [17]

a) Visión humana

El ser humano es capaz de detectar y percibir imágenes a través de un conjunto de músculos que componen la retina, pupila, cornea, iris y el nervio óptico. El ojo humano se comporta como una cámara sensible la luz y capaz de detectar información del entorno mediante un sistema de visión estereoscópico [18]. En la siguiente imagen se muestran las partes más importantes del ojo humano.

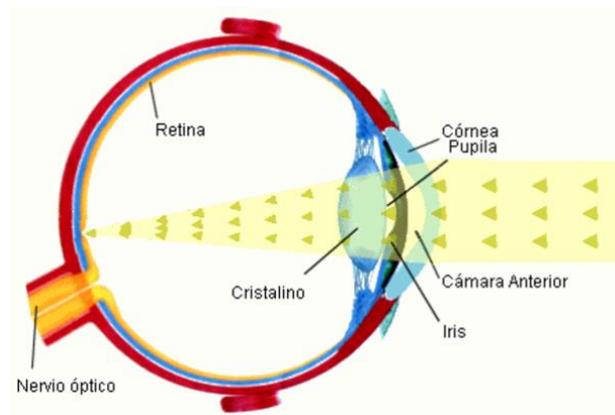


Figura 1.9. Partes del ojo humano.
Fuente: [18]

La información RGB obtenida por el ojo es enviada directamente hacia el cerebro para ser analizada por millones de neuronas especializadas y bien distribuidas en capas. La primera capa es la encargada de detectar los bordes de las imágenes, las capas siguientes detectan los contornos, profundidad y movimiento [18].

b) Visión artificial

Dentro de la visión artificial por computadora se han de desarrollado diversas técnicas para obtener las dimensiones de objetos contenidos en una imagen plana. En sus inicios se utilizaron métodos basados en las perspectivas geométricas de las imágenes con el objetivo de obtener una representación en dos dimensiones de un volumen determinado mediante cálculos matemáticos y de esta manera reconstruir el objeto en tres dimensiones únicamente con imágenes planas. Sin embargo, esta técnica requiere de una gran cantidad de imágenes de entrada, lo cual genera un alto costo computacional [9].



Figura 1.10. Reconstrucción tridimensional con VA.
Fuente: [19]

Existen diferentes técnicas aplicadas dentro de los sistemas de visión artificial, dentro de los cuales podemos destacar las técnicas para obtención de información tridimensional y las técnicas de reconstrucción tridimensional, a continuación, se describen cada una de ellas.

c) Técnicas de lectura 3D

Dentro de las técnicas de lectura 3D también se pueden clasificar considerando el tipo de información obtenida o la por la forma de obtener dicha información.

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de las técnicas de digitalización 3D, tanto las que requieren contacto con el objeto deseado como las que no requieren de contacto [20].

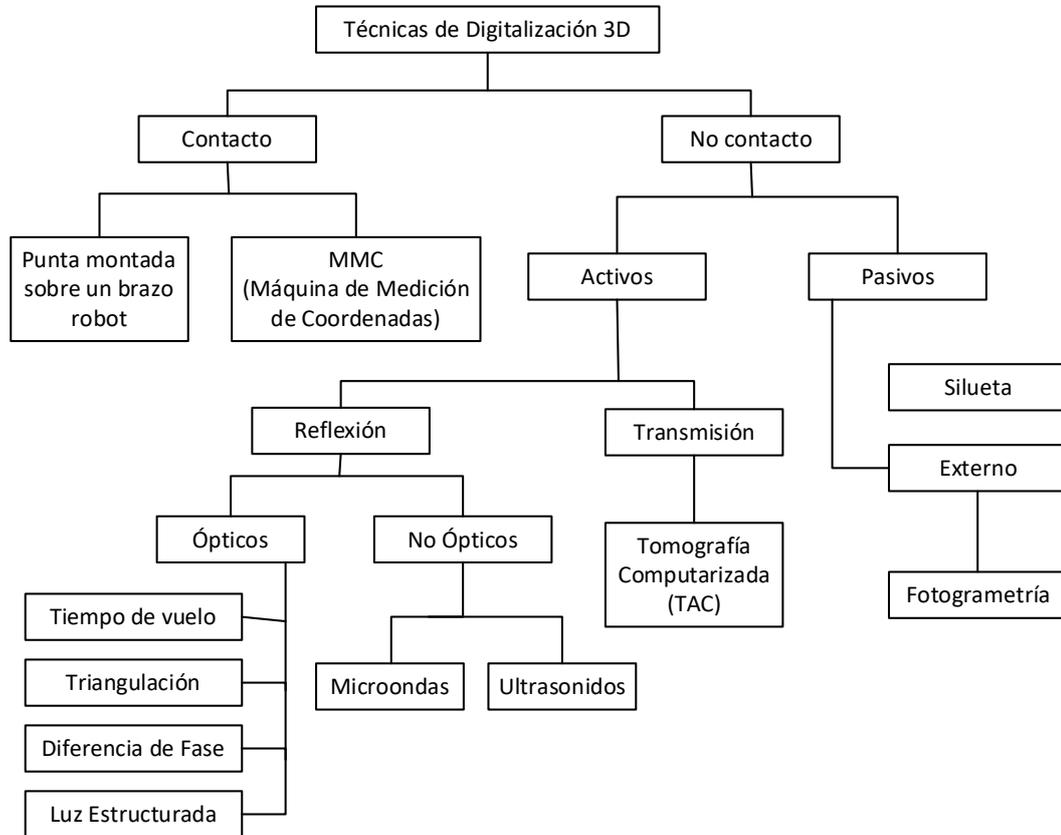


Figura 1.11. Técnicas de digitalización 3D.

Fuente: [9]

➤ Luz estructurada

Consta de 3 elementos que son el patrón de luz, sistema de detección y el procesamiento de los datos obtenidos. Una cámara es ubicada frente al objeto que se desea, una fuente de iluminación emite un patrón de luz que se ve deformada por la superficie del objeto, esta deformación es captada y procesada [20]. En la siguiente imagen se muestra ese proceso.

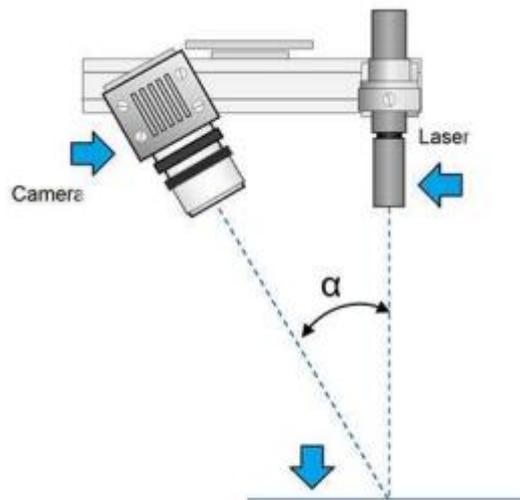


Figura 1.12. Técnica de luz estructurada en VA.
Fuente: [20]

➤ **Conocimiento de escena**

Utilizando una imagen en dos dimensiones (2D) de un objeto conocido y la calibración de la cámara utilizada, se puede obtener información tridimensional (3D) muy precisa. De esta manera se puede determinar la relación existente entre el objeto en la fotografía 2D y su profundidad con la escena. Esta técnica es económica en costo computacional y equipos, pero se quiere conocer previamente todas las medidas del objeto deseado, en muchos de los casos esto no es posible [20]–[22].

➤ **Análisis de la textura**

Utilizando un análisis de textura se puede obtener información sobre la inclinación de la superficie de interés, para lo cual se requiere una ubicación dentro de una imagen en 2D. Esta técnica es muy económica pero la resolución es muy pobre [20].

d) Técnicas de reconstrucción tridimensional

Ahora se realizará un análisis de las técnicas utilizadas para reconstrucción tridimensional, vivimos en un mundo dinámico en donde suceden hechos en las dimensiones horizontal, vertical y en profundidad. Sin embargo la variable de profundidad no puede ser captada por las cámaras en una imagen 2D, por lo tanto, existen diferentes técnicas que permite extraer esta información de un conjunto de escenas planas, las mismas que se describen a continuación:

➤ Técnica “Shape-from-X”

Una de las técnicas más utilizadas para la reconstrucción tridimensional de un objeto o escena es la llamada “*shape-from-X*”. Esta técnica fue propuesta en 1983 y consiste en la selección de una silueta u objeto deseado dentro de una imagen digital y mediante intersecciones de esta silueta con una secuencia de imágenes obtenidas desde diferentes puntos de vista se puede generar un objeto tridimensional. Este proceso se divide en dos partes:

- Obtener las especificaciones de vista de la primera imagen.
- Extraer coordenadas de la silueta en la primera imagen.
- Obtener las especificaciones de vista de la segunda imagen.
- Extraer coordenadas de la silueta en la segunda imagen.
- Determinar la línea en los dos puntos de vista.
- Renderizar los puntos alrededor de la línea manteniendo la perpendicularidad.
- Unir y enlazar los planos generados.

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de Shape-from-X en la primera aproximación.

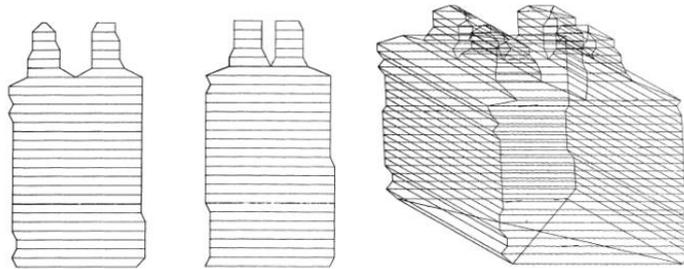


Figura 1.13. *Shape-from-X* primera aproximación.

Fuente: [9]

Para mejorar los resultados de la primera aproximación se deben emplear más imágenes desde más puntos de vista para refinar la forma del objeto tridimensional, repitiendo los pasos anteriores. En la siguiente imagen se muestra el resultado de la aplicación de un ajuste de volumen empleando más puntos de vista [9].

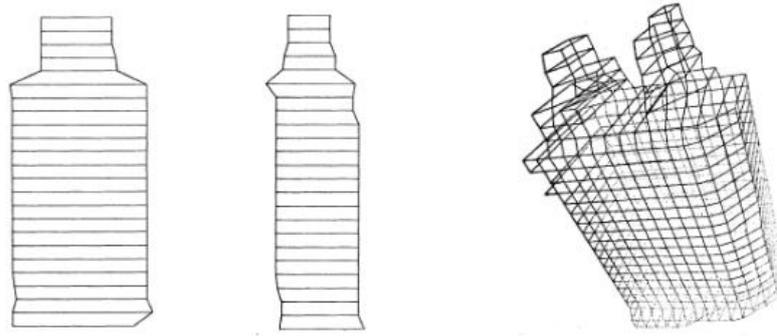


Figura 1.14. *Shape-from-X* resultado con cuatro vistas.

Fuente: [9]

➤ **Técnica “Visual hull”**

La técnica antes mencionada no es suficiente para reconstruir un objeto en tres dimensiones, especialmente de aquellos que tienen formas no convexas. Para esto se tiene la técnica de Visual Hull o cascada visual que consiste en la obtención en un envoltorio de todos los posibles conos circunscritos en el objeto que se desea reconstruir. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de esta técnica [9].

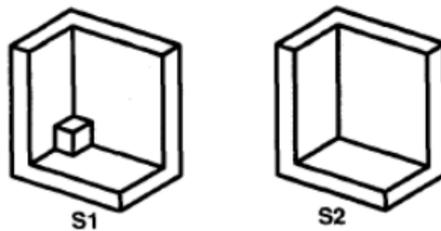


Figura 1.15. S1 y S2 son indistinguibles utilizando siluetas.

Fuente: [9]

Existen métodos para mejorar los resultados de renderizado y reconstrucción 3D a partir de una aproximación “a través del tiempo”, la misma que consiste en incrementar el número de siluetas efectivas, haciendo girar al objeto sobre una base acoplada a un motor y capturar imágenes con una sola cámara cada instante de tiempo [23]. En la siguiente figura se muestra la captura de varias imágenes en distintas ubicaciones de un mismo objeto.

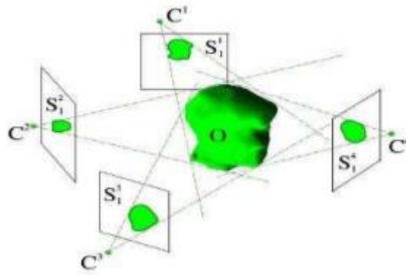


Figura 1.16. Cálculo de Visual Hull a partir de siluetas.
Fuente: [23]

➤ Algoritmos Deep Learning

La reconstrucción 3D de objetos mediante la adquisición de imágenes digitales en 2D y técnicas de aprendizaje requiere de algoritmos tipo redes neuronales que utilizan una base de datos de entrenamiento y así mejoran su eficiencia. Entonces, este proceso se puede clasificar en base a dos criterios que son:

- El tipo de entrada a la red: las entradas al sistema de Deep Learning pueden ser a través de una imagen del objeto, una secuencia de imágenes obtenidas desde diferentes ángulos o puede ser un video del objeto deseado. Además, en este criterio se pueden ingresar otros datos como siluetas, imágenes de profundidad, entre otros.
- Presentación de la salida: el segundo criterio se relación con la representación del volumen del objeto generado, este puede ser mediante cuadrículas de vóxeles con un alto consumo computacional, representación en superficies mediante nube de puntos, mallas o se puede representar al objeto utilizando imágenes a color RGB y el volumen a estimar como mapas de profundidad. En la siguiente imagen se puede observar claramente un ejemplo de este criterio [9].

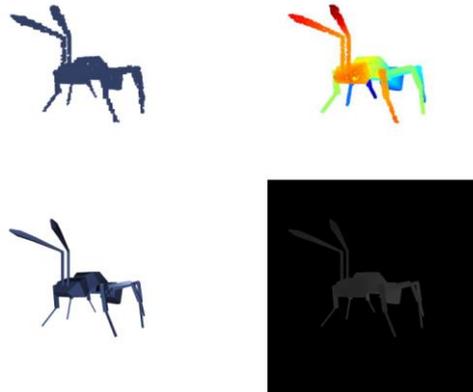


Figura 1.17. Diferentes criterios de salida del Deep Learning.
Fuente: [9]

Las redes neuronales tienen una propuesta para reconstrucción 3D basado en autoencoders, este tipo de arquitectura consta de dos diferentes redes: una dedicada a la compresión de la información de entrada en un vector mediante un conjunto de capas de convolución y una segunda red que genera una salida a partir de un vector mediante el proceso de convolución inversa. En este caso se utiliza una secuencia de imágenes planas a la cual se le aplica una convolución en 2D y la salida se trata de una convolución inversa en 3D por medio de la cual se genera un volumen tridimensional, como se muestra en la siguiente figura [24].

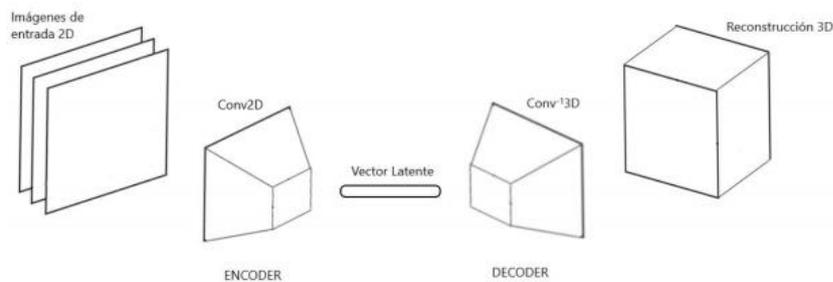


Figura 1.18. Arquitectura de reconstrucción basada en autoencoders.
Fuente: [9]

1.2.3 Ingeniería Concurrente

La ingeniería concurrente hace referencia a una metodología de trabajo que involucra diferentes áreas simultáneamente para obtener un producto terminado, se debe considerar que las diferentes áreas involucradas en este proceso son únicamente las necesarias para fabricar dicho producto. Uno de los principales objetivos de la ingeniería concurrente es reducir las actividades de diseño del producto y tiempos del proyecto aplicando todas las actividades del proceso de

producción simultáneamente [25]. Hoy en día, el diseño y construcción de modelos analíticos se ha simplificado debido a la utilización del diseño CAD, técnicas de ingeniería (CAE) y de manufactura CAM asistidos por computadora.

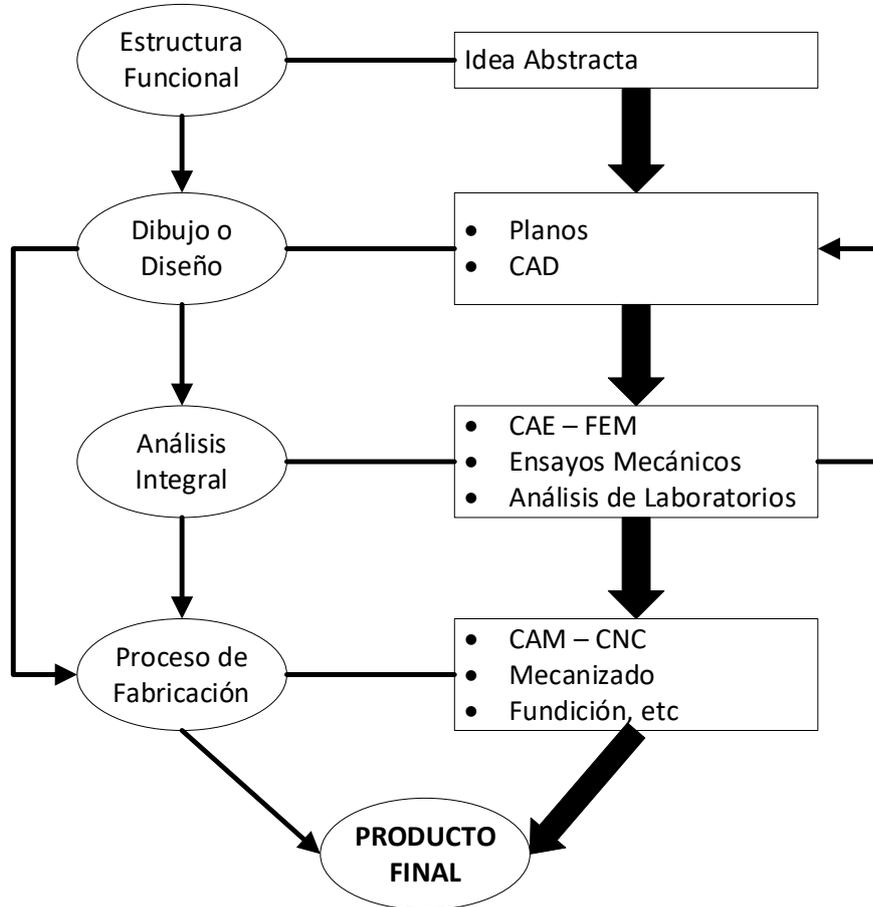


Figura 1.19. Diagrama de flujo de la ingeniería concurrente.

a) Estructura funcional

La estructura funcional es la etapa inicial de un proceso de diseño de ingeniería, previo a un proceso de construcción. Esta etapa comienza con la identificación de una necesidad, problema y la decisión por buscar una solución adecuada utilizando herramientas computacionales. Las probabilidades de éxito o de generación de un diseño exitoso depende de las habilidades de la persona, es decir, las fuentes personales de creatividad, experiencia, habilidad y destreza para resolver problemas son factores muy importantes en esta etapa.

Los autores Dym et al. (2005) define al diseño de ingeniería como: “El diseño de ingeniería es un proceso sistemático e inteligente en el que los diseñadores generan, evalúan y especifican conceptos para dispositivos, sistemas o procesos cuya forma y función logran los objetivos de los clientes o las necesidades de los usuarios al tiempo que satisfacen un conjunto específico de restricciones” [26].

b) Dibujo y diseño (CAD)

El diseño asistido por computadora CAD por sus siglas en inglés Computer Aided Design, busca obtener las propiedades y geometría del objeto que se desea dibujar y diseñar de acuerdo al diagrama de la figura 1.21, además esta etapa de la ingeniería permite probar de una manera más rápida y precisa el diseño de estructuras mecánicas. Toda la información generada por los softwares CAD puede ser exportada, impresa, almacenada o enviada a una empresa [27].

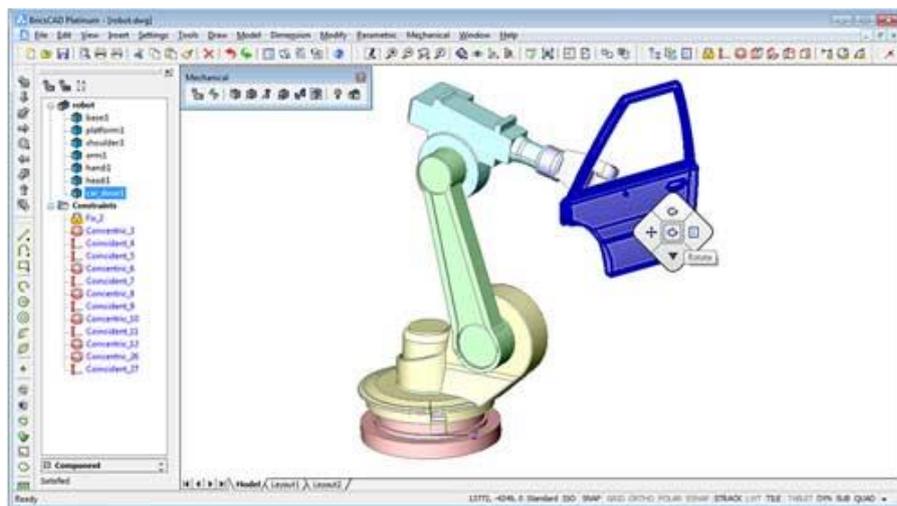


Figura 1.20. Ejemplo de un diseño CAD.
Fuente: [27]

c) Análisis integral (CAE)

La Ingeniería Asistida por Computador CAE (Computer Aided Engineering), son softwares que permiten realizar análisis matemáticos, simulaciones de la estructura o mecanismos diseñados y de esta manera probar el correcto funcionamiento de una manera precisa y rápida de acuerdo al diagrama de la figura 1.21. Además, se puede considerar la utilización de cargas fijas o fluctuantes en el tiempo, así como también

temperaturas variables. Otra característica del CAE es que se puede optimizar los diseños existentes para mejorar su rendimiento, resistencia, capacidad entre otras características de los objetos diseñados [27].

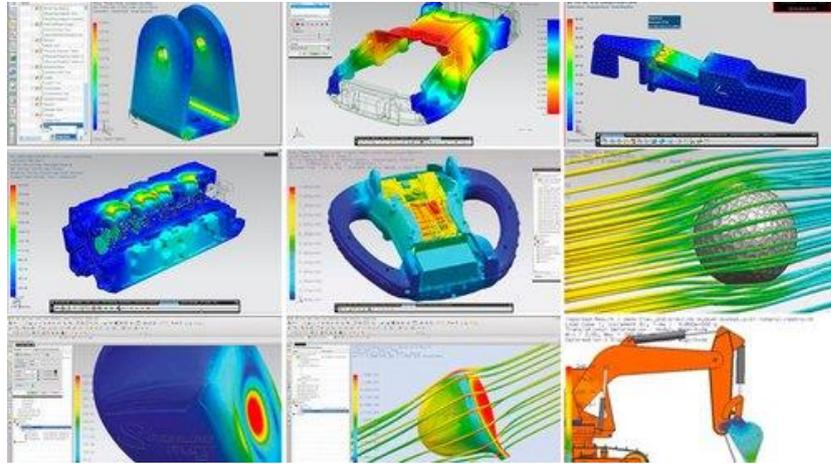


Figura 1.21. Ejemplo de los análisis CAE.
Fuente: [27]

d) Procesos de fabricación (CAM)

La presencia de los computadores dentro del proceso CAM, Manufactura Asistida por Computador (Computer Aided Manufacturing), facilita la elaboración de los productos requeridos, a través del control de máquinas herramientas CNC (Control Numérico por Computador). Las maquinas CNC funcionan controlando las coordenadas de posición de un punto (herramienta que trabaja el producto) respecto a un origen (posición de la máquina), es decir se trabaja con una especie de GPS aplicado a las herramientas de mecanizado. En la siguiente imagen se puede observar un ejemplo de fresado CNC [27].

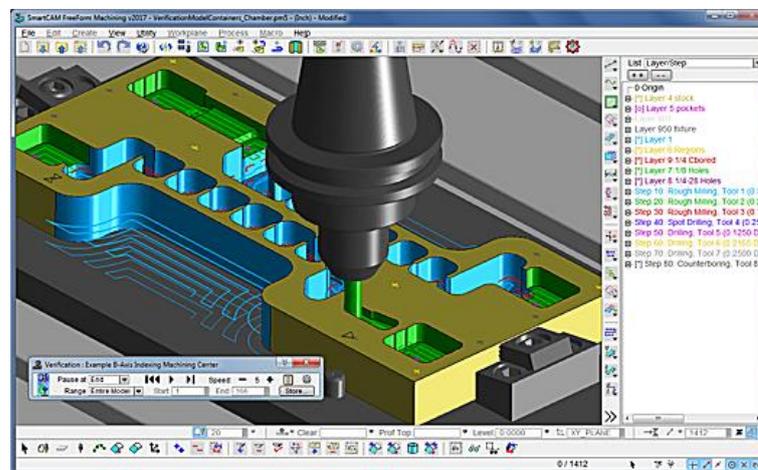


Figura 1.22. Ejemplo de manufactura CAM.
Fuente: [27]

1.2.4 Aspectos generales de manufactura

Los procesos de manufactura consisten en crear de manera rápida una réplica tridimensional de un diseño desarrollado previamente mediante una aplicación CAD. El proceso consiste en la introducción de una serie de coordenadas matemáticas, creadas en un software para diseño mecánico CAD/CAM. Además, el prototipado rápido sirve para tener un objeto real de una determinada pieza antes de proceder a la elaboración de la pieza definitiva. Dentro del prototipado rápido podemos definir algunas técnicas que son: Estereolitografía (SLA, Stereolithography), sinterización selectiva por láser (SLS, Selective Laser Sintering), fabricación por corte y laminado (LOM, Laminater Object Manufacturing) y la técnica más conocida en los últimos años de deposición de hilo fundido (FDM, Fused Deposition Modeling) [28].

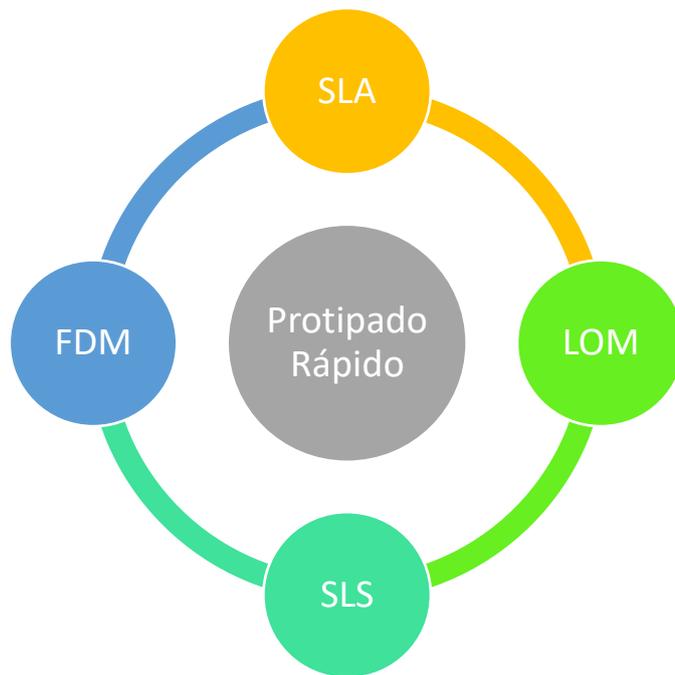


Figura 1.23. Técnicas de prototipado rápido.

a) Modelado por deposición fundida (FDM)

El método más utilizado en la impresión 3D es el denominado de deposición fundida (FDM). Este proceso de fundición consiste en la selección de un material base que puede ser el ácido poliláctico (PLA) o el acrilonitrilo butadieno (ABS), el

material se calienta a una temperatura aproximada de 190 a 210 °C dependiendo de las propiedades mecánicas del material, en este proceso se utiliza un cabezal extrusor. Posteriormente a la etapa de calentamiento el extrusor expulsa el plástico caliente capa por capa y deposita en forma gradual sobre la mesa de trabajo. Además, este método utiliza la tecnología de fabricación por filamentos fusionados (FFF sus siglas en inglés Fused Filament Fabrication) [29].

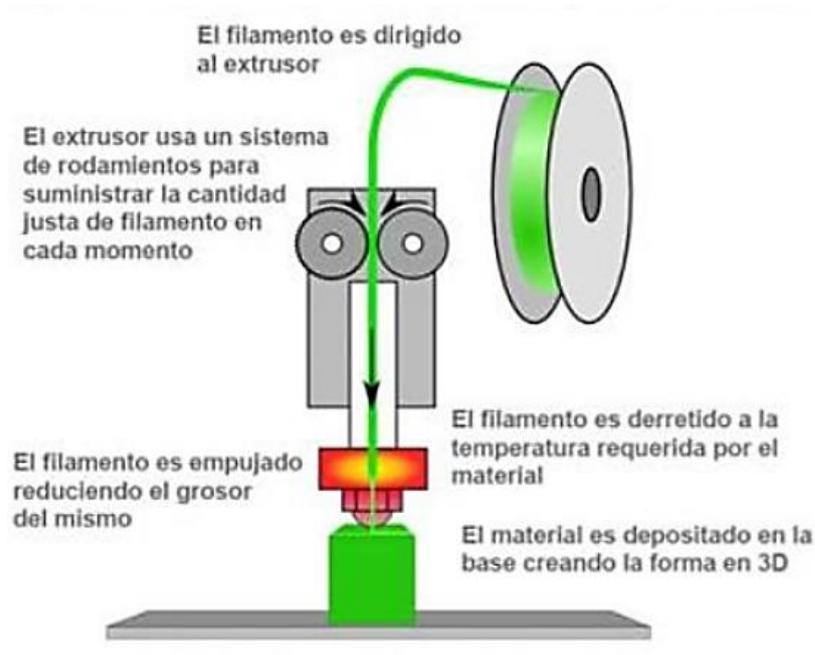


Figura 1.24. Proceso de impresión 3D.
Fuente: [29]

b) Impresión 3D

En esta sección se busca la materialización de los objetos empleando los archivos generados por un software CAD a este proceso se le conoce como CAM. Entre los beneficios de estos sistemas podemos indicar que permiten mejorar procesos de diseño, personalizando objetos, reducción de costos de producción y la manufactura puede ser aplicada a formas o figuras complejas. Actualmente la impresión 3D se ha convertido en una importante herramienta tecnológica para fabricar rápidamente piezas tridimensionales, en la siguiente tabla podemos ver las tecnologías que se han creado para este propósito [30].

Tabla 1.2. Tecnologías de Impresión 3D

| | |
|--|---|
|  | <p>Aditivas: Se basan en la superposición de un material, capa a capa, hasta llegar a la forma final de la pieza</p> |
|  | <p>Sustractivas: Son las que, a partir de un bloque sólido de material, extraen el exceso para dar forma a la pieza final. Por su funcionamiento existe un gran número de morfologías que no es posible realizar con esta técnica (por ejemplo, piezas monolíticas huecas)</p> |
|  | <p>Por Conformado: A través de una serie de transformaciones sobre el material, este se modela en función de la forma buscada utilizando fuerza y moldes.</p> |
|  | <p>Híbridas: Combinan dos o más de estas tecnologías. Por ejemplo, adoptan la adición de capas de materia, a las cuales luego se les sustraen las partes inútiles</p> |

Fuente: [30]

En referencia a las tecnologías de impresión para el estudio de este proyecto se enfocará en la fabricación aditiva que en la actualidad es una de las más versátiles y accesibles. Este tipo de impresión 3D permite elaborar prácticamente cualquier tipo de objeto, sin importar su geometría, a partir de la deposición de material capa por capa [31]. A la tecnología conocida como Fabricación Aditiva o Additive Manufacturing (AM), como se conoce internacionalmente, consiste, básicamente, en manipular material a escala micrométrica y depositarlo de forma muy precisa para construir un sólido. Mediante las tecnologías aditivas (AM) se obtiene la geometría añadiendo material a partir de geometría virtual, sin uso de preformas (técnicas conformativas) y sin sustraer material (técnicas sustractivas), tal como se indica en la siguiente imagen [32].



Figura 1.25. Tipos de impresión 3D.
Fuente: [32]

La adición de capas de material (AM), es el proceso de fabricación que permite trabajar con las siguientes ventajas: complejidad geométrica personalización del proceso de diseño y desarrollo del producto. Al referirse a la complejidad geométrica, podemos obtener ciertas características como, espesor variable, formas irregulares, vaciados interiores, son propiedades muy poco relevantes al momento de fabricar un objeto, sin encarecer el proceso. La personalización del diseño permite fabricar objetos iguales, esta personalización en masa es uno de los paradigmas que persigue la industria en países desarrollados y que se considera clave para su sostenibilidad [32]. En la Tabla tenemos un resumen de las ventajas y limitaciones de la fabricación aditiva.

Tabla 1.3. Ventajas y limitaciones de la fabricación aditiva (AM).

| Ventajas | Limitaciones |
|--|---|
| Complejidad geométrica, personalización Libertad creativa Adaptación al mercado Acceso a nuevos nichos de mercado Mecanismos integrados Reducción de peso, productos aligerados Reducción del time to market Reducción de costes de procesos intermedios Procesos híbridos | Tecnologías AM en desarrollo Procesos periféricos y auxiliares Desconocimiento de los diseñadores Disponibilidad y coste de la materia prima Acabado superficial Velocidad de fabricación Calidad del producto y repetibilidad del proceso Tamaño limitado de piezas |

Fuente: [30]

1.2.5 Materiales de Impresión

La selección de materiales juega un papel muy importante y este se encuentra inmerso en el desarrollo de nuevos productos o la mejora de productos actuales. En el mundo de los engranajes los materiales de manufactura más utilizados son los metálicos, es sobre este tipo de material se realizan los respectivos cálculos de diseños y construcción. Es en este último tiempo que los engranajes plásticos están presentes ya en diversos tipos de mecanismos en diversas aplicaciones en la industria, oficina y el hogar, debido a las ventajas que ofrece. Los engranajes plásticos se usan fundamentalmente en mecanismos de precisión donde se transmite una baja potencia, sin embargo, hoy en día se puede llegar a potencias de alrededor de 50 KW. Esta potencia se va en incremento debido al surgimiento de nuevos materiales.

Tabla 1.4. Materiales termo-plásticos y termo-estables.

| TERMO-PLÁSTICOS | TERMO-ESTABLES |
|--------------------------------------|-------------------------|
| ABS(Acrylonitrile-butadiene-styrene) | Alquídicos |
| Acetal | Alilos |
| Acrílico | Amino (urea y melamina) |
| Celulósicos | Resinas epóxicas |
| Fluoro plásticos | Resinas fenólicas |
| Nylon | Poliéster |
| Poliamidas | Poliuretano |
| Policarbonato | |
| Poliéster | |
| Poliestireno | |
| Poliuretano | |
| Cloruro de polivinilo (PVC) | |

Fuente: [29]

Entre las ventajas de estos engranajes se pueden citar el bajo peso e inercia, no requiere lubricación, bajo ruido, compatibilidad con medios hostiles a los engranajes metálicos, posibilidad del uso del código de colores en los procesos de ensamblaje y bajo costo. Sin embargo, estos engranajes también tienen sus desventajas, como ineficiencia a elevadas temperaturas, intolerancia a agentes

químicos en el ambiente y baja resistencia. Actualmente podemos encontrar una diversidad de materiales para el diseño de engranajes plásticos, sin embargo, los podemos agrupar solamente en dos grupos que son los: termo-plásticos y los termo-estables [29].

1.3 Conclusiones del capítulo I

- En la literatura citada, se hace referencia general a los tipos de técnicas existentes para la adquisición de imágenes y los procesos de reconstrucción tridimensional de un objeto con bajo costo computacional. También se muestra una breve revisión historia del avance de las fotocopiadoras.
- Las fotocopiadoras han evolucionado a través del tiempo con el objetivo de brindar una mayor rapidez y calidad a la hora de realizar una copia de documentos. Al interior de una fotocopiadora existe un sinnúmero de mecanismos y componentes, de los cuales no se tienen la suficiente información; de ahí la necesidad del estudio teórico y experimental propuesto en este documento.
- Las técnicas de prototipado rápido con impresión 3D son de gran importancia dentro de un proceso CAD/CAE/CAM ya que permiten comprobar las propiedades físicas de una pieza, analizar su comportamiento estático y dinámico, además que nos permite tener una representación física en un corto tiempo.

CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología propuesta para dar solución a los objetivos planteados está basada en los lineamientos generales del método científico. A continuación, se describen las etapas del proceso:

- Estructura funcional
- Dibujo y Diseño con aplicaciones CAD
- Análís Integral con CAE
- Proceso de Fabricación CAM y CNC

2.1 Estructura funcional

Siguiendo la metodología hipotética deductiva se da inicio a la primera fase de investigación que comprende un estudio exploratorio de las fotocopiadoras Ricoh Serie 8000 seguido de una investigación selectiva aplicada a los diferentes mecanismos que contienen estas fotocopiadoras, posteriormente se realizó una identificación de los engranes más adecuados para ser replicados digitalmente sus características geométricas mediante herramientas computacionales. Utilizando la Tabla 2.1 y observación directa se obtendrán las medidas de los engranes.

Tabla 2.1. Medidas de los engranajes.

| | Engranaje 1 | Engranaje 2 | | Engranaje n |
|------------------|-------------|-------------|-------|-------------|
| Diámetro Externo | | | | |
| Diámetro Interno | | | | |
| Numero Dientes | | | | |
| Espesor | | | | |
| Longitud | | | | |

2.1.1 Características técnicas

La modalidad aplicada es experimental porque el propósito de esta fase de investigación es determinar adecuadamente los engranes que pueden ser construidos con las tecnologías de prototipado rápido con impresoras 3D. Mediante las técnicas de Evaluación Multicriterio se procede a la selección de los engranajes, estas técnicas sirven para otorgar peso a las diferentes opciones que se dispone y

facilita la toma de decisiones. En este caso se utilizará el método denominado Proceso Analítico Jerárquico, (Analytical Hierarchy Process- AHP) [33]. En la siguiente tabla se puede observar los ítems requeridos para el proceso de selección de los engranes, siguiendo los lineamientos del AHP.

Tabla 2.2. Ponderación de los engranes.

| | Forma | Color | Espesor | Soporte | Tamaño |
|-----------|--------------|--------------|----------------|----------------|---------------|
| Engrane 1 | | | | | |
| Engrane 2 | | | | | |
| | | | | | |
| Engrane n | | | | | |

Se utiliza un rango de valoración de 1 a 5 donde:

- 1 = Muy Malo
- 2 = Malo
- 3 = Normal
- 4 = Bueno
- 5 = Muy bueno

Los criterios utilizados son:

- **Forma:** Se hace referencia a la morfología del engranaje analizado.
- **Color:** Se analiza el contraste del color del engrane con un fondo negro.
- **Espesor:** Se considera el espesor del engrane.
- **Soporte:** Se identifica la necesidad de utilizar material de soporte durante la impresión.
- **Tamaño:** Este ítem se relaciona con la resolución de la impresora 3D utilizada.

2.2 Dibujo y Diseño con aplicaciones CAD

En este proceso se pueden distinguir los siguientes pasos: la adquisición de imágenes, una etapa de preprocesado donde se extraen las características geométricas del engrane, posteriormente sigue la etapa de reconstrucción tridimensional; finalmente se genera un archivo STL del engrane compatible con impresoras 3D. En el siguiente diagrama de flujo se puede observar el proceso de digitalización de una imagen plana para generar un objeto tridimensional.

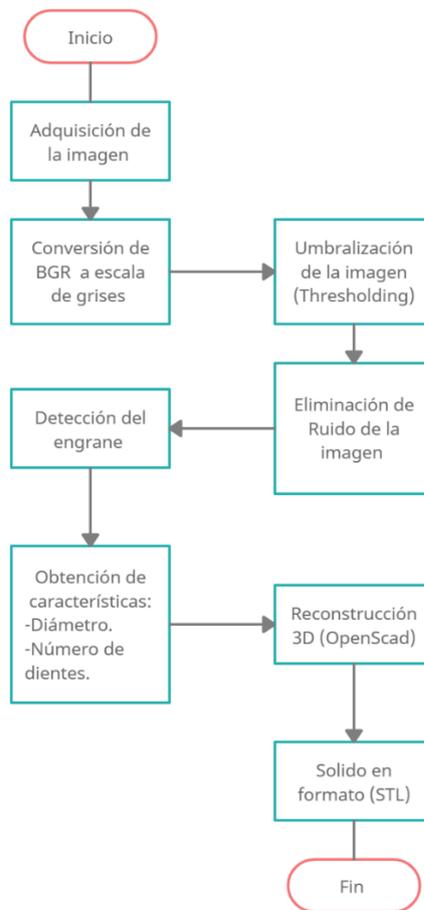


Diagrama de flujo de la adquisición de imágenes.

2.2.1 Digitalización de la imagen

Antes de iniciar con el proceso de adquisición de imágenes, se requiere de una caja metálica con un fondo negro mate e iluminada con luces led para obtener unas imágenes de calidad y constantes durante el proceso de reconstrucción tridimensional. En la siguiente imagen se muestra el diseño de la caja metálica.

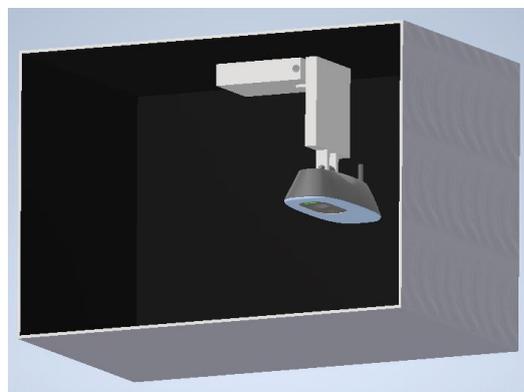


Figura 2.1. Diseño de la caja metálica.

Para la obtención de las características físicas de los engranes se aplica visión artificial con la ayuda de una biblioteca de software libre, la cual proporciona herramientas y librerías optimizadas en tiempo real enfocadas en el procesamiento de imágenes. Se debe considerar la utilización de una cámara web con una resolución mínima de 1920 x 1080 HD con conexiones USB.

a) Adquisición de la imagen

Primero se enciende e inicializa la cámara para obtener una captura del engrane deseado, esta corresponde a la imagen original.

b) Conversión de BGR a escala de grises

Dependiendo de las características que se desean obtener de la imagen, se transforma desde un formato BGR a escala de grises.

c) Umbralización de la imagen (Thresholding)

La umbralización permite segmentar los engranes y separarlos del fondo de la imagen, convirtiendo la imagen de escala de grises a una que únicamente contiene dos estados, o también llamada binaria.

d) Eliminación de ruido de la imagen

Para la eliminación de ruido se aplicará una erosión seguida de una dilatación, posteriormente se debe aplicar nuevamente la erosión de la imagen para mejorar los resultados.

e) Detección del engrane

Una vez que la imagen es procesada se adquiere el contorno exterior del engrane, seguido de una verificación de áreas, esto sirve para evitar que el algoritmo se enfoque en áreas erróneas.

f) Obtención de características

Para el cálculo de las características físicas del engrane se realiza una relación entre los píxeles y la medida real del engrane en función del diámetro exterior del mismo obtenido mediante visión artificial. Al mismo tiempo se aproxima el engrane a una forma con menos vértice para tener un conteo y determinar el número de dientes.

g) Desarrollo HMI

Para un adecuado control de la aplicación desarrollada de visión artificial se debe elaborar una interfaz Hombre – Máquina (HMI) utilizando un software libre. Este software permitirá el desarrollo de interfaces gráficas con mayor facilidad, además se puede generar un archivo para su ejecución y edición. Desde esta interface se puede mantener el control sobre el encendido/apagado de la cámara, visualización de las características físicas del engrane, además se podrá generar engranes de forma manual ingresando los datos de diámetro, número de dientes y espesor del engrane.

h) Reconstrucción tridimensional

La selección de los softwares para la implementación del sistema de reconstrucción tridimensional de engranes en base a imágenes planas (2D) se basó en el Código Orgánico de Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, Artículo 142.- Tecnologías Libres, en donde se especifica que los estándares abiertos son formas de manejo y almacenamiento de los datos y una adecuada utilización de estos medios fortalece el crecimiento tecnológico del Ecuador.

Entonces, basado en la información mencionada se opta por la utilización del software *Python* para el procesamiento de imágenes, *OpenScad* para la reconstrucción tridimensional del engrane y generación de un archivo STL. *Qt Designer* para el desarrollo de una interface de usuario.

2.3 Análisis integral con CAE

El análisis CAE del engrane reconstruido en 3D se enfoca en la realización de un estudio estático utilizando las características mecánicas de tres diferentes polímeros que son PLA, ABS y PETG.

2.3.1 Análisis estático

Utilizando un software CAE se procede a realizar una conversión del objeto tridimensional generado desde un formato STL a un archivo sólido. Se debe considerar que el formato STL corresponde solamente a una representación del objeto utilizando triángulos y descartando colores, es muy utilizado en el proceso de prototipado rápido.

El análisis estático consiste en la colocación de una fuerza perpendicular sobre los dientes del engranes, esta fuerza corresponde al torque del motor que se encuentra acoplado al eje que produce el movimiento del mecanismo de fotocopiado. Se utilizan elementos de restricción como sujeciones fijas ubicados en el centro del engrane para simular el efecto de transmisión de movimiento y la reacción de los elementos acoplados al mecanismo.

El estudio estático tiene como objetivo determinar el esfuerzo máximo de Von Mises del engrane con cada uno de los polímeros bajo la acción de la misma fuerza, así como también se obtiene el desplazamiento máximo y el factor de seguridad necesario para garantizar un buen funcionamiento del engrane. Se debe considerar un factor de seguridad para engranes plásticos entre 1 y 1.7 según lo detalla en [34]. Por último, se realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos para determinar el polímero con mejores resultados.

2.4 Proceso de fabricación CAM y CNC

El proceso de fabricación mediante prototipado rápido se puede definir como la manera más rápida de obtener una réplica exacta tridimensional de un diseño realizado en software CAD. Esta etapa de fabricación CAM inicia con una selección del método más adecuado de prototipado rápido, realizando una comparación técnica económica entre los métodos SLA, SLS y FDM de impresión 3D.

Una vez seleccionado el método adecuado se realiza una impresora 3D del engrane reconstruido en 3D, dentro de este proceso experimental se pudo validar el correcto funcionamiento de todo el sistema de adquisición de datos y modelado CAD. Los procesos de impresión 3D tiene una serie de parámetros que afectan directamente las medidas del engrane, así como también la calidad, acabado y resistencia a esfuerzos, dentro de los parámetros más importantes se tiene:

2.4.1 Espesor de capa

Este parámetro de las impresoras 3D afecta directamente a la geometría y mecánica de una pieza, es decir, cuando se tiene un menor espesor se obtienen una calidad muy alta con buena resistencia, en cambio a un mayor espesor la calidad es baja al

igual que a resistencia, pero los tiempos de impresión son más rápidos. En la Figura 2.2 se puede observar los efectos del espesor de capa.

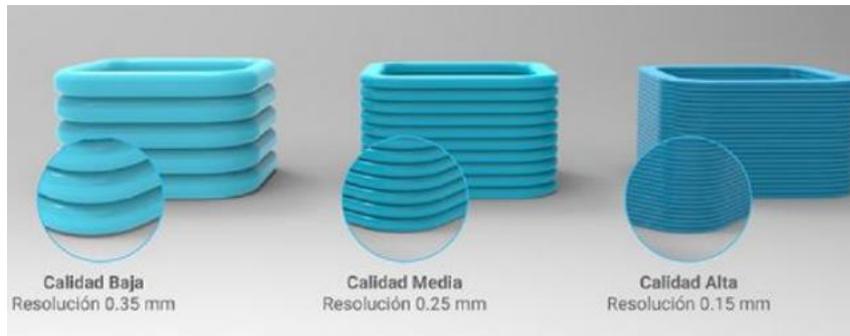


Figura 2.2. Espesor de capa en impresión 3D.
Fuente: [12]

2.4.2 Densidad de relleno

El porcentaje de relleno se conoce como el espacio vacío existente dentro de una pieza de impresión 3D, este valor puede ser desde 0% hasta un 100% que correspondería a una pieza totalmente sólida. La configuración de este parámetro depende de la aplicación de la pieza a ser impresa, en este caso se debe considerar el material gastado y el tiempo de impresión para una adecuada configuración de la máquina.

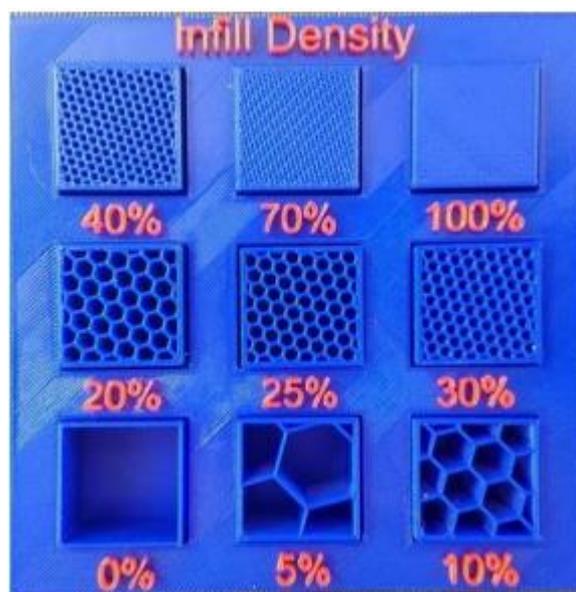


Figura 2.3. Densidad de relleno en impresión 3D.
Fuente: [12]

2.4.3 Cantidad de capas superior e inferior

La cantidad de capas superior e inferior son complementos de soporte para la pieza de impresión en el plano (x,y), esto indica la cantidad de capas solidas que tendrá la pieza al inicio y al final de la impresión.

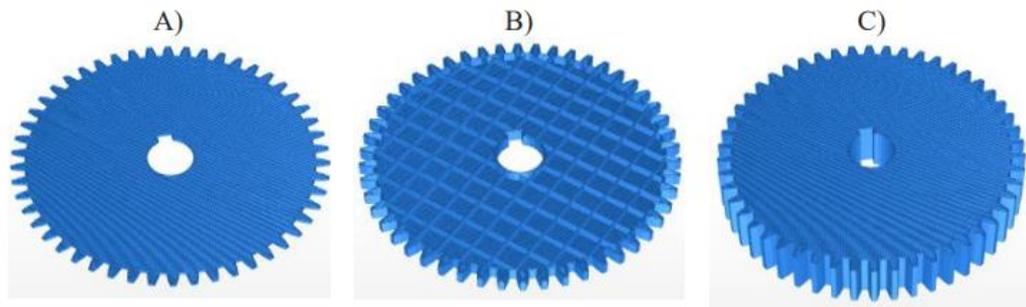


Figura 2.4. Densidad de relleno en impresión 3D.

Fuente: [12]

2.5 Conclusiones del capítulo II

- El proceso de adquisición y procesamiento de imágenes desarrollado en el software libre Python, se ha planteado considerando la medida del diámetro externo, diámetro interno, espesor y número de dientes de los engranes que componen el mecanismo de fotocopiado.
- El análisis estático propuesto para determinar el comportamiento del engrane utilizando diferentes polímeros como PLA, ABS y PETG debe tener en cuenta el torque del motor que acciona su movimiento dentro de la fotocopiadora. Además, se plantea un análisis de las técnicas de impresión 3D como SLS, SLA y FDM para construir el engrane copiado.
- Quedan expuestas las técnicas experimentales y los métodos necesarios para desarrollar la investigación, caracterización y obtención de las propiedades físicas de los engranes plásticos de la fotocopiadora Ricoh Serie 8000.

CAPITULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Análisis fotocopiadora Ricoh

Los engranes encontrados en la fotocopiadora Ricoh Serie 8000 con sus características técnicas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.1. Engranajes de Ricoh Serie 8000.

| | Engrane 1 | Engrane 2 | Engrane 3 | Engrane 4 | Engrane 5 |
|------------------|---|---|---|---|---|
| Características |  |  |  |  |  |
| Diámetro Externo | 17.2 mm | 19.3 mm | 31 mm | 16 mm | 16 mm |
| Diámetro Interno | 6 mm | 6 mm | 6 mm | 10 mm | 6 mm |
| Numero Dientes | 20 | 17 | 29 | 18 | 18 |
| Espesor | 5 mm | 6 mm | 6 mm | 6 mm | 6 mm |
| Longitud | 0 | 0 | 0 | 26 mm | 7 mm |

Elaborado por: Mayo, Edison

Aplicando las técnicas AHP de la Tabla 2.2 se procede a realizar una ponderación de los engranes encontrados, como se muestra a continuación:

Tabla 3.2. Ponderación de los engranes.

| | Forma | Color | Espesor | Soporte | Tamaño |
|------------------|-------|-------|---------|---------|--------|
| Engrane 1 | 4 | 5 | 5 | 1 | 4 |
| Engrane 2 | 5 | 5 | 4 | 1 | 5 |
| Engrane 3 | 5 | 5 | 4 | 1 | 5 |
| Engrane 4 | 1 | 5 | 1 | 5 | 2 |
| Engrane 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 |

Elaborado por: Mayo, Edison

Se calcula el promedio de todos los índices asignados a los engranes para determinar los que tienen mayor posibilidad de replicar sus características geométricas con la técnica desarrollada.

$$Indice = \frac{forma + color + espesor + soporte + tamaño}{5}$$

En la Tabla 3.3 se puede observar el índice promedio obtenido por cada uno de los engranajes.

Tabla 3.3. Índice promedio de cada engrane.

| | Índice Promedio |
|------------------|------------------------|
| Engrane 1 | 3.8 |
| Engrane 2 | 4 |
| Engrane 3 | 4 |
| Engrane 4 | 2.8 |
| Engrane 5 | 3.2 |

Elaborado por: Mayo, Edison

En la siguiente grafica se aprecia el índice promedio de cada engrane, siendo los engranajes 1, 2 y 3 los que tienen una mayor probabilidad de ser replicados.

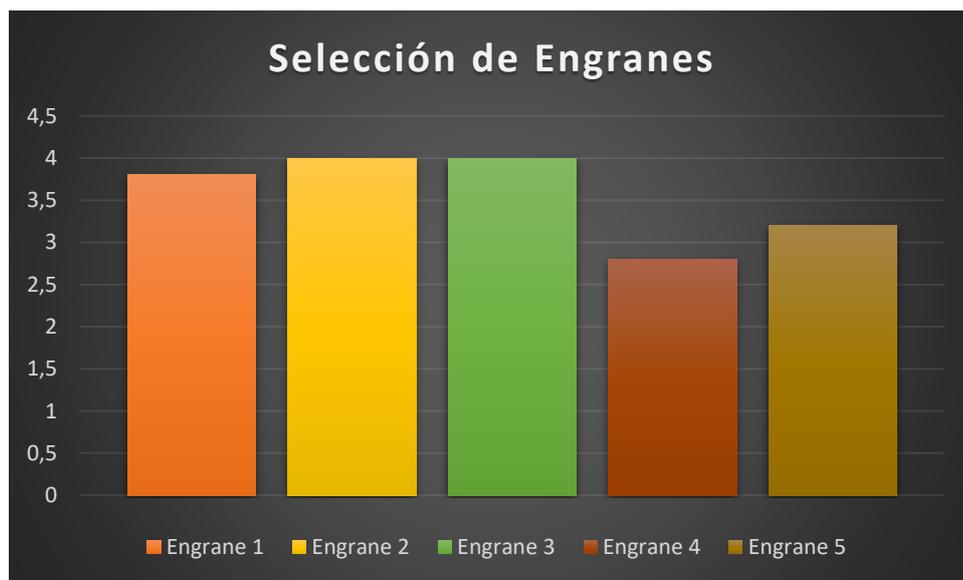


Figura 3.1. Índice promedio de replicación de engranes.

Elaborado por: Mayo, Edison

3.2 Digitalización de la imagen

Se requiere de una cámara web de alta resolución para detectar de manera precisa los contornos de los engranes, considerando que existen engranes con un diámetro externo de aproximadamente 19 mm y un número de dientes igual a 17. En la siguiente tabla se muestra una comparativa de las cámaras que cumplen con los parámetros establecidos.

Tabla 3.4. Tipos de cámaras.

| | Opción 1 | Opción 2 | Opción 3 |
|----------------------------|---|--|---|
| |  |  |  |
| Resolución | 1920 x 1080 HD | 1080 x 720 HD | 1080 x 720 HD |
| Interfaz | USB 2.0 / Wifi | USB 2.0 | USB 2.0 / 3.0 |
| Obturador | Automático | No | No |
| Zoom Digital | 5x | 4x | 5x |
| Software Compatible | Windows, Mac, Ubuntu, PS4. | Windows, Mac, Ubuntu, PS4. | Windows, Mac, Ubuntu, PS4. |
| Costo | 60 | 80 | 120 |

Elaborado por: Mayo, Edison

Se opto por la utilización de la opción 1 por su bajo costo y buenas características de funcionamiento. Esta opción corresponde a una Webcam marca Logitech de 1920 x 1080 pixeles HD.

3.2.1 Adquisición de imágenes

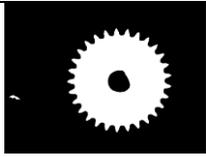
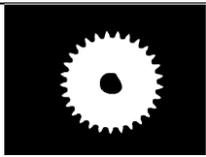
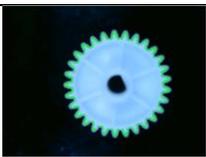
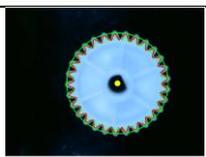
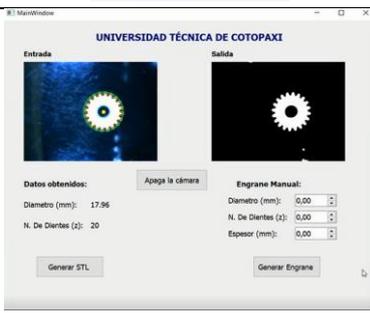
La caja diseñada tiene las medidas de 21 x 14.5 x 13.2 cm de largo, ancho y alto, respectivamente; en el Anexo 1 y Anexo 2 se puede observar los planos correspondientes a la caja. Además, cuenta con un sistema de encendido y apagado mediante un switch, también cuenta con una conexión universal de 12 voltios para el encendido de las luces led. En la siguiente imagen se muestra el diseño de la caja metálica de visión artificial.



Figura 3.2. Caja metálica de visión artificial.
Elaborado por: Mayo, Edison

Las etapas de adquisición y procesado de imágenes, así como la obtención de las características físicas de los engranes seleccionados se muestran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Resultados del procesamiento de imágenes.

| Proceso | Resultado |
|---|---|
| Adquisición de la imagen Original. |  |
| Conversión de BGR a escala de grises. |  |
| Umbralización a un valor de 150 pixeles. |  |
| Eliminación de ruido o etapa de filtrado de la imagen. |  |
| Detección del contorno del engrane para áreas superiores a 5000 pixeles. |  |
| Determinación de numero de dientes con constante épsilon 0.005. |  |
| Interface desarrollada para controlar el sistema de visión artificial y la reconstrucción tridimensional de engranes. |  |

Elaborado por: Mayo, Edison

3.2.2 Mediciones obtenidas

En la siguiente imagen se muestra 150 datos obtenidos del engrane numero 1 con el sistema de visión artificial. Utilizando un calibrador manual se determinó que este engrane tiene un diámetro de 17.2 mm.

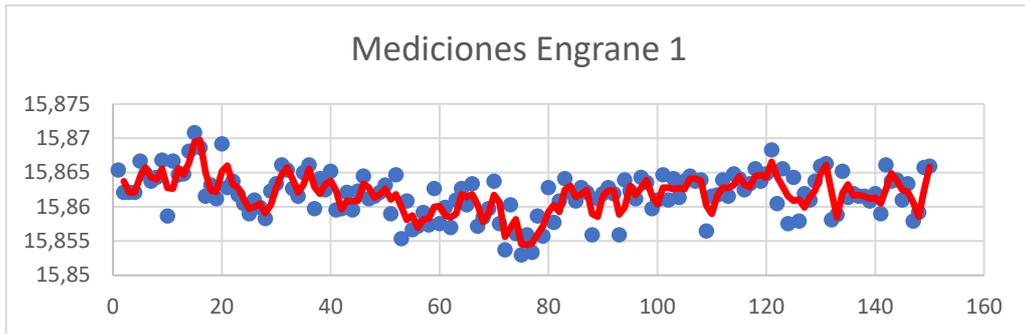


Figura 3.3. Datos de dispersión del diámetro del engrane 1.
Elaborado por: Mayo, Edison

El engrane número 2 tiene un diámetro externo de 19.3 mm y la gráfica de dispersión se muestra a continuación para un total de 150 datos.

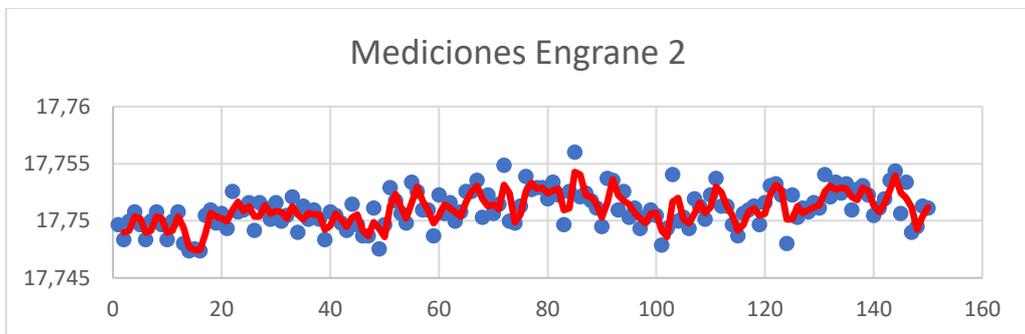


Figura 3.4. Datos de dispersión del diámetro del engrane 2.
Elaborado por: Mayo, Edison

Por último, se tiene el engrane número 3 con un diámetro externo de 31 mm y el siguiente diagrama de dispersión corresponde a las medidas obtenidas.

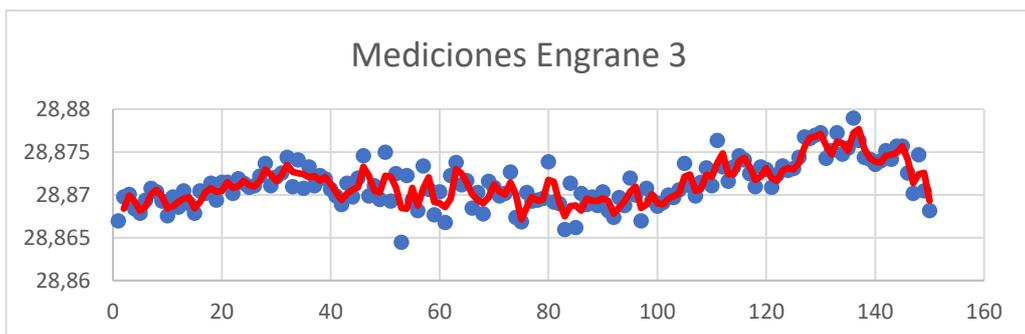


Figura 3.5. Datos de dispersión del diámetro del engrane 3.
Elaborado por: Mayo, Edison

Se aplica el operador matemático de convolución para mejorar la respuesta del algoritmo de detección de contornos y cálculo de diámetro externo de cada engrane. La convolución consiste en modelar el efecto de un sistema lineal invariante en el tiempo sobre la señal de entrada, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$(a * v)[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} a[m]v[n - m]$$

Además, se aplica un redondeo para los valores medidos con un decimal. Los resultados de las mediciones de cada engrane a continuación:

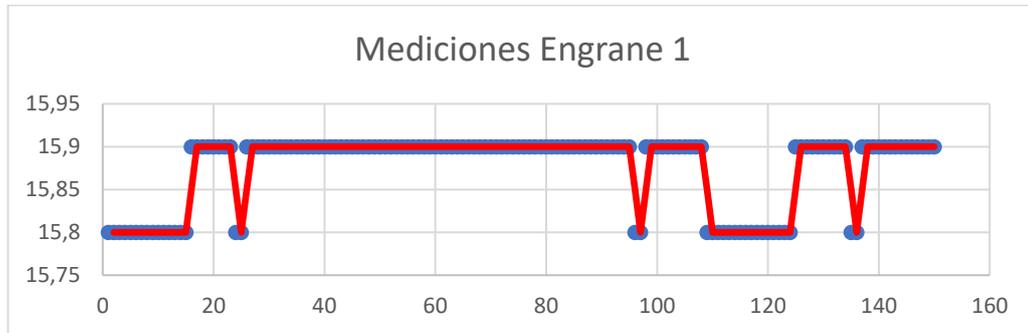


Figura 3.6. Convolución aplicada a los datos 1.

Elaborado por: Mayo, Edison

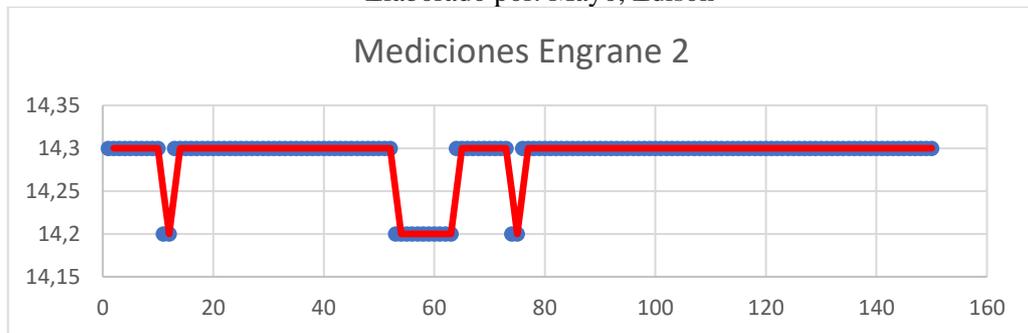


Figura 3.7. Convolución aplicada a los datos 2.

Elaborado por: Mayo, Edison

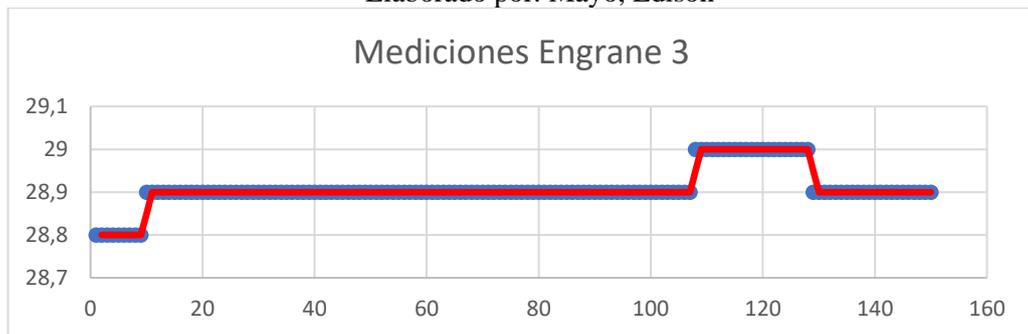


Figura 3.8. Convolución aplicada a los datos 3.

Elaborado por: Mayo, Edison

3.2.3 Reconstrucción tridimensional

OpenScad: es un software de código abierto y de desarrollo de sólidos CAD, consta de un compilador 3D basado en un lenguaje de descripción textual. Este software utiliza la biblioteca de algoritmos de geometría computacional CGAL, también

cuenta con librerías para determinar intersecciones, diferencias o sumas de Minkowski. Puede generar archivos en ficheros 2D como DXF, SVG, en 3D los ficheros AMF, OFF, STL y también imágenes tipo en formatos png. En la siguiente imagen se muestra una imagen del software [35].

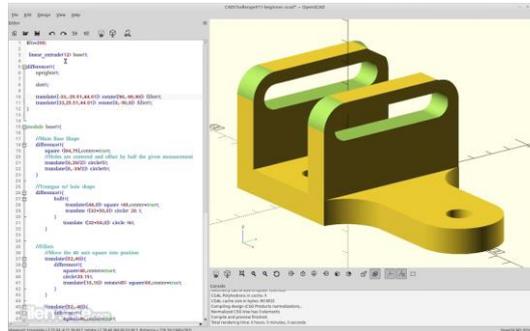


Figura 3.9. Software OpenScad.
Fuente: [35]

El software desarrollado en Python se comunica mediante las librerías “*SOLID*” con el software OpenScad en donde se procede a generar un engrane tridimensional con las características técnicas obtenidas del proceso de digitalización que son diámetro externo, diámetro interno, número de dientes y espesor. En la siguiente imagen se puede observar la reconstrucción del engrane 1 con un número de dientes de 20 y un diámetro externo de 17.2 mm:

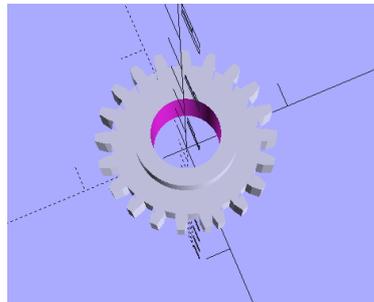


Figura 3.10. Reconstrucción del engrane de 17.2 mm de diámetro.
Elaborado por: Mayo, Edison

La reconstrucción del engrane 2 tiene los parámetros de 17 dientes y un diámetro externo de 19.3 mm, el espesor de cada uno de los engranes es constantes en 6 mm. El diámetro interno para los tres casos es de 6 mm, en la siguiente imagen se puede observar el engrane en 3D.

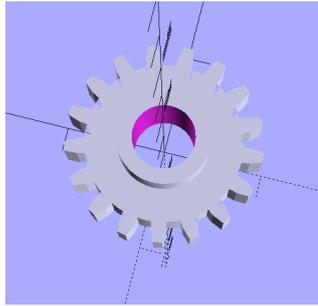


Figura 3.11. Reconstrucción del engrane de 19.3 mm de diámetro.
Elaborado por: Mayo, Edison

El engrane numero 3 tiene un diámetro externo de 31 mm y 29 dientes, en la siguiente imagen se muestra la reconstrucción tridimensional de este engrane.

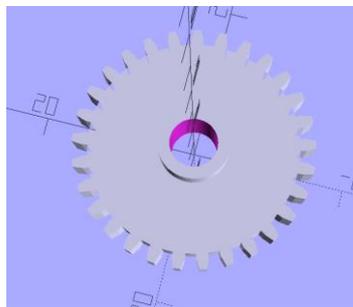


Figura 3.12. Reconstrucción del engrane de 31 mm de diámetro.
Elaborado por: Mayo, Edison

3.3 Análisis mecánico estático

El análisis estático puede aplicarse únicamente a objetos tridimensionales sólidos, por lo tanto, se requiere de una conversión de formatos de STL a solido del engrane.

3.3.1 Conversión a solido

El software utilizado en este caso es Autodesk Fusion 360 con licencia de prueba educativa, se importa la malla correspondiente al engrane reconstruido por el sistema de visión artificial, como se muestra en la siguiente imagen:

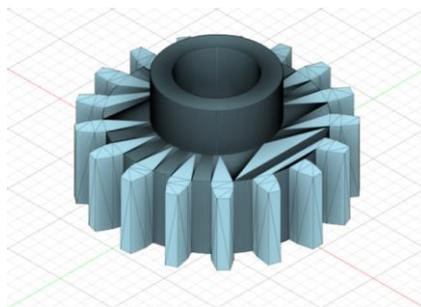


Figura 3.13. Malla importada en Fusion 360.
Elaborado por: Mayo, Edison

La generación de grupo de caras se realizó con un umbral de ángulo de 25 deg y un tamaño mini de grupos de caras de 0.2 mm, obteniendo los siguientes resultados.

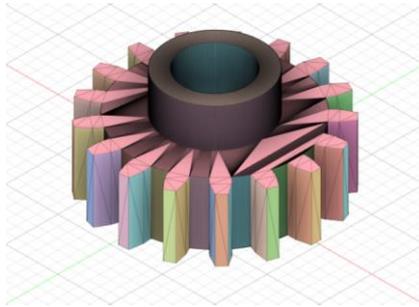


Figura 3.14. Creación de los grupos de caras.
Elaborado por: Mayo, Edison

Por último, se aplica la conversión de grupo de malla ha solido con un método de conversión prismático, este proceso se debe repetir para los engranes 2 y 3, respectivamente. En la siguiente imagen se puede observar el resultado de este proceso de conversión.

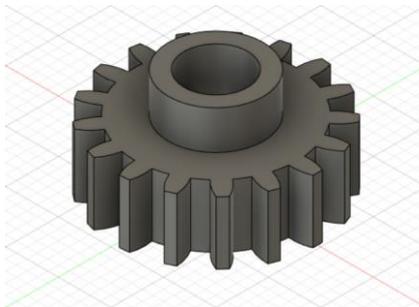


Figura 3.15. Engrane convertido en sólido.
Elaborado por: Mayo, Edison

3.3.2 Inventor

Inventor es un software desarrollado por la empresa Autodesk en el año de 1999, utiliza conceptos de diseño paramétrico durante el diseño de piezas mecánicas considerando dimensiones y restricciones, además se puede considerar propiedades mecánicas, geométricas, físicas, térmicas, etc.; que pueden ser modificadas en cada momento. Inventor utiliza la extensión de archivos IPT para piezas sólidas, los ensambles de varias piezas tienen una extensión IAM. Inventor cuenta con una extensión para generar planos de detalles y por último un entorno de presentación con extensión IPN [36]. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de Inventor.

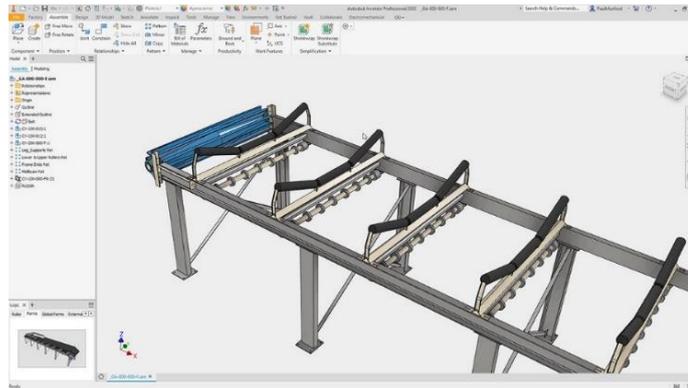


Figura 3.16. Software Inventor Autodesk.
Fuente: [36]

3.3.3 Elementos de sujeción

Para simular adecuadamente el comportamiento del engrane con la fuerza aplicada, se debe adicionar elementos de sujeción; en este caso se aplicó sujeciones fijas en el diámetro interno del engrane. En la siguiente imagen se muestra la ubicación de las restricciones en el engrane.

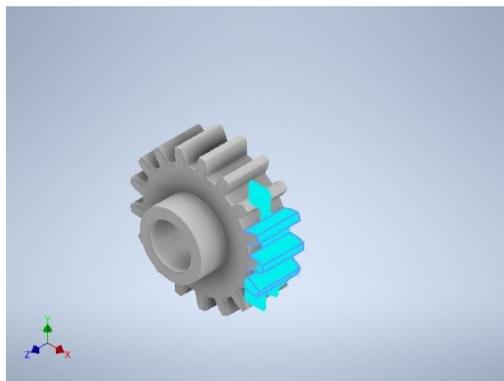


Figura 3.17. Puntos de sujeción del engrane.
Elaborado por: Mayo, Edison

3.3.4 Torque aplicado

El torque aplicado en las simulaciones se obtuvo directamente de los datos del motor a pasos que se acopla al mecanismo de fotocopiado, este valor es de 1.7 Nm. En la Figura 3.18 se puede observar el motor de la impresora Ricoh Serie 8000.



Figura 3.18. Motor a pasos del mecanismo de fotocopiado.
Elaborado por: Mayo, Edison

Utilizando las propiedades mecánicas de los polímeros PLA, ABS y PETG, descritos en la Tabla 3.6 se realizó el análisis estático de los engranes. Los resultados se encuentran ampliados en el Anexo 3, Anexo 4 y Anexo 5, respectivamente.

Tabla 3.6. Propiedades mecánicas del PLA, ABS y PETG.

| Cualidad | PLA | ABS | PETG |
|---|------------|------------|-------------|
| Densidad (g/cm ³) | 1,24 | 1,3 | 1,27 |
| Resistencia a tracción (MPa) | 37 | 27 | 50 |
| Resistencia a flexión (kg/cm ²) | 485 | 584 | 700 |
| Resistencia al impacto (KJ/m ²) | 20 | 30 | 105 |
| Temperatura de deformación (°C) | 55 | 90 | 85 |

Fuente: [37]

a) Tensión de Von Mises

La tensión de Von Mises es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión, dentro de ingeniería se utiliza esta tensión para comprobar las teorías de fallo y verificar el diseño para materiales dúctiles. En este caso se ha determinado que existe una tensión máxima de 0.341 MPa en uno de los dientes del engrane cuando se tiene un relleno del 100% en la pieza, para un relleno del 20% la tensión es de 11,54 MPa y con un relleno de 0% la tensión sube 67.66 MPa, en la siguiente imagen se puede observar los resultados obtenidos utilizando el material PLA

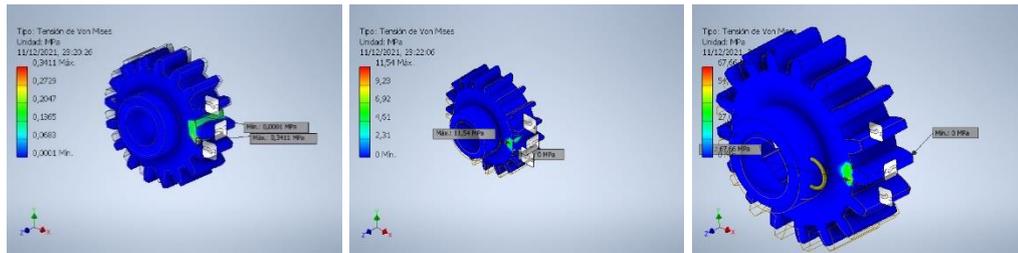


Figura 3.19. Simulaciones del engrane con 100%, 20% y 0% de relleno.
Elaborado por: Mayo, Edison

b) Desplazamientos

El desplazamiento generado por el torque de 1.7 Nm aplicado sobre el engrane con 100%, 20% y 0% de relleno fue de 0.0294 mm, 4.185mm y 7.548mm, respectivamente. En la siguiente imagen se puede apreciar los resultados de desplazamiento.

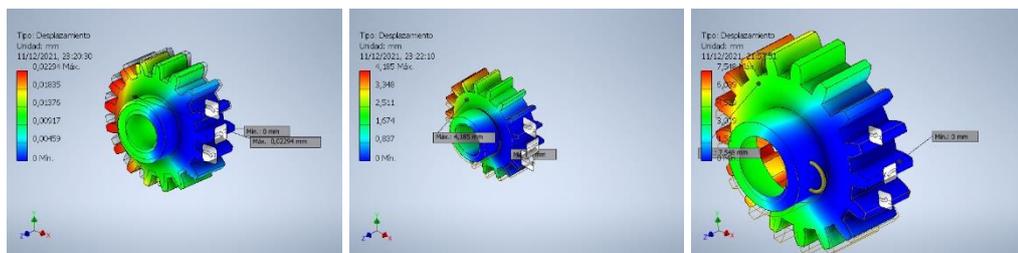


Figura 3.20. Desplazamiento del engrane en 100%, 20 y 0% de relleno.
Elaborado por: Mayo, Edison

c) Factor de seguridad

El factor de seguridad o coeficiente de seguridad es un factor que se utiliza en diseño mecánico para determinar el grado de seguridad de una determinada estructura o engrane, su valor es calculado con la capacidad máxima del sistema y el valor de fuerzas o pares ejercidos sobre el elemento mecánico. Se recomienda realizar diseños con un factor de seguridad mayor a 1.75 para garantizar un correcto funcionamiento. En el caso del engrane con un relleno del 100% se tiene un factor de seguridad mínimo de 15, lo que significa que la resistencia mecánica de este engrane es muy alta para el trabajo que debe soportar. El engrane con un relleno del 20% presentan un factor de seguridad de 4.57 y está dentro del rango permisible para su adecuado funcionamiento; sin embargo, el engrane con 0% de relleno tiene un factor de seguridad de 0.3 y lo convierte en un elemento inestable poco seguro.

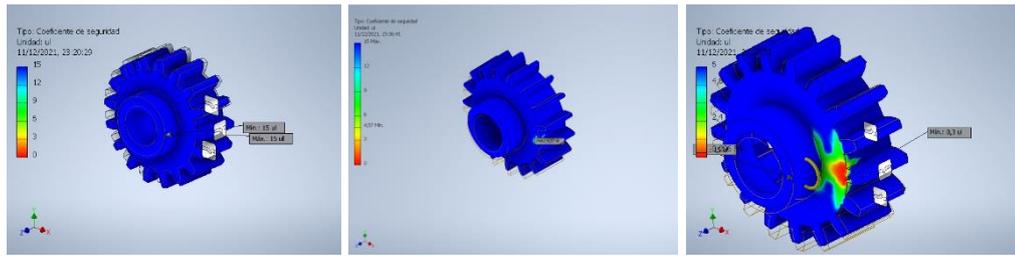


Figura 3.21. Factor de seguridad con 100%, 20% y 0% de relleno.
Elaborado por: Mayo, Edison

El resultado de las simulaciones utilizando los polímeros de PLA, ABS y PETG se pueden observar en el Anexo 6, Anexo 7 y Anexo 8.

d) Fuerza de ruptura

Se realizó un análisis mecánico utilizando un torque máximo de 2500 Nm para determinar la resistencia máxima del engrane, en este caso se pudo comprobar que el factor de seguridad mínimo es de 0.21. Esto significaría la destrucción del engrane, en la siguiente figura se muestra este resultado.

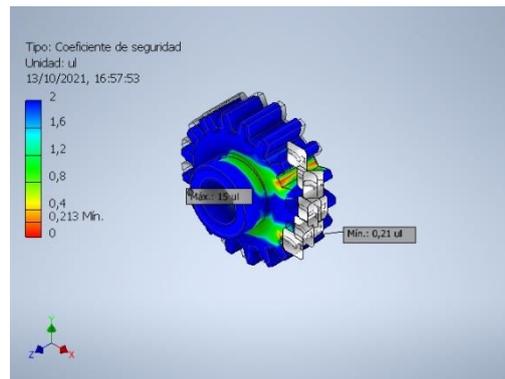


Figura 3.22. Factor de seguridad de ruptura.
Elaborado por: Mayo, Edison

e) Simulaciones con PLA, PETG y ABS

En esta sección se realiza una comparación de los resultados obtenidos durante estudio estático de esfuerzos aplicado al engrane, en la siguiente tabla se muestran los valores de tensión máxima de Von Mises, desplazamiento y el factor de seguridad utilizando un relleno del 20% en los materiales PLA, PETG y ABS.

Tabla 3.7. Resultados obtenidos para un engrane al 20% de relleno.

| Cualidad | PLA | ABS | PETG |
|-------------------------|------------|------------|-------------|
| Tensión Von Mises (MPa) | 11.54 | 11.38 | 11.51 |
| Desplazamiento (mm) | 4.185 | 4.182 | 4.094 |
| Factor de seguridad | 4.57 | 4.63 | 4.73 |

Elaborado por: Mayo, Edison

El resultado de las simulaciones utilizando los polímeros de PLA, ABS y PETG con un relleno del 0% se muestran a continuación:

Tabla 3.8. Resultados obtenidos para un engrane al 0% de relleno.

| Cualidad | PLA | ABS | PETG |
|-------------------------|------------|------------|-------------|
| Tensión Von Mises (MPa) | 67.69 | 67.66 | 67.63 |
| Desplazamiento (mm) | 7.548 | 13.75 | 13.48 |
| Factor de seguridad | 0.3 | 0.78 | 0.8 |

Elaborado por: Mayo, Edison

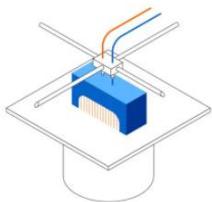
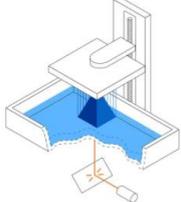
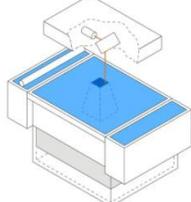
3.4 Manufactura CAM y CNC

El proceso de manufactura se realizó mediante la utilización de las técnicas de impresión 3D, existen diferentes métodos como SLS, SLA y FDM para realizar una pieza tridimensional.

3.4.1 Tecnologías de impresión 3D

La construcción de una pieza plástica mediante impresoras 3D depende de factores como: resolución, material consumible, temperatura, tiempo, costo, entre otros factores que pueden facilitar o dificultar la manufactura. En la siguiente tabla se realiza un análisis comparativo de los métodos más importantes de impresión 3D considerando estos parámetros.

Tabla 3.9. Tecnologías de impresión 3D.

| |  |  |  |
|-----------------------------|---|--|---|
| | FDM | SLA | SLS |
| Altura de capa | 0.1 a 0.3 mm | 0.025 a 0.3 mm | 0.11mm |
| Material | PLA, PETG, ABS, TPU, etc. | Resina | Polvo Nylon |
| Conectividad | USB, Wifi | USB, Ethernet, Wifi | USB, Ethernet, Wifi |
| Peso | 15 kg | 17.5 Kg | 140 Kg |
| Costo impresor | 1 500 dólares | 3 500 dólares | 25 000 dólares |
| Costo material | 25 dólares | 60 | 250 |
| Cantidad de material | 1 kg | 1 litro | 500 gr |
| Accesorios | No | No | Cámara de polvo |

Elaborado por: Mayo, Edison

De acuerdo con la Tabla 3.9 se decide optar por la utilización de la tecnología de impresión 3D por deposición fundida FDM, además el material requerido es muy económico y de fácil obtención en el mercado ecuatoriano. Entonces se utilizó una impresora 3D marca Formbot RAPTOR con un área de trabajo de 400 x 400 x 500 mm, como se muestra en la siguiente imagen.

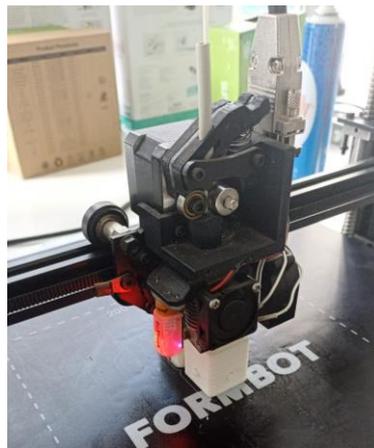


Figura 3.23. Extrusor de la impresora Formbot RAPTOR.

Elaborado por: Mayo, Edison

Los parámetros utilizados para la impresión 3D son los siguientes:

Tabla 3.10. Parámetros de impresión.

| Detalle | Valor |
|------------------------|---------|
| Tamaño de nozzle | 0.4 mm |
| Velocidad de impresión | 60 mm/s |
| Altura de capa | 0.1 mm |
| Relleno | 20 % |
| Espesor de pared | 1.2 mm |
| Diámetro de material | 1.75 mm |

Elaborado por: Mayo, Edison

Las impresiones realizadas mostraron excelentes resultados en lo que se refiere a calidad, acabado y resolución.

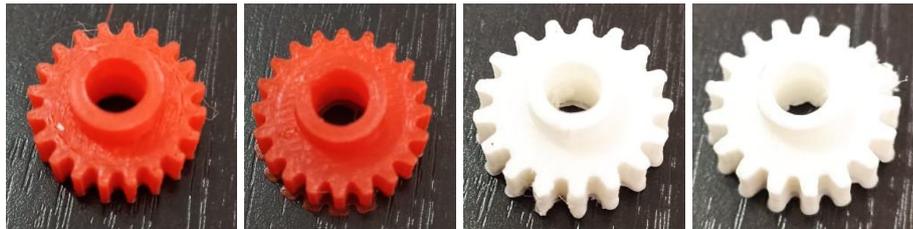


Figura 3.24. Impresión de engranes.

Elaborado por: Mayo, Edison

3.4.2 Mediciones reales vs datos obtenidos

Se realiza una validación de los datos obtenidos mediante la utilización de un calibrador o pie de rey, en la siguiente imagen se puede observar una comparación de los 3 casos que componen el proceso de reconstrucción tridimensional.

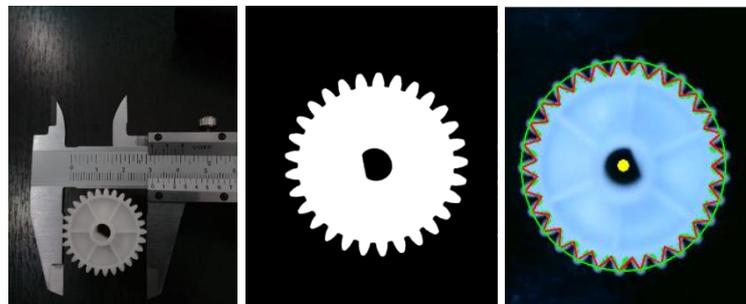


Figura 3.25. Comparación de medidas de un engrane.

Elaborado por: Mayo, Edison

En la siguiente tabla se muestran los valores de diámetro medido con el calibrador para el engrane número 1 igual 31 mm y los valores obtenidos del sistema de procesamiento de imágenes en 2D.

Tabla 3.11. Medidas de diámetro externo y el error obtenido.

| Diámetro en mm | | | |
|----------------|-----------|----------|------------|
| Imagen 1 | Diam Orig | Diam Med | Error_diam |
| 1 | 31 | 30.27 | 2.35 |
| 2 | 31 | 30.42 | 1.87 |
| 3 | 31 | 31.30 | 0.98 |
| 4 | 31 | 31.53 | 1.71 |
| 5 | 31 | 31.28 | 0.90 |
| 6 | 31 | 31.17 | 0.55 |
| 7 | 31 | 31.52 | 1.67 |
| 8 | 31 | 31.22 | 0.71 |
| 9 | 31 | 31.38 | 1.24 |
| 10 | 31 | 31.66 | 2.11 |

Elaborado por: Mayo, Edison

Aplicando la formula del error absoluto se puede mejorar y calibrar el funcionamiento del procesamiento de imágenes, a continuación, se muestra la formula aplicada para obtener el error en el diámetro externo:

$$error = \left| \frac{Valor\ real - valor\ medido}{Valor\ real} \right| * 100\%$$

La siguiente imagen muestra la variación del porcentaje de error obtenido en la medición del diámetro externo de los engranajes, en donde se puede observar un máximo error de 2.5% y un mínimo de 0.5% en esta etapa de digitalización y reconstrucción de engranajes.

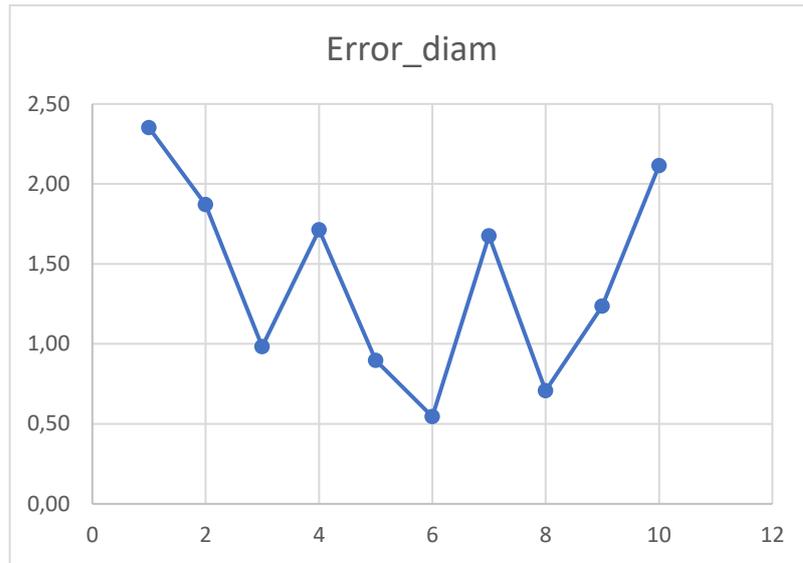


Figura 3.26. Error absoluto del diámetro externo.
Elaborado por: Mayo, Edison

3.5 Conclusiones del capítulo III

- Los engranes 1 y 2 son aquellos que cumplen con el proceso AHP de selección con un criterio promedio de 3.8 y 4, respectivamente. Es decir, estos dos engranes cumplen con los requerimientos para un proceso de reconstrucción tridimensional e impresión 3D.
- Con la implementación del sistema de visión artificial en una caja metálica de fondo negro mate con medidas de 21 x 14.5 x 13.2 cm, se demostró la adquisición de las propiedades físicas de un engrane plástico a través de una única imagen obtenida de la parte superior del mismo engrane. De esta manera se hace viable la implementación de todo un proceso de reconstrucción tridimensional.
- Se demostró que los polímeros utilizados en el análisis estático tienen un factor de seguridad superior a 3, esto quiere decir que pueden ser utilizados para construir este tipo de engrane. Cabe recalcar que en la teoría se especifica un factor de seguridad para engranes plásticos de 1.7.

CONCLUSIONES GENERALES

- El sistema de reconstrucción 3D con visión artificial propuesto en esta tesis permitió construir los engranes con sus propiedades geométricas, de la fotocopiadora Ricoh Serie 8000 que cumplen con el proceso analítico jerárquico AHP de la Tabla 2.2, con un margen de error en la medida del diámetro externo de 0.5% a 2.5% con respecto a una medición manual utilizando un calibrador pie de rey.
- Mediante la herramienta Open CV se pudo adquirir y procesar imágenes en 2D aplicando conversión RGB, binarización, umbralización, filtrado y eliminación de ruido. Pasos necesarios para la obtención de las propiedades físicas de los engranes como: diámetro externo, diámetro interno y número de dientes.
- El análisis CAE aplicado al engrane con los polímeros PLA, ABS y PETG, demostró que solamente es necesario utilizar el 20% de relleno en los engranes para obtener un factor de seguridad de 4.57, 4.63 y 4.73, respectivamente. El análisis se realizó para un torque de 1.7 Nm correspondiente al motor acoplado al mecanismo que mueve el engrane.
- Por último, se puede concluir que la tecnología más económica y eficiente es la de modelado por deposición fundida, aunque su resolución de capa es limitada de 0.1 mm a 0.3 mm. La tecnología 3D de mejor calidad es la SLS pero sus costos de fabricación son muy elevados, lo que hace imposible su aplicación para engranes de plástico.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de un sistema de adquisición y procesamiento de imágenes con dos o más cámaras web transmitiendo información en tiempo real. Aplicar técnicas de concatenado de imágenes para generar una reconstrucción tridimensional de forma eficaz.
- Se debe realizar un análisis del efecto de las características de la impresora 3D como: altura de capa, relleno, espesor de línea, etc.; sobre las medidas reales cuando se imprime una pieza, es decir, el porcentaje de error existente desde el diseño CAD hasta la pieza real CAM.
- Investigar sobre las nuevas tecnologías de reconstrucción 3D utilizando algoritmos evolutivos e inteligencia artificial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. Múnera, G. J. Lora, and J. Garcia Sucerquia, “Técnicas De Proyección De Franjas Y De Escaneo Láser Para La Reconstrucción 3D Y Generación De Archivos CAM De Piezas Dentales,” *Revista Colombiana de Física*, vol. 43, 2011.
- [2] D. Malacara Hernandez, “La Metrología Óptica y sus Aplicaciones,” *Acta Universitaria.*, vol. 15, no. 2, Feb. 2012.
- [3] D. Baron, M. Lino, S. Memoria, and F. Sanchez, “Fundamentos de Procesamiento de Imágenes Evento: CONATEC 2002,” *CONATEC 2002*, 2002.
- [4] J. Carro Suárez, F. Flores Salazar, I. Flores Nava, and R. Hernández CONATICO, “Industry 4.0 and Digital Manufacturing: a Design Method Applying Reverse Engineering,” *Ingeniería*, vol. 24, no. 1, pp. 6–28, 2018, doi: 10.14483/23448393.13821.
- [5] S. T. P. Ecuador, “Código de Ética del Gobierno Nacional – Secretaría Nacional de Planificación,” *planificacion.gob.ec*, 2021. https://www.planificacion.gob.ec/codigo-etica_gobierno/ (accessed Aug. 28, 2021).
- [6] A. King, R. Mursic, and D. Bufton, “Photocopier Remanufacturing at Xerox UK: An Environmental Impact Study,” *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, vol. 2006, pp. 739–748, Jun. 2008, doi: 10.1115/DETC2006-99241.
- [7] M. Xu, T. Shu, S. Chen, S. Wang, and S. Lan, “Competitive strategy and production strategy of the original equipment manufacturer and the third-party remanufacturer in remanufacturing,” <https://doi.org/10.1080/0951192X.2021.1946850>, 2021, doi: 10.1080/0951192X.2021.1946850.
- [8] Ó. A. Bertel García, C. A. Moreno González, and E. J. Toro Bello, “Aplicación de la transformada Wavelet para el reconocimiento de formas en visión artificial,” *Tekhnê*, vol. 6, no. 1, pp. 3–8, 2009.

- [9] G. Ignacio de la Puente, “RECONSTRUCCIÓN DE OBJETOS 3D EN BASE A IMÁGENES MEDIANTE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE PROFUNDO,” Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2020.
- [10] Y. D. Huillca Valdivia, “Reconstrucción de modelos digitales tridimensionales de objetos a partir de múltiples imágenes adquiridos automáticamente por una sola cámara,” Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, 2020.
- [11] Y. Valencia García, “Diseño de un producto industrial mediante técnicas de impresión 3D y nuevos materiales,” Universitat Politècnica de València, Valencia, 2020.
- [12] J. Romero Barreto, “Estudio del efecto de los parámetros de impresión en las propiedades geométricas de engranajes rectos fabricados por Modelado por Deposición Fundida (FDM),” UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, Bogotá, 2020. Accessed: Aug. 16, 2021. [Online]. Available: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21785>
- [13] R. M. Solow, R. K. Lester, and Dertouzos M. L., “LAS INDUSTRIAS DE LOS SEMICONDUCTORES, COMPUTADORAS Y COPIADORAS,” *Investigación Económica* , pp. 331–365, 1992, Accessed: Sep. 16, 2021. [Online]. Available: <https://www.jstor.org/stable/42842326>
- [14] Ricoh, “Impresora multifuncional ,” *Ricoh Imagine Change*, 2015. <https://www.ricoh.es/productos/impresora-oficina/impresora-multifuncional> (accessed Aug. 18, 2021).
- [15] Sapiensman, “Fotocopiadora,” *Sapiensman*, 2016. <http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/fotocopiadora.php> (accessed Oct. 08, 2021).
- [16] A. G. Pere Ponsa, “DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL,” Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, 2015.
- [17] R. Pallás Areny, *Adquisición y distribución de señales*. Barcelona: Marcombo, 1993. Accessed: Sep. 22, 2021. [Online]. Available: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=sYavwLA12k4C&oi=fnd&pg>

=PR11&dq=concepto+de+adquisici%C3%B3n+de+se%C3%B1ales&ots=TQXxIAXBqQ&sig=gLZR6vKJbsxkFThO-Ebl30UhZ8s#v=onepage&q=concepto%20de%20adquisici%C3%B3n%20de%20se%C3%B1ales&f=false

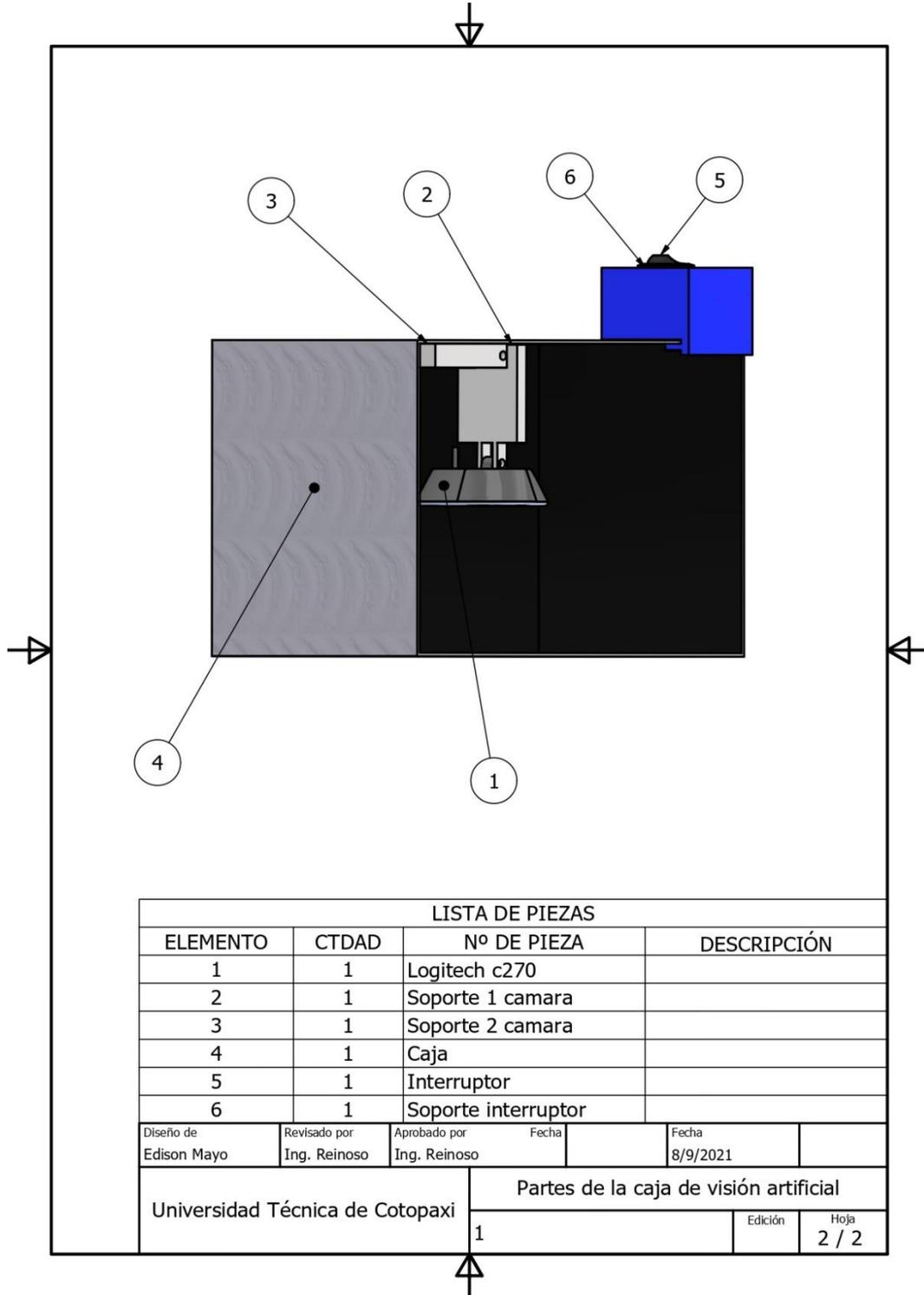
- [18] Sanabria S, John J, Archila D, and John F, “Detección y análisis de movimiento usando visión artificial,” *Scientia et Technica Año XVI*, vol. 49, pp. 180–188, 2011.
- [19] L. F. Camacho Rojas, “SISTEMA DE RECONSTRUCCIÓN 3D MULTICÁMARA,” León, 2013.
- [20] M. Ribera Vilaplana, “Análisis de la reconstrucción 3D mediante técnicas de Visión Artificial,” Valencia, 2021.
- [21] J. López Valles, A. Fernández Caballero, and M. A. Fernández, “Conceptos y técnicas de estereovisión por computador,” *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, vol. 9, pp. 35–62, 2005, Accessed: Sep. 17, 2021. [Online]. Available: <http://www.aepia.dsic.upv.es/>
- [22] S. Y. Paredes Dugarte and B. Hidalgo Prada, “El uso de la Interferometría Optica para evaluar corrosión por picadura en la aleación comercial de aluminio 3003,” *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Ma*, vol. 25, pp. 46–52, 2005, Accessed: Sep. 17, 2021. [Online]. Available: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522005000100006
- [23] R. Jalvo Peñín, “Técnicas de reconstrucción volumétrica en tiempo real y su aplicación a la detección de personas,” UNIVERSIDAD DE ALCALÁ, Alcalá, 2009.
- [24] E. Blanco Mallo, “Técnicas de deep learning para la caracterización de imágenes en sistemas de recomendación,” Universidade da Coruña, Coruña, 2019.
- [25] L. E. Escobar Luna and N. A. Ovando Burga, “Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Carrera De Ingeniería

- Mecánica,” 2018. [Online]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29865>
- [26] C. Dym, A. Agogino, O. Eris, and L. Leifer, “Engineering Design Thinking, teaching and learning,” *Journal of engineering education*, pp. 103–120, Jan. 2005.
- [27] K. Lee, “Principles of CAD/CAM/CAE Systems,” *New York: Addison-Wesley 1999*, 1999.
- [28] J. Sánchez Jiménez, A. Fernández de la Puente, and J. Geniz, “Técnicas de prototipado rápido.,” *XVI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*, pp. 20–28, 2004.
- [29] A. E. Ñauta Nauta and M. R. Vergara Idrovo, “Simulación de termofluidos de PLA natural y ABS en el proceso de impresión en 3D,” Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2017.
- [30] A. Alarte Garvı́, “Diseño e impresión 3D. Aplicaciones a la docencia,” Universidad de Alicante, Alicante, 2014.
- [31] E. Sánchez Castro, A. Hernández Muñoz, M. Hernández Camarillo, and D. Grande Olvera, “Impresión 3D. Gran desarrollo en la metodología del diseño para la reducción de costos de materiales,” Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Veracruz, 2018.
- [32] P. Dudek, “FDM 3D printing technology in manufacturing composite elements,” *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 58, no. Vol. 58, iss. 4, pp. 1415--1418, 2013, doi: 10.2478/AMM-2013-0186.
- [33] J. P. Celemin, “El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: Un análisis comparativo,” *Geografía y sistemas de información geográfica*, pp. 47–63, Dec. 2014, Accessed: Oct. 11, 2021. [Online]. Available: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/17466>
- [34] J. L. Moya Rodríguez and J. A. Velázquez Pérez, “Cálculo de engranajes plásticos.,” *Ingeniería Mecánica*, vol. 6, pp. 25–32, 2007.
- [35] M. Kintel, “OpenSCAD,” *openscad*, 2016.

- [36] L. C. Juiña Quilachamin, “Implementación de un sistema de manufactura Cad Cam en la sección de matricería de la empresa Cobiplast,” Quito, 2015., Quito, 2015.
- [37] L. Contreras, “PLA: ¿Es realmente ecológico el filamento? - 3Dnatives,” *3dnatives*, 2019. <https://www.3dnatives.com/es/ecologico-realmente-filamento-pla-230720192/> (accessed May 04, 2020).

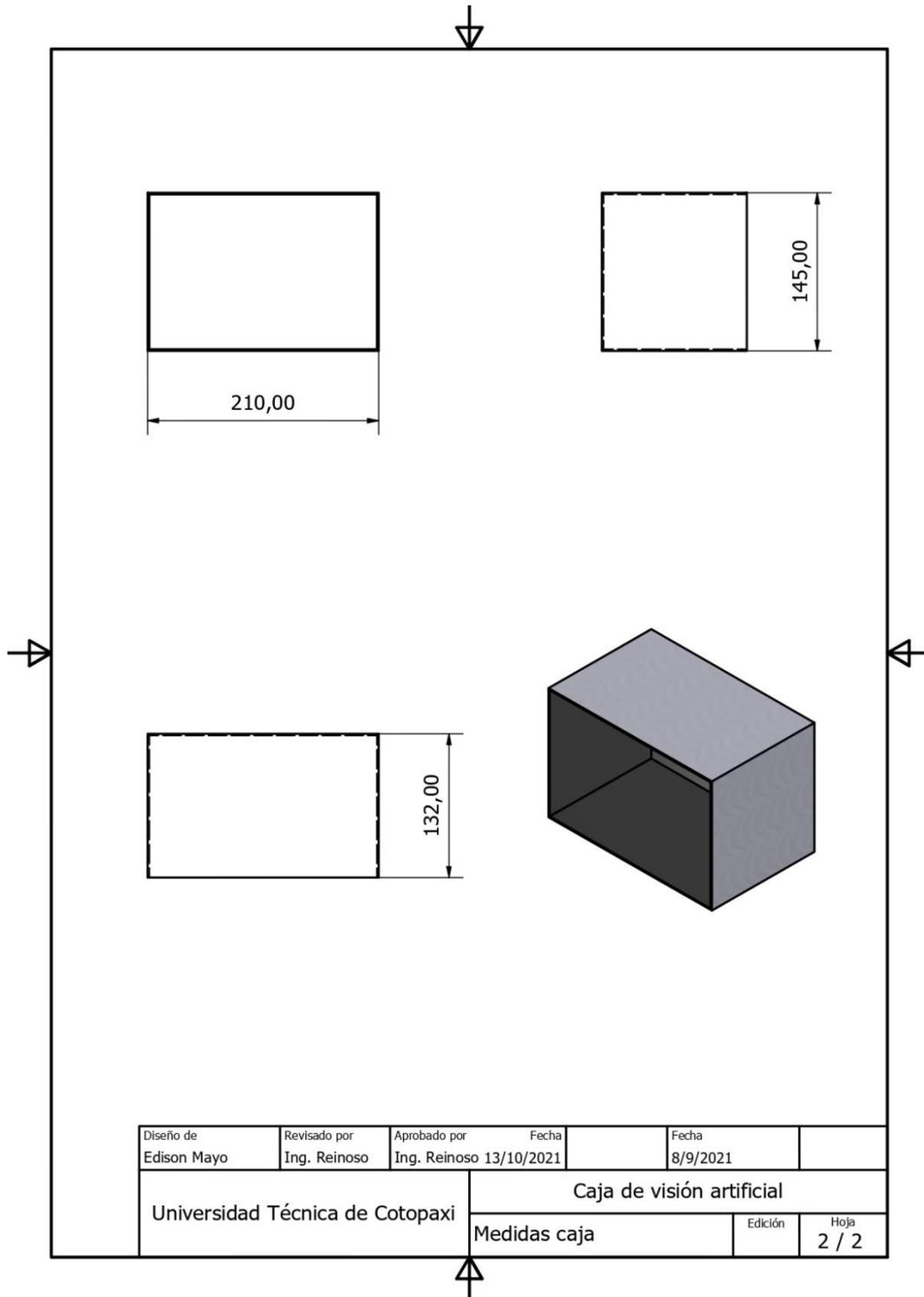
ANEXOS

Anexo 1: Partes de la caja de visión artificial



| LISTA DE PIEZAS | | | |
|---------------------------------|------------------------------|--|-------------------|
| ELEMENTO | CTDAD | Nº DE PIEZA | DESCRIPCIÓN |
| 1 | 1 | Logitech c270 | |
| 2 | 1 | Soporte 1 camara | |
| 3 | 1 | Soporte 2 camara | |
| 4 | 1 | Caja | |
| 5 | 1 | Interruptor | |
| 6 | 1 | Soporte interruptor | |
| Diseño de Edison Mayo | Revisado por Ing. Reinoso | Aprobado por Ing. Reinoso | Fecha 8/9/2021 |
| Universidad Técnica de Cotopaxi | | Partes de la caja de visión artificial | |
| 1 | | Edición | Hoja 2 / 2 |

Anexo 2: Medidas de la caja de visión



Anexo 3: Hoja Técnica del PLA

Ficha de datos técnicos PLA

Ultimaker

| | |
|-----------------------------|--|
| Denominación química | Ácido poliláctico |
| Descripción | El filamento de PLA Ultimaker ofrece una experiencia de impresión 3D sencilla gracias a su fiabilidad y buena calidad superficial. Nuestro PLA está fabricado con materiales orgánicos y renovables. Es seguro, fácil de utilizar en la impresión y se adecua a una amplia gama de aplicaciones para usuarios nuevos y experimentados. |
| Características principales | El PLA ofrece una buena resistencia a la tracción y calidad superficial, facilita el trabajo a altas velocidades de impresión, simplifica el uso en entornos domésticos y de oficina y permite la creación de piezas de alta resolución. Existe una amplia gama de opciones de color disponibles. |
| Aplicaciones | Herramientas domésticas, juguetes, proyectos educativos, objetos de exposición, prototipado, modelos arquitectónicos y también métodos de fundición a la cera perdida para crear piezas de metal. |
| No adecuado para | Aplicaciones en contacto con alimentos e in vivo. Uso prolongado en exteriores o aplicaciones en las cuales la parte impresa está expuesta a temperaturas superiores a 50 °C. |

Especificaciones del filamento

| | <u>Valor</u> | <u>Método</u> |
|-------------------------------|----------------|---------------|
| Diámetro | 2,85 ± 0,10 mm | - |
| Desviación de redondez máxima | 0,10 mm | - |
| Peso neto del filamento | 350 g / 750 g | - |
| Longitud del filamento | ~44 m / ~95 m | - |

Información sobre el color

| <u>Color</u> | <u>Código de color</u> |
|----------------------|------------------------|
| PLA verde | RAL 6018 |
| PLA negro | RAL 9005 |
| PLA plata metalizado | RAL 9006 |
| PLA blanco | RAL 9010 |
| PLA transparente | n.p. |
| PLA naranja | RAL 2008 |
| PLA azul | RAL 5002 |
| PLA magenta | RAL 4010 |
| PLA rojo | RAL 3020 |
| PLA amarillo | RAL 1003 |
| PLA blanco nacarado | RAL 1013 |

| <u>Propiedades mecánicas (*)</u> | <u>Moldeo por inyección</u> | | <u>Impresión 3D</u> | |
|--|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | <u>Valor típico</u> | <u>Método de ensayo</u> | <u>Valor típico</u> | <u>Método de ensayo</u> |
| Módulo de elasticidad a la tracción | - | - | 2346,5 MPa | ISO 527 (1 mm/min) |
| Esfuerzo de tracción a la deformación | - | - | 49,5 MPa | ISO 527 (50 mm/min) |
| Esfuerzo de tracción a la rotura | - | - | 45,6 MPa | ISO 527 (50 mm/min) |
| Alargamiento a la deformación | - | - | 3,3 % | ISO 527 (50 mm/min) |
| Alargamiento a la rotura | - | - | 5,2 % | ISO 527 (50 mm/min) |
| Resistencia a la flexión | - | - | 103,0 MPa | ISO 178 |
| Módulo de flexión | - | - | 3150,0 MPa | ISO 178 |
| Resistencia a la prueba de impacto Izod, con mella (a 23 °C) | - | - | 5,1 kJ/m ² | ISO 180 |
| Resistencia a la prueba de impacto Charpy (a 23 °C) | - | - | - | - |
| Dureza | - | - | 83 (Shore D) | Durómetro |

| <u>Propiedades térmicas</u> | <u>Valor típico</u> | <u>Método de ensayo</u> |
|---------------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Índice de fluidez (MFR) | 6,09 g/10 min | ISO 1133 (210 °C, 2,16 kg) |
| Deformación térmica (HDT) a 0,455 MPa | - | - |
| Deformación térmica (HDT) a 1,82 MPa | - | - |
| Transición vítrea | -60 °C | ISO 11357 |
| Coefficiente de expansión térmica | - | - |
| Temperatura de fusión | 145-160 °C | ISO 11357 |
| Contracción térmica | - | - |
| <u>Otras propiedades</u> | <u>Valor típico</u> | <u>Método de ensayo</u> |
| Gravedad específica | 1,24 | ASTM D1505 |
| Clasificación de llama | - | - |

(*) Ver las notas.

Anexo 4: Hoja Técnica del PLA

FICHA TÉCNICA Prusament PETG de Prusa Polymers



PETG es uno de los filamentos más utilizados. Es una excelente opción para imprimir piezas estresadas mecánicamente. En comparación con el PLA, es más resistente al calor, más flexible y menos frágil.

APLICACIONES: El uso típico del PETG es la impresión de piezas funcionales y mecánicas. Gracias a la buena adhesión de la capa, también es adecuado para impresiones impermeables.

NO ES ADECUADO PARA: No apto para piezas pequeñas.

POSTPROCESAMIENTO: Cuando se postprocesa el PETG, es posible usar lijado seco y húmedo.

IDENTIFICACIÓN:

| | |
|------------------|--|
| Nombre comercial | Prusament PETG |
| Nombre químico | Copolyester |
| Uso | FDM Impresión 3d |
| Diámetro | 1.75 ± 0.02 mm |
| Fabricante | Prusa Polymers, Praga, Republica Checa |

PARÁMETROS DE IMPRESIÓN RECOMENDADOS:

| | |
|--|-----------|
| Temperatura del Nozzle [°C] | 250 ± 10 |
| Temperature de la Base Calefactable [°C] | 80 ± 10 |
| Velocidad de Impresión [mm/s] | hasta 200 |

PROPIEDADES MATERIALES TÍPICAS:

| Propiedades Físicas | Valor Típico | Método |
|--|--------------|----------------|
| Gravedad Específica [g/cm ³] | 1.27 | ISO 1183 |
| Absorción de humedad en 24 horas [%](1) | 0.2 | Prusa Polymers |
| Absorción de humedad 7 días [%](1) | 0.3 | Prusa Polymers |
| Absorción de humedad 4 semanas [%](1) | 0.3 | Prusa Polymers |
| Temperatura de Deflexión Térmica (0,45 MPa) [°C] | 68 | ISO 75 |
| Resistencia a la Tracción del Filamento [MPa] | 46 ± 1 | ISO 527 |

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MUESTRAS DE PRUEBAS IMPRESAS(2):

| Propiedad / dirección de impresión | Horizontal | Vertical Eje X,Y | Vertical Eje Z | Método |
|--|------------|------------------|----------------|-----------|
| Resistencia a la Tracción [MPa] | 47 ± 2 | 50 ± 1 | 30 ± 5 | ISO 527-1 |
| Módulo de Tracción [GPa] | 1.5 ± 0.1 | 1.5 ± 0.1 | 1.4 ± 0.1 | ISO 527-1 |
| Elongación en el Límite de Elasticidad [%] | 5.1 ± 0.1 | 5.1 ± 0.1 | 2.5 ± 0.5 | ISO 527-1 |
| Fuerza de impacto Charpy(3) [kJ/m ²] | NB(C)(4) | NB(4) | 5 ± 1 | ISO 179-1 |

(1) 30 °C; humedad 30 %

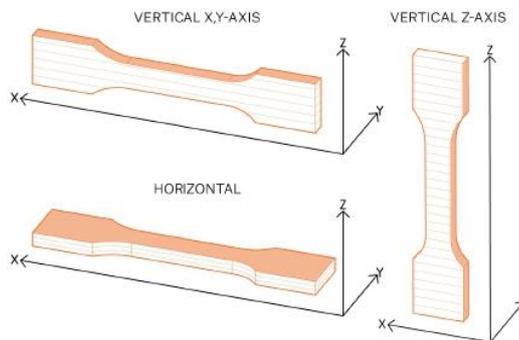
(2) La impresora 3D Original Prusa i3 MK3 fue utilizado para hacer muestras de prueba. Slic3r Prusa Edition 1.40.0 se utilizó para crear códigos G con la siguiente configuración: Prusa PETG Filament; Ajustes de impresión 0,20mm FAST (capas de 0,2mm); Capas sólidas superiores:0 Inferiores:0; Relleno 100% Rectilíneo, velocidad de relleno 100mm/s; multiplicador de extrusión 1.07; temperatura del extrusor 260°C todas las capas; temperatura de la base calefactable 90°C todas las capas; resto de parámetros por defecto

(3) Charpy sin muesca - Dirección de golpe de borde según ISO 179-1

(4) NB (sin rotura); C (rotura completa) entre paréntesis el segundo tipo de fallo más frecuente > 1/3

Renuncia

Los resultados presentados en esta hoja de datos son solo para su información y comparación. Los valores dependen significativamente de la configuración de impresión, las experiencias de los operadores y las condiciones del entorno. Todos deben considerar la idoneidad y las posibles consecuencias del uso de piezas impresas. Prusa Polymers no puede asumir ninguna responsabilidad por lesiones o pérdidas causadas por el uso del material de Prusa Polymers.



Anexo 5: Hoja técnica del ABS



HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

Filamento para Impresoras 3D. Industria Argentina.



ABS

(Acilonitrilo Butadieno Estireno)

| Especificaciones del Monofilamento | | |
|------------------------------------|---|----------|
| Diámetro (Ø) | Tolerancia | Ovalidad |
| 1.75 mm | ± 0,02mm con un 99% y ±0.03 con el 1% de Nivel de Confianza | ≥97 % |
| 2.85 mm | ± 0,04mm con un 99% y ±0.05 con el 1% de Nivel de Confianza | ≥97 % |

| Propiedades de la Materia Prima más relevantes | | | | |
|--|---------------|----------|--------------|--------------------|
| Descripción | | Método | Valor Típico | |
| Densidad | | ISO 1183 | 1.02-1.04 | Gr/Cm ³ |
| Índice de Fluidez | (220 °C,10Kg) | ISO 1133 | 38 | Gr/10 min. |

| Physical | Test Method | Value |
|--------------------------------|-------------|------------------------|
| Density | ASTM D792 | 1.04 g/cm ³ |
| Melt Flow Index (220 °C, 10kg) | ASTM D1238 | 38 g/10min |
| Mold Shrinkage | ASTM D955 | 0.5 ~ 0.8 % |
| Water absorption | ASTM D570 | - % |

| Mechanical | Test Method | Value |
|------------------------------------|-------------|--|
| Tensile Strength | ASTM D638 | 485 kgf/cm ² <small>(4.796 MPa)</small> |
| Elongation | ASTM D638 | 15 % |
| Flexural Strength | ASTM D790 | 720 kgf/cm ² <small>(7.032 MPa)</small> |
| Flexural Modulus | ASTM D790 | 24,500 kgf/cm ² <small>(2.419 MPa)</small> |
| Izod Impact Strength (3.2mm, 23°C) | ASTM D256 | 24 kgf-cm/cm <small>(2.419 kJ/m²)</small> |
| Izod Impact Strength (6.4mm, 23°C) | ASTM D256 | 20 kgf-cm/cm <small>(2.018 kJ/m²)</small> |
| Rockwell Hardness (R scale) | ASTM D785 | 109 |

| Thermal | Test Method | Value |
|--|-------------|----------------------------------|
| Heat Deflection Temperature (18.6kgf/cm ²) | ASTM D648 | 85 °C <small>(183 °F)</small> |
| Vicat Softening Temperature (5kg, 50°C/h) | ASTM D1525 | 95 °C <small>(203 °F)</small> |

| Flammability | Test Method | Value |
|---------------------------|-------------|-------|
| Flame Rating - UL (1.6mm) | UL 94 | HB |



Planta Industrial
Telefax: 54 (2346) 43-1295/96/97
Calle 112 N°82 (6620) Chivilcoy, Bs. As.
www.nth.com.ar



Gestión de Producto y Red Comercial
Telefax: 54 (11) 3973-5282
grilox3.com.ar - grilox3@nth.com.ar
[f/grilox3](https://www.facebook.com/grilox3)

Buenos Aires, Argentina

ABS

Perfil de Aplicación: Simil aplicaciones de PLA pero que resistan temperaturas mas altas y determinados requerimientos de resistencia
 Pieza de ejemplo: Engranajes semifuncionales, gabinetes, enclosures para plaquetas electrónicas, accesorios para automóviles y motores
 Se destaca por: Material semiméxico de bajo precio, acabado satinado, resistencia a intemperie y temperaturas

PERFIL RÁPIDO DEL MATERIAL

| | | | |
|-------------------------------|---|--------------------------|-------------------------|
| Nivel de Experiencia para uso | Básico Medio Avanzado Mat. Estándar Mat. Técnico | Apto Ventilación de Capa | NO |
| Recomendación Temp. Pico | 180 200 220 240 260 235°C Mat. Estándar Mat. Técnico | Capacidad para "Puentes" | Ninguna Media Destacada |
| Recomendación Temp. Cama | 50 70 90 110 130 90°C Mat. Estándar Mat. Técnico | Capacidad para Voladizos | Ninguna Media Destacada |

DATOS ADICIONALES DEL MATERIAL

| | |
|--|--|
| Resistencia a Temperaturas | 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 95°C Material Estándar Material Técnico |
| Con Annealing | No Disponible Material Estándar Material Técnico |
| Resistencia a Impactos | Baja Leve Moderada Buena Muy Buena Excelente Material Estándar Material Técnico |
| Con Annealing | No Disponible Material Estándar Material Técnico |
| Resistencia a Torsiones | Baja Leve Moderada Buena Muy Buena Excelente Material Estándar Material Técnico |
| "Warping" (Adherencia a Cama) | Sin Control de Ambiente de Impresión Nulo Bajo Leve Moderado Alto Muy Alto Material Estándar Material Técnico |
| Adherente Recomendado | Fijador de Cabello Fuerte |
| "Warping" (Adherencia a Cama) | Con Control de Ambiente de Impresión (60°C) Nulo Bajo Leve Moderado Alto Muy Alto Material Estándar Material Técnico |
| Adherente Recomendado | Fijador de Cabello Fuerte |
| Calidad del acabado de la pieza | Difícil Aceptable Bueno Muy bueno Excelente |
| Capacidad de admitir postprocesos | Difícil Aceptable Bueno Muy bueno Excelente |
| Lijado | x x |
| Pinado | x x |
| Alisado | x x x |
| Mecanizado | x x x |
| Roscado | x x |
| Apto p/Material Soporte Disoluble | No |
| Apto para Recocido "Annealing" | No |
| Cuidado requerido para evitar absorción de Humedad | Bajo Aceptable Medio Considerable Riguroso |

El material con el que se inició prácticamente la impresión 3D, dada su abundancia en el mundo, sus capacidades al impacto y temperaturas, y su buena fluencia al imprimirse. Es el más económico de los plásticos de ingeniería. Siendo útil para impresiones ya sean recreativas ó decorativas, su fuerte radica en pequeñas piezas mecánicas ó bien piezas que vayan a soportar trabajo. Material de entrada al universo de impresiones 3D Funcionales, por un muy bajo precio.

Notas de Adherencia:
 En Plásticos de Ingeniería se requieren cuidados para adherir, caso ABS
 * Cama caliente (90°C/110°C)
 * Control del ambiente de impresión (Evitar corrientes de aire)
 * Fijador para cabello es suficiente como adherente.

(*) Consulte acerca de regulaciones y cuidados al trabajar con Acetona

Anexo 6: Resultados análisis engrane PLA

| Nombre | Mínimo | Máximo |
|-------------------------------|-------------------------|------------------|
| Volumen | 1357750 mm ³ | |
| Masa | 1,65362 kg | |
| Tensión de Von Mises | 0 MPa | 0,0639067 MPa |
| Primera tensión principal | -0,0282324 MPa | 0,0741482 MPa |
| Tercera tensión principal | -0,0827715 MPa | 0,0253306 MPa |
| Desplazamiento | 0 mm | 0,00160096 mm |
| Coeficiente de seguridad | 15 su | 15 su |
| Tensión XX | -0,0646234 MPa | 0,0567432 MPa |
| Tensión XY | -0,0297138 MPa | 0,00897608 MPa |
| Tensión XZ | -0,0114213 MPa | 0,0101839 MPa |
| Tensión YY | -0,0343153 MPa | 0,0305164 MPa |
| Tensión YZ | -0,00702478 MPa | 0,00933436 MPa |
| Tensión ZZ | -0,0340092 MPa | 0,0286807 MPa |
| Desplazamiento X | -0,000932671 mm | 0,000934954 mm |
| Desplazamiento Y | -0,00159763 mm | 0,000136384 mm |
| Desplazamiento Z | -0,0000493167 mm | 0,0000600403 mm |
| Deformación equivalente | 0 su | 0,0000166333 su |
| Primera deformación principal | 0 su | 0,0000176769 su |
| Tercera deformación principal | -0,0000184755 su | 0 su |
| Deformación XX | -0,0000117165 su | 0,0000113588 su |
| Deformación XY | -0,0000113903 su | 0,00000344083 su |
| Deformación XZ | -0,00000437815 su | 0,00000390381 su |
| Deformación YY | -0,00000439678 su | 0,00000411388 su |
| Deformación YZ | -0,00000269283 su | 0,00000357817 su |
| Deformación ZZ | -0,00000511839 su | 0,00000669485 su |

Anexo 7: Resultados análisis engrane ABS

| Nombre | Mínimo | Máximo |
|-------------------------------|-------------------------|------------------|
| Volumen | 1357750 mm ³ | |
| Masa | 1,43921 kg | |
| Tensión de Von Mises | 0 MPa | 0,0639067 MPa |
| Primera tensión principal | -0,0282324 MPa | 0,0741482 MPa |
| Tercera tensión principal | -0,0827715 MPa | 0,0253305 MPa |
| Desplazamiento | 0 mm | 0,00257297 mm |
| Coefficiente de seguridad | 15 su | 15 su |
| Tensión XX | -0,0646234 MPa | 0,0567432 MPa |
| Tensión XY | -0,0297138 MPa | 0,00897606 MPa |
| Tensión XZ | -0,0114213 MPa | 0,0101839 MPa |
| Tensión YY | -0,0343153 MPa | 0,0305164 MPa |
| Tensión YZ | -0,00702478 MPa | 0,00933437 MPa |
| Tensión ZZ | -0,0340092 MPa | 0,0286807 MPa |
| Desplazamiento X | -0,00149894 mm | 0,00150261 mm |
| Desplazamiento Y | -0,00256762 mm | 0,000219188 mm |
| Desplazamiento Z | -0,0000792591 mm | 0,0000964929 mm |
| Deformación equivalente | 0 su | 0,0000267321 su |
| Primera deformación principal | 0 su | 0,0000284093 su |
| Tercera deformación principal | -0,0000296928 su | 0 su |
| Deformación XX | -0,0000188302 su | 0,0000182551 su |
| Deformación XY | -0,0000183058 su | 0,0000055299 su |
| Deformación XZ | -0,00000703632 su | 0,00000627398 su |
| Deformación YY | -0,00000706627 su | 0,0000066116 su |
| Deformación YZ | -0,00000432776 su | 0,00000575064 su |
| Deformación ZZ | -0,00000822599 su | 0,0000107596 su |

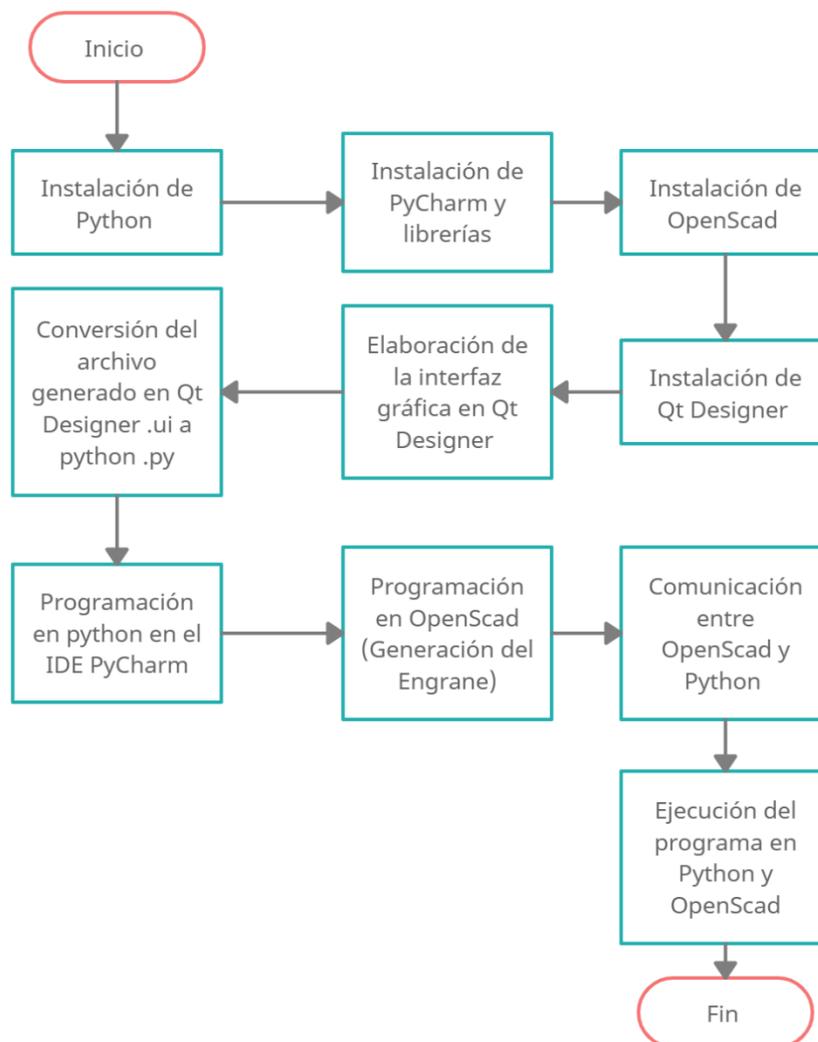
Anexo 8: Resultados análisis engrane PETG

| Nombre | Mínimo | Máximo |
|-------------------------------|-------------------------|------------------|
| Volumen | 1357750 mm ³ | |
| Masa | 1,53921 kg | |
| Tensión de Von Mises | 0 MPa | 0,0639067 MPa |
| Primera tensión principal | -0,0282324 MPa | 0,0741482 MPa |
| Tercera tensión principal | -0,0827715 MPa | 0,0253305 MPa |
| Desplazamiento | 0 mm | 0,00257297 mm |
| Coficiente de seguridad | 15 su | 15 su |
| Tensión XX | -0,0646234 MPa | 0,0567432 MPa |
| Tensión XY | -0,0297138 MPa | 0,00897607 MPa |
| Tensión XZ | -0,0114213 MPa | 0,0101839 MPa |
| Tensión YY | -0,0343153 MPa | 0,0305164 MPa |
| Tensión YZ | -0,00702477 MPa | 0,00933437 MPa |
| Tensión ZZ | -0,0340092 MPa | 0,0286807 MPa |
| Desplazamiento X | -0,00149894 mm | 0,00150261 mm |
| Desplazamiento Y | -0,00256762 mm | 0,000219188 mm |
| Desplazamiento Z | -0,0000792591 mm | 0,0000964929 mm |
| Deformación equivalente | 0 su | 0,0000267321 su |
| Primera deformación principal | 0 su | 0,0000284093 su |
| Tercera deformación principal | -0,0000296928 su | 0 su |
| Deformación XX | -0,0000188302 su | 0,0000182551 su |
| Deformación XY | -0,0000183058 su | 0,0000055299 su |
| Deformación XZ | -0,00000703632 su | 0,00000627398 su |
| Deformación YY | -0,00000706626 su | 0,0000066116 su |
| Deformación YZ | -0,00000432776 su | 0,00000575064 su |
| Deformación ZZ | -0,00000822599 su | 0,0000107596 su |

Anexo 9: Manual de operación

Flujograma del proceso de instalación y programación.

En la siguiente imagen se muestra un flujograma correspondiente al proceso de instalación y programación del sistema de reconstrucción 3D implementado en este proyecto de tesis.

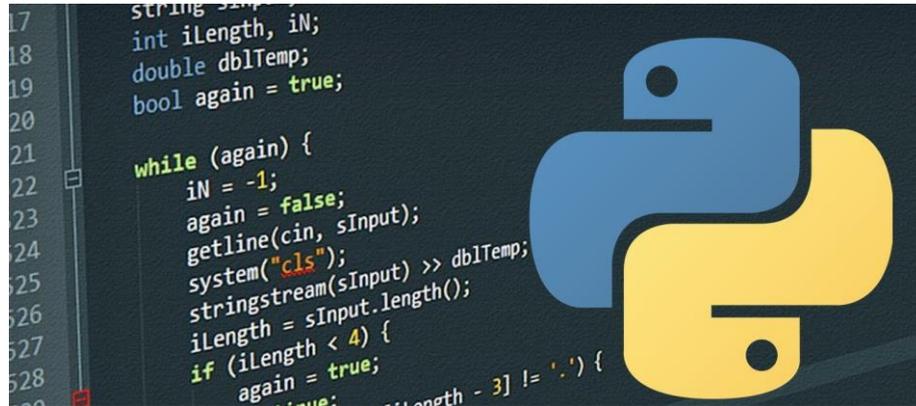


Flujograma del sistema de reconstrucción 3D.

Instalación de Python

Ingresa a la dirección URL de la página oficial de Python, direccionarse al apartado de Downloads y descargar la versión Python 3.7.

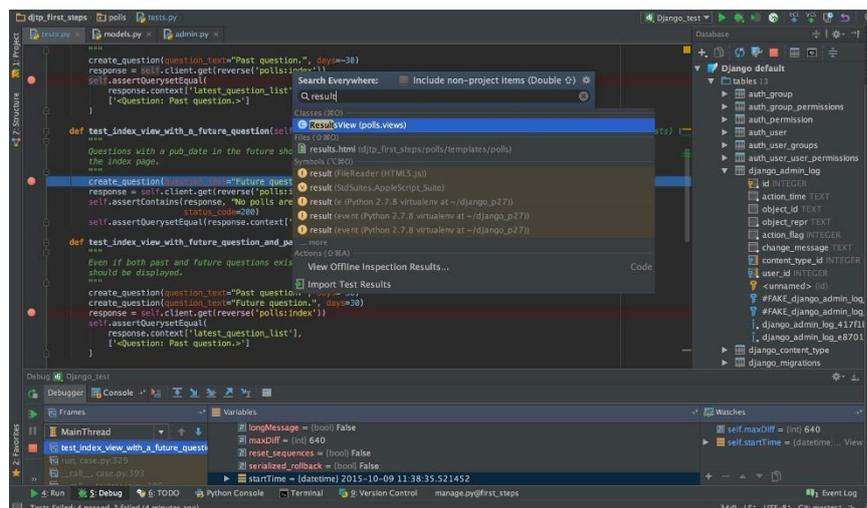
Enlace: <https://www.python.org/>



Instalación de Pycharm

La versión utilizada es gratuita y se denomina Pycharm Community 2020.2.5 del siguiente enlace:

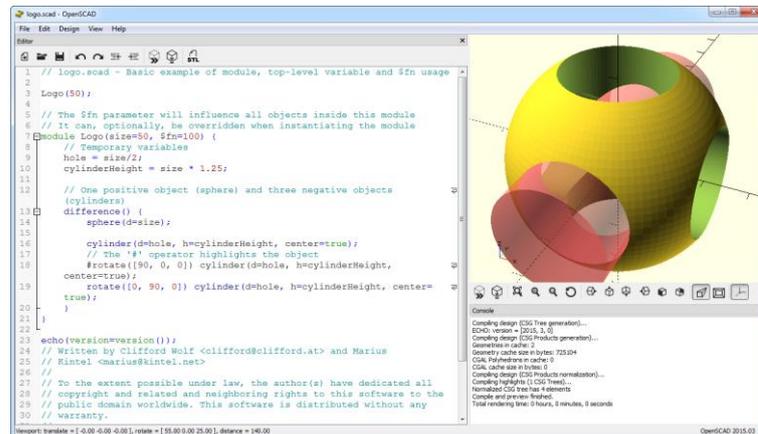
Enlace: <https://www.jetbrains.com/pycharm/download/>



Instalación de OpenScad

Ingresar al enlace de la página oficial de OpenScad, después dirigirse hacia la opción de descargas. Seleccionar la última versión disponible.

Enlace: <https://openscad.org/downloads.html>

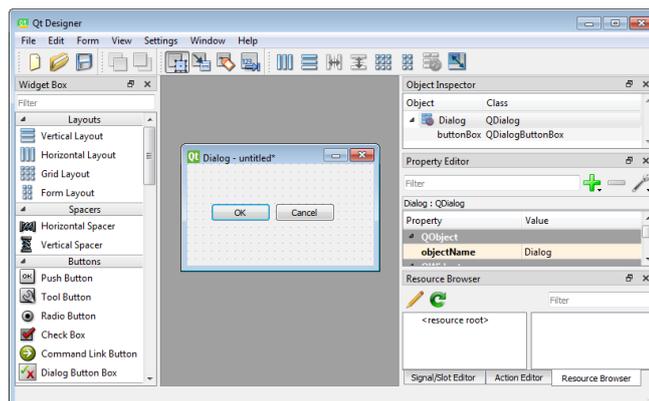


Instalación de Qt Designer

Ingresar las siguientes instrucciones en **CMD (terminal)** de Python para la instalación de Qt Designer.

- pip install PyQt5
- pip install PyQt5-tools

Finalmente, buscar la dirección de los paquetes instalados y ejecutar el archivo .exe.



Instalación de librerías en Pycharm

En el apartado **File > Settings > Python Interpreter** instalar las siguientes librerías utilizadas para ejecutar interfaces gráficas elaboradas en Qt Designer.

:

- PyQt5
- PyQt5-Qt
- PyQt5-sip

También se debe adicionar las librerías utilizadas para el procesamiento de imágenes – visión artificial

- Numpy
- Opencv-python
- Opencv-contrib-python

Por último, se requiere de las librerías utilizadas para la comunicación entre Python y OpenSCAD

- Solid
- Solidpython

| Package | Version | Latest version |
|-----------------------|----------|----------------|
| -pencv-python | 3.4.2.16 | |
| Pillow | 8.1.0 | ▲ 8.3.2 |
| PyQt5 | 5.15.3 | ▲ 5.15.4 |
| PyQt5-Qt | 5.15.2 | 5.15.2 |
| PyQt5-sip | 12.9.0 | 12.9.0 |
| PyYAML | 5.4.1 | 5.4.1 |
| arrow | 1.0.2 | ▲ 1.1.1 |
| bleak | 0.10.0 | ▲ 0.12.1 |
| cvui | 2.7 | 2.7 |
| cycler | 0.10.0 | 0.10.0 |
| euclid3 | 0.1 | 0.01 |
| future | 0.18.2 | 0.18.2 |
| imutils | 0.5.2 | ▲ 0.5.4 |
| iso8601 | 0.1.14 | ▲ 0.1.16 |
| keyboard | 0.13.5 | 0.13.5 |
| kiwisolver | 1.3.1 | ▲ 1.3.2 |
| matplotlib | 3.3.0 | ▲ 3.4.3 |
| mirobot-py | 2.0.0b0 | |
| numpy | 1.18.0 | ▲ 1.21.2 |
| opencv-contrib-python | 4.4.0.46 | ▲ 4.5.3.56 |
| opencv-python | 4.1.2.30 | ▲ 4.5.3.56 |
| pip | 19.0 | ▲ 21.2.4 |
| prettytable | 0.7.2 | ▲ 2.2.1 |
| pycparser | 2.20 | 2.20 |
| pygame | 2.0.1 | 2.0.1 |
| pynput | 1.7.3 | 1.7.3 |
| pyarsing | 2.4.7 | 2.4.7 |
| pypng | 0.0.19 | ▲ 0.0.21 |
| pyserial | 3.5 | 3.5 |
| python-dateutil | 2.8.1 | ▲ 2.8.2 |
| --- | --- | --- |

Librerías instaladas exitosamente en Python.

Comandos utilizados en la programación.

A continuación, se describen los comandos más importantes de la programación desarrollada.

| Comandos | Descripción |
|---|---|
| <code>self.camera = cv2.VideoCapture(1)</code> | Inicializa la captura de video |
| <code>ret, self.frame = self.camera.read()</code> | Captura un fotograma por ciclo |
| <code>img_rows, img_cols, channels = self.frame.shape</code> | Obtiene el tamaño y los canales de la imagen. |
| <code>self.gray = cv2.cvtColor(self.frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)</code> | Convierte una imagen de BGR a escala de grises. |
| <code>_, self.th = cv2.threshold(self.gray, 150, 255, cv2.THRESH_BINARY)</code> | Se realiza una binarización de la imagen |

| | |
|---|---|
| <pre>self.th=cv2.morphologyEx(self.th, cv2.MORPH_OPEN, kernel) self.th = cv2.erode(self.th, kernel, iterations=1)</pre> | <p>Comandos para filtrado de la imagen y eliminación del ruido.</p> |
| <pre>contornos, hierarchy = cv2.findContours(self.th, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)</pre> | <p>Detección de contornos de la imagen.</p> |
| <pre>areaCnt = cv2.contourArea(c)</pre> | <p>Calcula el área de los contornos.</p> |
| <pre>cv2.drawContours(self.frame,c, -1, (0, 255, 0), 3)</pre> | <p>Dibuja la figura encontrada</p> |
| <pre>epsilon = 0.006 * cv2.arcLength(c, True) aprox = cv2.approxPolyDP(c, epsilon, True) self.dientes = round(len(aprox)/2)</pre> | <p>Código para la detección del número de dientes</p> |
| <pre>(x, y), radio = cv2.minEnclosingCircle(c) centro = (int(x), int(y)) radio = int(radio) cv2.circle(self.frame, centro, radio, (0, 255, 0), 2) self.diametro=round((radio*2*31/(164*2)),2)</pre> | <p>Cálculo del diámetro de los engranes</p> |

| | |
|--|---|
| <pre> QImg = QImage(self.th.data, img_cols1, img_rows1, bytesPerLine1, QImage.Format_Indexed8) self.labelResultado.setPixmap(QPixmap.fromImage(QImg).scaled(self.labelResultado.size(), Qt.KeepAspectRatio, Qt.SmoothTransformation)) </pre> | <p>Imprime la imagen original en una ventana diseñada en Qt Designer.</p> |
| <pre> QImg = QImage(self.frame.data, img_cols, img_rows, bytesPerLine, QImage.Format_RGB888) self.labelVideo.setPixmap(QPixmap.fromImage(QImg).scaled(self.labelVideo.size(),Qt.KeepAspectRatio, Qt.SmoothTransformation)) </pre> | <p>Imprime la imagen binarizada en una ventana diseñada en Qt Designer.</p> |

Código Realizado en Python.

```
# Librerías de Qt Designer
import sys
from PyQt5 import QtCore, QtGui, QtWidgets
from PyQt5.QtCore import *
from PyQt5.QtGui import *
from PyQt5.QtWidgets import QDialog, QMainWindow
from mainForm import Ui_MainWindow
# Librerías para la comunicación con OpenScad
from solid import *
from solid import scad_render_to_file
# Librerías para vision artificial
import cv2
import imutils
# Librerías para el manejo de datos
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plot
# Inicialización de variables
c = 0
binario = []
cont = []
diam = []
area = []
dient = []
k=([0.25, 0.25, 0.25, 0.25])
i=0
I1=[]
d1=[]
# Función de inicialización del HMI
class PyQtMainEntry(QMainWindow, Ui_MainWindow):
    def __init__(self):
        super().__init__()
        self.setupUi(self)

        self.camera = cv2.VideoCapture(1) #Inicializa la cámara
        self.is_camera_opened = False #Si la cámara tiene una marca abierta

        # Temporizador: 30ms captura un cuadro
        self._timer = QtCore.QTimer(self)
        self._timer.timeout.connect(self._queryFrame)
        self._timer.setInterval(30)
        self.btnOpenCamera.clicked.connect(self.btnOpenCamera_Clicked)
        self.btnProcess.clicked.connect(self.btnProcess_Clicked)
        self.btnProcess_2.clicked.connect(self.btnProcess_Clicked_2)

        #Inicialización de las variables del HMI
        self.label_3.setText("0")
        self.label_6.setText("0")
        self.labelVideo.setText(" ")
        self.labelResultado.setText(" ")
        self.dientes=0
        self.diametro= 0
        self.DientesEng=0
        self.Espesor=0
        self.Diametro=0
        self.i=0
    # Función para la generación de engranes obtenidos mediante visión artificial.
    def btnProcess_Clicked(self):
        print("Generar STL")
        print(self.dientes)
        print(self.diametro)

        # Comunicación con OpenScad
        a = import_scad('libreria_engranes.scad')
        # Envío de parámetros a OpenScad
        b = a.engrane(self.dientes, 6, self.diametro)
        scad_render_to_file(b, 'nuevo.scad')

    # Función para la generación de engranes manualmente
    def btnProcess_Clicked_2(self):
```

```

print("Generar Engrane")
# Recolección de datos del HMI
self.Diametro=int(self.doubleSpinBox.value())
self.DientesEng = int(self.doubleSpinBox_2.value())
self.Espesor = int(self.doubleSpinBox_3.value())
print(self.Diametro)
print(self.DientesEng)
print(self.Espesor)

# Comunicación con OpenScad
a = import_scad('libreria_engranes.scad')

# Envío de parámetros a OpenScad
b = a.engrane(self.DientesEng, self.Espesor, self.Diametro)
scad_render_to_file(b, 'nuevo.scad')

def btnOpenCamera_Clicked(self):

# Enciende y apaga la cámara
self.is_camera_opened = ~self.is_camera_opened
if self.is_camera_opened:
    self.btnOpenCamera.setText("Apaga la cámara")
    self._timer.start()
else:
    self.btnOpenCamera.setText("Enciende la camara")
    self._timer.stop()

@QtCore.pyqtSlot()
# Bucle para capturar imágenes
def _queryFrame(self):
# Toma de fotogramas del video.
ret, self.frame = self.camera.read()
if ret==True:

# Obtención del tamaño y los canales de la imagen.
img_rows, img_cols, channels = self.frame.shape
bytesPerLine = channels * img_cols

# Conversión de la imagen BGR a escala de grises
self.gray = cv2.cvtColor(self.frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
img_rows1, img_cols1 = self.gray.shape
bytesPerLine1 = img_cols1

# Binarización de la imagen
_, self.th = cv2.threshold(self.gray, 150, 255, cv2.THRESH_BINARY)

# Creación de una matriz para filtrado
kernel = np.ones((5, 5), np.uint8)

# Comandos para el filtrado de la imagen
self.th=cv2.morphologyEx(self.th, cv2.MORPH_OPEN, kernel)
self.th = cv2.erode(self.th, kernel, iterations=1)

# Detección de contornos
contornos, hierarchy = cv2.findContours(self.th, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

for c in contornos:

# Cálculo del área de cada contorno
areaCnt = cv2.contourArea(c)

# Discriminación de contornos
if areaCnt>5000:

# Comando para dibujar los contornos encontrados
cv2.drawContours(self.frame,c, -1, (0, 255, 0), 3)

# Aproximación para detectar los dientes del engrane
epsilon = 0.006 * cv2.arcLength(c, True)
aprox = cv2.approxPolyDP(c, epsilon, True)

# Determinación del número de dientes del engrane

```

```

self.dientes = round(len(aprox)/2)
cv2.drawContours(self.frame, [aprox], 0, (0, 0, 255), 2)

# Obtener momentos geométricos
mm = cv2.moments(self.th)

# Obtener la posición del centro de gravedad (centro) de la
imagen
cx = mm['m10'] / mm['m00']
cy = mm['m01'] / mm['m00']

# Marcar el punto central
cv2.circle(self.frame, (int(cx), int(cy)), 4, (0, 255, 255),
10)

# Cálculo de diámetros de los engranes
(x, y), radio = cv2.minEnclosingCircle(c)
centro = (int(x), int(y))
radio = int(radio)
cv2.circle(self.frame, centro, radio, (0, 255, 0), 2)
self.diametro=round((radio*2*31/(164*2)),2)

# Convolución y promedio para obtener un valor filtrado del
diámetro
diam = int(self.diametro)
I1.append(diam)
d1 = np.convolve(I1, k, mode='same')
self.diametro = round(sum(d1) / len(d1), 1)

# Envío de datos al HMI
self.label_3.setText(str(self.diametro))
self.label_6.setText(str(self.dientes))

# Imprime la imagen original en una ventana del HMI
QImg = QImage(self.th.data, img_cols1, img_rows1, bytesPerLine1,
QImage.Format_Indexed8)
self.labelResultado.setPixmap(QPixmap.fromImage(QImg).scaled(
self.labelResultado.size(), Qt.KeepAspectRatio,
Qt.SmoothTransformation))

# Imprime la imagen filtrada y binarizada en una ventana del HMI
cv2.cvtColor(self.frame, cv2.COLOR_BGR2RGB, self.frame)
QImg = QImage(self.frame.data, img_cols, img_rows, bytesPerLine,
QImage.Format_RGB888)
self.labelVideo.setPixmap(QPixmap.fromImage(QImg).scaled(
self.labelVideo.size(), Qt.KeepAspectRatio,
Qt.SmoothTransformation))

# Función principal
if __name__ == "__main__":
    app = QtWidgets.QApplication(sys.argv)
    window = PyQtMainEntry()
    window.show()
    sys.exit(app.exec_())

```

Programación en OpenScad

```
module gr_1(n=0, thk=0){
  r = n*1.5;
  module tooth(){
    sz = 5;
    sx = 3;
    th = thk;
    of = 5;

    hull(){
      translate([0, 0, th/2])
      cube([sz,sz,th],center=true,$fn=500);
      translate([of, 0, th/2])
      cube([sx, sx, th],center=true,$fn=500);}

    for(i=[0:n]) //n is number of teeth
      rotate([0, 0, i*360/n])
      translate([r, 0, 0])
      tooth();

    cylinder(r=r, h=thk, $fn=1000);}

module engrane (n=0, thk=0, sc=0){
  difference(){
    resize([sc,sc,0],auto = [true,true,false])
    gr_1(n=n,thk=thk);
    cylinder(r = 3,h = 100, center = true,$fn=500);
  }
  difference () {
    translate([0,0,6])
    cylinder(h=3.7, r=4.5, $fn=1000);
    translate([0,0,6])
    cylinder(h=10, r=3,center = true, $fn=500);
  }
}

engrane (n=21, thk = 6, sc = 16);
```