



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

Unidad Académica:

Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica.

Carrera:

Tecnología Superior en Electromecánica .

Título:

Modelado y análisis de mecanismos de engranajes para aplicaciones industriales

Estudiantes:

Jefferson Joel Rosero Alava
Jair Alejandro Palma Zambrano

Tutor:

Ing. Jonathan Jiménez MSc

El Carmen, agosto de 2025.

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Extensión El Carmen de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

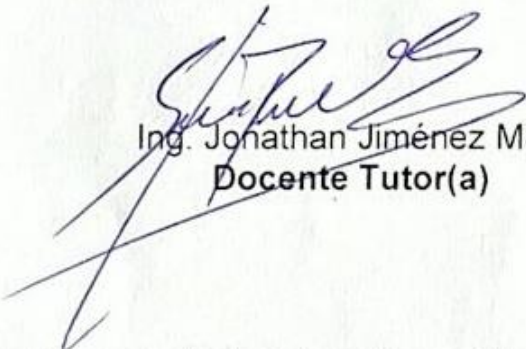
Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Titulación bajo la autoría del estudiante Palma Zambrano Jair Alejandro, legalmente matriculado en la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, período académico 2025-1, cumpliendo el total de 144 horas, cuyo tema del proyecto es "Modelado y análisis de mecanismos de engranajes para aplicaciones industriales".

El presente trabajo de titulación ha sido desarrollado en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, El Carmen de 8 de agosto de 2025.

Lo certifico,



Ing. Jonathan Jiménez MSc
Docente Tutor(a)

Nota 1: Este documento debe ser realizado únicamente por el/la docente tutor/a y será receptado sin enmendaduras y con firma electrónica y/o manuscrita.

Nota 2: Este es un formato que se llenará por cada estudiante (de forma individual) y será otorgado toda vez que la asignatura de titulación esté aprobada por el estudiante.

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Extensión El Carmen de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Titulación bajo la autoría del estudiante Rosero Álava Jefferson Joel, legalmente matriculado en la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, período académico 2025-1, cumpliendo el total de 144 horas, cuyo tema del proyecto es "Modelado y análisis de mecanismos de engranajes para aplicaciones industriales".

El presente trabajo de titulación ha sido desarrollado en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, El Carmen de 8 de agosto de 2025.

Lo certifico,



Ing. Jonathan Jiménez MSc
Docente Tutor(a)

Nota 1: Este documento debe ser realizado únicamente por el/la docente tutor/a y será receptado sin enmendaduras y con firma electrónica y/o manuscrita.

Nota 2: Este es un formato que se llenará por cada estudiante (de forma individual) y será otorgado toda vez que la asignatura de titulación esté aprobada por el estudiante.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quien(es) suscribe(n) la presente:

Jefferson Joel Rosero Alava

Jair Alejandro Palma Zambrano

Estudiante(s) de la Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica , declaro(amos) bajo juramento que el siguiente proyecto cuyo título: “Modelado y análisis de mecanismos de engranajes para aplicaciones industriales”, previa a la obtención del Título de Tecnólogo en Electromecánica, es de autoría propia y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros y consultando las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

El Carmen, Agosto de 2025.



Jefferson Joel Rosero Alava



Jair Alejandro Palma Zambrano

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

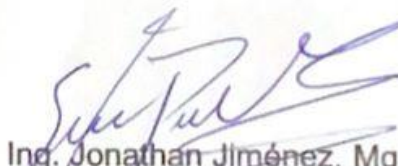
Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado: "Modelado y análisis de mecanismo de engranajes para aplicaciones industriales en la carrera de electromecánica en la ULEAM extensión El Carmen. De sus autores: Rosero Alava Jefferson Joel y Palma Zambrano Jair Alejandro de la carrera "Tecnología Superior en Riego y Producción Agrícola", y como Tutor del Trabajo el Ing. Jonathan Jiménez, Mag.

El Carmen, septiembre 2025



Ing. Wladimir Minaya, Mag.

DECANO



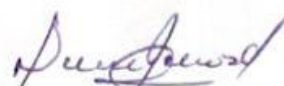
Ing. Jonathan Jiménez, Mg.

TUTOR



Ing. Saed Reascos, Mag.

PRIMER MIEMBRO TRIBUNAL



Ing. Patricio Quiroz, Mag.

SEGUNDO MIEMBRO TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Agradecemos profundamente a Dios, por su fortaleza, por acompañarnos en cada paso de este camino.

A nuestros padres, quienes han sido luz en nuestros pasos, a ustedes les dedicamos este logro con todo el amor y gratitud, su amor incondicional ha sido nuestro impulso para seguir adelante. Gracias por absolutamente todo, cada página de este proyecto es el reflejo de sus influencias en nuestras vidas, por los valores y el amor que siempre nos han brindado, por todo lo que han hecho y por lo que son, les dedicamos este esfuerzo, esto es una muestra de decirles, una vez más, gracias por todo.

Jefferson Rosero

Jair Palma

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo, en primer lugar, a Dios, por ser nuestra guía constante, por darnos la fortaleza en los momentos de incertidumbre y por iluminar nuestro camino con esperanza y fe.

A nuestros padres, por apoyo, amor y ejemplo de perseverancia, por las palabras de aliento y el soporte en cada etapa de este proceso. Gracias por su fe incondicional, por los sacrificios silenciosos y por ser nuestro mayor ejemplo de inspiración.

Y a la vida, por cada experiencia, por cada obstáculo y cada alegría que nos ha formado. Agradecemos las lecciones, las caídas y los aprendizajes que nos han impulsado a seguir adelante y a crecer como persona.

Nuestros más sinceros agradecimientos a casa una de las personas que formaron parte de esta esta maravillosa.

Con cariño

Jefferson Rosero y Jair Palma

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad diseñar y simular un sistema de transmisión por engranajes rectos que permita reducir la velocidad de rotación de un motor eléctrico desde 1800 rpm hasta aproximadamente 25 rpm, con aplicación en un sistema transportador de velocidad. Para ello, se establecieron tres objetivos específicos: determinar los parámetros fundamentales del sistema, desarrollar el diseño técnico a partir de los cálculos necesarios, y analizar su comportamiento mediante herramientas de simulación.

Inicialmente, se evaluaron dos configuraciones de transmisión una de dos etapas y otra de tres, concluyéndose que la opción de tres etapas ofrecía mayor viabilidad técnica y dimensional. Posteriormente, se calcularon las relaciones de transmisión, número de dientes, diámetros primitivos y externos, pares transmitidos y dimensiones de los ejes, seleccionando materiales adecuados como el acero AISI 1015. Con base en estos datos, se modelaron los componentes en SolidWorks, se ensambló el sistema completo y se realizó una simulación cinemática en el entorno de SolidWorks Motion.

Los datos obtenidos demostraron una disminución real en la velocidad, pasando de unos 1800 rpm a cerca de 24.29 rpm en el punto de salida, lo que vino a demostrar la exactitud que tenía el diseño que se había previsto en teoría.

Finalmente, se pudo crear un sistema de transmisión que no solo funciona, sino que también es fuerte y factible desde el punto de vista técnico para usarse en entornos industriales donde se necesite bajar la velocidad. El método que seguimos unió cálculos a mano, modelos en 3D y simulaciones por ordenador, asegurando que el análisis y la confirmación del diseño mecánico fueran lo más completos posible.

PALABRAS CLAVE

Solidworks motion, piñon, engranaje, reductor de velocidad

ABSTRACT

This thesis aims to design and simulate a spur gear transmission system capable of reducing the rotational speed of an electric motor from 1800 rpm to approximately 25 rpm, intended for use in an industrial speed conveyor. The project was developed through three specific objectives: to determine the fundamental design parameters of the transmission system, to carry out the detailed mechanical design based on calculated dimensions, and to analyze the system's behavior using simulation tools.

Initially, two configurations were evaluated a two-stage and a three-stage gear transmission concluding that the three-stage configuration offered greater technical and dimensional feasibility. Transmission ratios, number of teeth, pitch and outside diameters, transmitted torques, and shaft dimensions were calculated, selecting AISI 1015 steel as the construction material. Based on these parameters, all components were modeled in SolidWorks, followed by the full assembly of the system and a kinematic simulation using SolidWorks Motion.

The data obtained showed a real decrease in speed, going from approximately 1,800 RPM to approximately 24.29 rpm at the output point, demonstrating the accuracy of the theoretically intended design. Ultimately, a transmission system was created that not only works, but is also robust and technically feasible for use in industrial environments where speed reduction is required. The method followed combined hand calculations, 3D models, and computer simulations, ensuring that the analysis and confirmation of the mechanical design were as comprehensive as possible.

KEYWORDS

Solidworks motion, *Pinion, gear, Gear reducer*

ÍNDICE

CERTIFICACION DEL TUTOR	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	V
RESUMEN	VI
PALABRAS CLAVE	VI
ABSTRACT.....	VII
KEYWORDS	VII
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA	2
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. METODOLOGÍA	3
1.4.1. Procedimiento	3
1.4.2. Técnicas	4
1.4.3. Métodos	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. DEFINICIONES	5

2.1.1.	Fundamentos de transmisión mecánica por engranajes	5
2.1.1.1.	Engrane	6
2.1.1.2.	Relación de transmisión	7
2.1.2.	Tipos de engranes	7
2.1.3.	Nomenclatura en engranajes rectos	10
2.1.4.	Parámetros de diseño normalizados (UNE/AGMA)	11
2.1.5.	Modelado CAD sistemas de transmisión	13
2.1.5.1.	Parámetros diseño engranajes Solidworks	13
2.1.5.2.	Parámetros simulación Solidworks	13
2.2.	ANTECEDENTES	14
2.3.	TRABAJOS RELACIONADOS	16
	CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	18
3.1.	DESARROLLO	18
3.1.1.	Descripción de la propuesta	18
3.1.2.	Etapas	21
	3.1.3. Presupuesto	25
	3.2. RESULTADOS	25
❑	Objetivo 1: Logros obtenidos en el objetivo 1.	25
❑	Objetivo 2: Logros obtenidos en el objetivo 2.	26
❑	Objetivo 3: Logros obtenidos en el objetivo 3.	31
	CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
4.1.	CONCLUSIONES	33
4.2.	RECOMENDACIONES	34
	BIBLIOGRAFÍA	34

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

.....	VIII
Figura 1 Engranajes encajados	6
Figura 2 Definiciones y relaciones en el dentado.....	7
Figura 3 Engranaje Recto	8
Figura 4 Engranaje Helicoidales	9
Figura 5 Engranaje Cónico.....	9
Figura 6 Sin fin.....	10
Figura 7 Cremallera.....	10
Figura 8 Parámetros engranaje recto	11
Figura 9 Sistema de banda transportadora con reductor de velocidad	19
Figura 10 Piñón 20 dientes	27
Figura 11 Plano piñón.....	28
Figura 12 Engranaje de 84 dientes	28
Figura 13 Plano de engranaje de 84 dientes	29
Figura 14 Ejes.....	29
Figura 15 Ensamblaje de caja reductora.....	30
Figura 16 Plano de caja reductora	31
Figura 17 Simulación con Solidworks Motion.....	32
Figura 18 Velocidades de cada etapa.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diametros etapa 1	23
Tabla 2 Diametros etapa 2	23
Tabla 3 Dientes por etapas	23
Tabla 4 Velocidades por etapa	24
Tabla 5 Diametro de los engranajes	24
Tabla 6 Presupuesto hipotetico de construccion de caja reductora	
Tabla 7 Información fórmulas para cálculo de engranajes	25
Tabla 8 Datos dela Transmisión por engranajes rectos en tres etapas	26

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de engranajes son mecanismos fundamentales en la transmisión de potencia mecánica, y desempeñan un papel crítico en la operatividad de una amplia gama de aplicaciones industriales. El diseño, modelado y análisis de engranajes evolucionó tras la llegada de software de cálculo y de técnicas de fresado y simulación. Los dientes rectos, helicoidales o cónicos reducen o aumentan la velocidad, regulan el par y conservan la energía en sistemas motrices complejos (García Larrea, 2016)

Dentro del ámbito industrial, los reductores planetarios engranan en líneas de embotellado, grúas portuarias, molinos de cemento, trenes laminadores, bombas de petróleo, tolvas mineras, secaderos cerámicos. La razón principal es su habilidad para proporcionar relaciones de transmisión significativas en áreas compactas, asegurar una durabilidad extendida gracias a materiales robustos y métodos de lubricación óptimos, y funcionar con gran eficiencia en diversas condiciones de carga y entorno (Lombana Pompei, 2019). Un diseño exacto es clave para prevenir fallos derivados de la fatiga superficial o el doblado de los dientes, temas que se han estudiado desde modelos analíticos clásicos hasta simulaciones numéricas complejas utilizando programas como SolidWorks o herramientas de análisis de elementos finitos (Sáenz Niño, 2015).

Simultáneamente, La fabricación aditiva integra tecnologías que amplían las opciones para producir engranajes. El estudio de Romero Barreto (2019) describe cómo la deposición de material fundido genera prototipos funcionales en horas. Los parámetros de impresión determinan la precisión geométrica y la capacidad de transmisión de potencia. Los investigadores midieron holguras, desgaste y rugosidad en piezas impresas con poliéster termoplástico reforzado con fibra de carbono. Los resultados validan el método para etapas tempranas de diseño y verificación dimensional.

Además, el aprovechamiento de la inteligencia artificial y los sistemas basados en el conocimiento está transformando el diseño de transmisiones por engranajes, creando plataformas inteligentes que facilitan la automatización de la selección y optimización de los componentes. En particular, los sistemas basados en reglas y casos han demostrado ser herramientas eficientes para el diseño adaptativo de engranajes cilíndricos, como se muestra en aplicaciones desarrolladas para la industria azucarera (Becerra Ferreiro, 2020).

El estudio modela engranajes industriales midiendo radios primitivos, ángulos de presión, módulos y holguras. Calcula tensiones de contacto y flexión mediante ecuaciones de

Hertz y Lewis. Simula engranes rectos, helicoidales y cónicos bajo cargas estáticas y dinámicas. Selecciona aceros cementados, bronces al níquel o poliamidas reforzadas según par, velocidad y temperatura. Determina vida útil en ciclos con curvas de fatiga ISO. Emplea software de elementos finitos para verificar desgaste, vibración y ruido. El diseño depura procesos de mecanizado en talleres competitivos y reduce fallos catastróficos en líneas de montaje.

PROBLEMA

Los sistemas de transmisión mecánica mueven fuerza y velocidad entre ejes en plantas de proceso. Dentro de ellos, los trenes de engranajes ajustan par con precisión milimétrica cuando el motor entrega régimen distinto al que exige la máquina operada. García Larrea (2016) documentó casos en los que un solo engranaje cilíndrico recto soportó 1,2 kN·m durante 8 000 horas sin desgaste medible. El diseño actual enfrenta obstáculos - perfiles que minimizan fricción, dientes que resisten grietas por fatiga, tolerancias de $\pm 0,01$ mm y tolerancias compatibles con fresado de cinco ejes.

A pesar del amplio uso de reductores de velocidad en sectores como el manufacturero, minero, agroindustrial y de automatización, persisten problemas recurrentes asociados a fallas prematuras por contacto superficial o flexión de los dientes, ruidos excesivos por errores en el alineamiento o perfil, e ineficiencia energética por pérdidas por fricción y sobredimensionamiento (Lombana Pompei, 2019).

Las fallas generan costos económicos, que significan pérdidas por las paradas no programadas, los mantenimientos correctivos y reemplazo de componentes, son la consecuencia derivada de los errores de diseño, la selección incorrecta de materiales o el análisis estructural deficiente.

La limitada incorporación de herramientas digitales avanzadas para el modelado y análisis de engranajes es otro aspecto crítico. A pesar de existir software CAD/CAE como SolidWorks, Inventor y Ansys, muchas industrias aún basan su diseño en métodos tradicionales que, aunque válidos, no permiten simular con exactitud los esfuerzos dinámicos y deformaciones reales a los que estarán sometidos los componentes durante su operación (Sáenz Niño, 2015).

1.1. JUSTIFICACIÓN

El diseño y análisis de engranajes ocupa un lugar central en la ingeniería mecánica contemporánea. Los dientes de acero transmiten par desde un eje motriz hasta un eje conducido con pérdidas inferiores al 3 % cuando el perfil de involuta se talla dentro de la clase de precisión 6 según ISO 1328. Un diseño deficiente provoca picaduras superficiales, roturas por flexión y vibraciones que elevan el consumo eléctrico en torno al 12 %.

El proyecto responde a la necesidad de engranajes que soporten 1,5 veces la carga nominal sin fractura. El software de elementos finitos calcula la tensión de contacto en cada flanco, predice la temperatura en la zona de engrase y reduce el prototipo virtual hasta que el factor de seguridad supere 2,4. El conocimiento obtenido se integra en hojas de ruta que las plantas de montaje aplican para disminuir el tiempo de ajuste en bancada.

González Monsalve (2024) documenta que el 62 % de los fallos en sistemas rotatorios nace en engranajes o rodamientos. La selección de módulo, ángulo de presión y dureza superficial, respaldada por simulación digital, reduce la tasa de fallos a la mitad, alarga la vida útil por encima de los 20. 000 h y recorta el consumo energético en torno al 8 %.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar el modelado y análisis de mecanismos de engranajes utilizados en aplicaciones industriales.

1.2.2. Objetivos específicos

- Calcular los parámetros geométricos y mecánicos clave para diseñar correctamente el sistema de transmisión por engranajes.
- Diseñar el sistema de transmisión por engranajes adaptado a una aplicación industrial específica.
- Analizar el parámetro del sistema de transmisión mediante herramientas de simulación.

1.3. METODOLOGÍA

1.3.1. Procedimiento

La metodología adoptada en este estudio se fundamenta en un enfoque técnico y sistemático que facilita el diseño, la modelización y el análisis de un sistema de transmisión por engranajes, adaptado a un contexto industrial concreto. Para arrancar, se junta información práctica del sistema donde la transmisión va a trabajar incluyendo datos clave como la fuerza, la rapidez, el par motor y las cargas. Luego, se hacen las cuentas necesarias para incrustar las medidas exactas del sistema de engranajes, considerando cosas importantes como la relación de transmisión, qué tipo de engranaje va mejor, cuántos dientes lleva, el módulo y la presión que aguantará cada pieza.

El análisis realizado se desarrolla de acuerdo con las normativas AGMA (American Gear Manufacturers Association) (Asociación Estadunidense Fabricante De Engranajes) en base a los criterios de diseño mecánico reconocidos, a fin de asegurar la seguridad y el desempeño del mecanismo.

Subsecuentemente, se lleva a cabo el diseño tridimensional del sistema en un entorno de diseño a medida CAD (Diseño Asistido Por Computadora), facilitando así el ensamblaje virtual de los componentes y la validación de su adecuada disposición espacial.

Se implementan cargas y condiciones reales de operación en simulaciones estructurales del modelo digital para evaluar su comportamiento mecánico mediante instrumentos CAE (Computer-Aided Engineering) (Diseño Asistido por Computadora).

Por lo tanto, se ajusta el diseño antes de manufacturar, para la detección de puntos débiles, alteraciones y roturas probables. Además, se evalúa si el aparato es viable y se especifican los cambios, como respuesta a las evaluaciones y esto conlleva a su correcto funcionamiento, el aguantar y para la implementación en distintas industrias.

El análisis echó mano del cálculo, el diseño de maquinaria, la simulación de estructuras y la aprobación de un ingeniero, con una perspectiva técnico-cuantitativa.

1.3.2. Técnicas

La investigación se basó en técnicas de cálculo, diseño mecánico, simulación estructural y validación de ingeniería, con un enfoque técnico-cuantitativo. Se aplicó la técnica del análisis funcional para identificar los requerimientos mecánicos del sistema industrial en el que será implementado el mecanismo de engranajes en la primera etapa. Estableció parámetros como torque, velocidad de rotación, potencia transmitida, régimen de trabajo y condiciones de carga. Esta técnica permitió. Se utilizaron fórmulas normalizadas por la AGMA para determinar los principales parámetros del sistema mediante la técnica de diseño por cálculo mecánico tradicional a partir de estos datos.

Cada parte y componente de la transmisión fue originalmente creada virtualmente, con la utilización y aprovechamiento de programas CAD como SolidWorks. De la misma manera, se implementó el modelado paramétrico en tres dimensiones. Dentro de las ventajas del método utilizado fue la posibilidad de confirmar el encaje perfecto del sistema y detectar cualquier choque o fallo en las medidas. Además, se recurrió al análisis de elementos finitos FEM (Finite Element Method) (Método de los elementos finitos) con programas CAE, como SolidWorks simulation, para valorar el comportamiento del sistema ante cargas reales.

Identificando zonas críticas o sobrecargadas, esta técnica permitió obtener distribuciones de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad. Se aplicó la técnica de evaluación de diseño para validar la viabilidad del sistema diseñado y proponer recomendaciones de mejora, mediante comparación con estándares técnicos, literatura especializada y casos industriales similares.

1.3.3. Métodos

La investigación se desarrollará con un enfoque cuantitativo, aplicado y experimental, combinando métodos científicos e ingeniería. Para entender a fondo cómo opera el sistema de transmisión, tanto por partes como en su totalidad, se optó por un enfoque analítico, desglosándolo en sus elementos básicos. Se estudiaron minuciosamente las necesidades del sistema industrial, sentando así bases técnicas sólidas para el diseño mecánico.

Para dar solución al desafío planteado, se puso en práctica la metodología de diseño ingenieril. Los aspectos geométricos y de función del sistema de engranajes, tales como la cantidad de dientes, el módulo, los diámetros, la relación de transmisión y la forma de acoplamiento, quedaron definidos tras realizar cálculos estandarizados (AGMA, ISO y DIN).

El método computacional fue crucial para realizar el modelado tridimensional y la simulación estructural del sistema con herramientas CAD y CAE. Dado que, se aplicó el método experimental-simulado, con el objetivo de predecir el comportamiento mecánico, para el análisis del sistema bajo condiciones de carga reales donde se evaluaron los elementos finitos. Antes de implementar el diseño, se evaluó su desempeño, se detectaron zonas críticas y se validó.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIONES

2.1.1. Fundamentos de transmisión mecánica por engranajes

El sistema de engranajes es, sin duda, una de las formas más seguras y efectivas de pasar la fuerza y el movimiento rotatorio entre las partes que giran en una máquina. Funciona gracias al contacto entre los dientes de las ruedas dentadas, que envían la fuerza de giro y la velocidad de un eje a otro, enganchándose directamente.

Este tipo de transmisión se usa un montón en equipos de fábricas, coches, tractores y herramientas de alta precisión, ya que mantiene la velocidad siempre igual, es muy eficiente y apenas se desliza (Shigley, 2012).

Los engranajes más típicos son los rectos, los helicoidales, los cónicos y los de tornillo sin fin, y se organizan según cómo están colocados sus ejes y la forma de sus dientes. Cada uno va mejor para ciertas cargas, velocidades o espacios, gracias a sus detalles

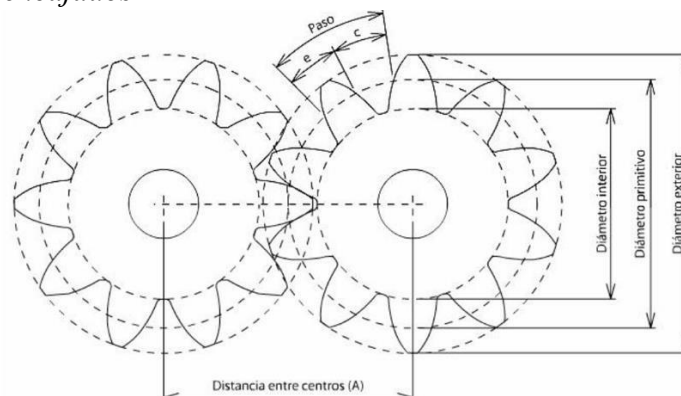
especiales. Las reglas como AGMA 2001-D04 o ISO 6336 controlan cómo se diseñan los engranajes, fijando cosas como cuántos dientes tienen, el tamaño, la relación de transmisión, el ángulo de presión y las tensiones mecánicas.

2.1.1.1. Engrane

El engranaje es un método antiguo pero efectivos para transferir fuerza al corazón de los sistemas mecánicos. Su concepto esencial se basa en la conexión entre dos o más ruedas dentadas, en dichas partes se unen exactamente, lo que permite a través de su contacto para pasar el giro, la celeridad y el par motor entre ejes que pueden ser paralelos, perpendiculares o incluso cruzados (Shigley, 2012). Este modo de transmisión es esencial por su alta eficacia, y exactitud en la tasa de velocidad y resistencia en comparación con otras alternativas como las cintas o las cadenas.

Desde la perspectiva de la ingeniería, el engrane se ha convertido en un componente crítico dentro de máquinas industriales, automóviles, elevadores, sistemas de automatización y equipos de precisión. Su diseño requiere cumplir con normas internacionales como las de la AGMA e ISO, las cuales regulan los procedimientos de cálculo y verificación estructural para evitar fallas por fatiga, pitting o fractura del diente (García Larrea, 2016).

Figura 1 Engranajes encajados



Fuente: (Oil, 2006)

2.1.1.2. Relación de transmisión

La relación de transmisión es uno de los conceptos fundamentales en el estudio y diseño de sistemas de engranajes, ya que define la proporción entre la velocidad angular de entrada y la velocidad angular de salida en un sistema mecánico. Este parámetro permite transformar velocidades y torques de manera controlada, adaptando el movimiento de los motores a las necesidades específicas de cada máquina o proceso industrial (Shigley, 2012).

Su correcta determinación es esencial para garantizar la eficiencia del sistema, el aprovechamiento de la potencia disponible y la durabilidad de los componentes involucrados.

$$i = \frac{np}{ng} = \frac{NG}{NP}$$

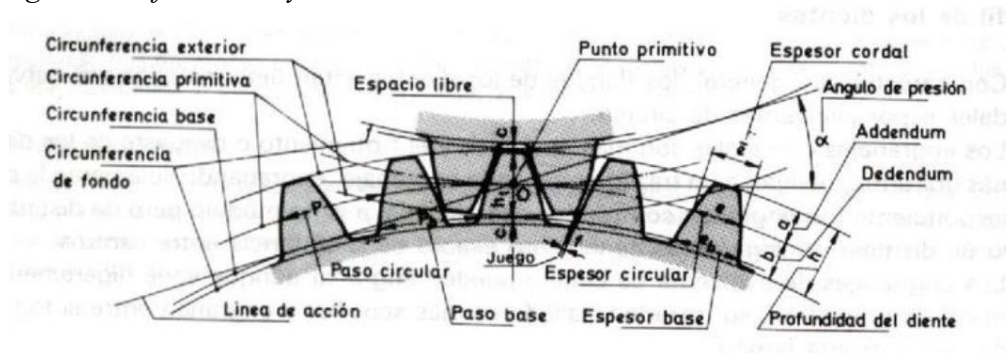
Donde:

np = número de revoluciones por minuto del piñón ng =
número de revoluciones por minuto del engrane

NP = número de dientes del piñón

NG = número de dientes del engrane

Figura 2 Definiciones y relaciones en el dentado



Fuente: (Larburu, 2000)

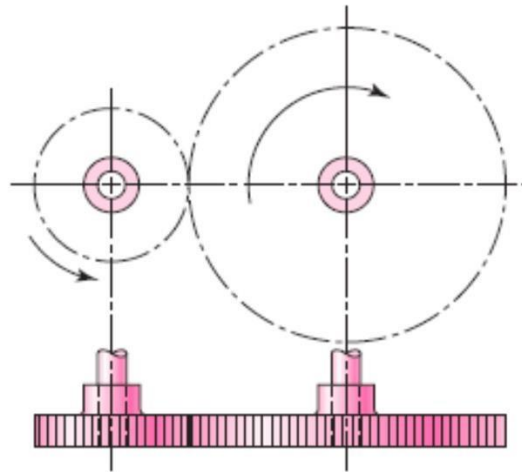
2.1.2. Tipos de engranes

A continuación, se describirán varios tipos de engranes con distintas geometrías de dientes que se usan con frecuencia:

- **Engranes rectos**

Los engranajes rectos son el tipo más básico y ampliamente utilizado en los sistemas de transmisión mecánica. Están formados por ruedas dentadas cuyos dientes son paralelos al eje de rotación, y se emplean principalmente para transmitir movimiento entre ejes paralelos. Debido a su diseño simple y eficiente, los engranajes rectos son comúnmente utilizados en maquinaria industrial, cajas reductoras, transmisiones automotrices, sistemas elevadores y diversos equipos de precisión (Shigley, 2012).

Figura 3 Engranaje Recto



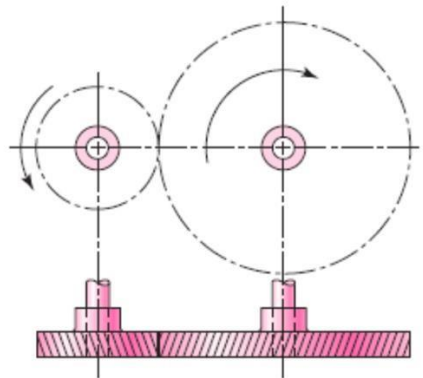
Fuente: (Budynas, 2008)

- **Engranajes helicoidales**

Los engranajes helicoidales son un gran avance en comparación con los engranajes rectos, ya que proporcionan una transmisión del movimiento que es mucho más suave, silenciosa y continua. En este tipo de engranajes, los dientes están diseñados en forma de hélice alrededor del cilindro de paso, lo que permite que el contacto entre los dientes sea gradual en lugar de brusco, como sucede con los engranajes rectos. Esta característica ayuda a reducir significativamente el impacto inicial al engranar, lo que a su vez disminuye la vibración, el ruido y el desgaste. Por eso, son especialmente ideales para sistemas que funcionan a altas velocidades o bajo condiciones de carga constante (Shigley, 2012).

Los engranajes helicoidales se encuentran en diversas aplicaciones, como en la industria automotriz, en cajas de cambio, en sistemas de transmisión pesada y en maquinaria industrial, donde se busca un funcionamiento eficiente y silencioso. Su versatilidad es mayor que la de otros tipos de engranajes, ya que pueden transmitir potencia entre ejes que son paralelos o cruzados. Al diseñar sistemas que soportan cargas axiales considerables, es importante tener en cuenta elementos adicionales, como cojinetes, que ayudan a absorber las fuerzas laterales (Sáenz Niño, 2015).

Figura 4 Engranaje Helicoidales

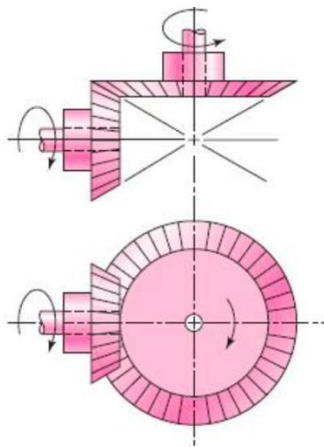


Fuente: (Budynas, 2008)

- **Engranajes cónicos**

Los engranajes cónicos son elementos fundamentales en sistemas de transmisión que requieren transferir potencia entre ejes que se intersectan, comúnmente en un ángulo de 90 grados. Su geometría se caracteriza por presentar dientes dispuestos sobre un tronco de cono, lo cual permite que el contacto se produzca de manera eficiente entre superficies cónicas en lugar de cilíndricas.

Figura 5 Engranaje Cónico

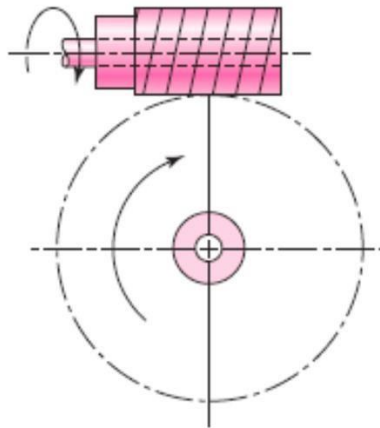


Fuente: (Budynas, 2008)

- **Tornillo sinfín**

El mecanismo de tornillo sinfín es una solución ampliamente utilizada en transmisiones mecánicas que requieren altas relaciones de reducción de velocidad en espacios reducidos. Este sistema está compuesto por dos elementos principales: el tornillo sinfín, que actúa como elemento motriz con un perfil helicoidal, y la rueda sinfín, un engranaje similar a una corona dentada que recibe el movimiento (Shigley, 2012).

Figura 6 Sin fin

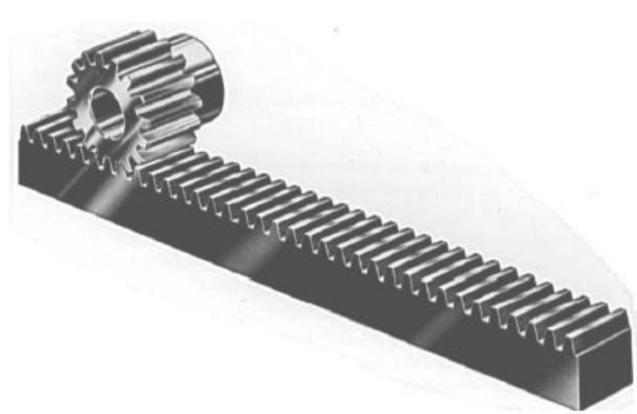


Fuente: (Budynas, 2008)

- **Cremallera**

El sistema de engranaje de cremallera y piñón es un mecanismo de transmisión mecánica diseñado para convertir el movimiento rotatorio en movimiento lineal, o viceversa. Está compuesto por dos elementos principales: un piñón, que es una rueda dentada circular, y una cremallera, que es una barra recta con dientes tallados en su superficie longitudinal (Shigley, 2012).

Figura 7 Cremallera

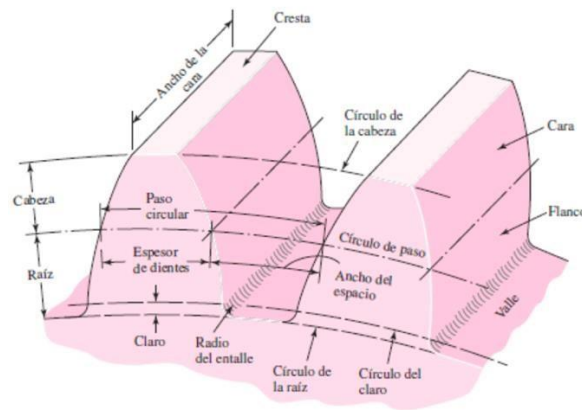


Fuente: (Norton, 2011)

2.1.3. Nomenclatura en engranajes rectos

Se ilustra en la figura 8 la terminología de los dientes de engranaje recto. El diámetro de paso es un círculo teórico en el que generalmente se fundamentan todos los cálculos. Las trayectorias de un par de engranes interconectados son tangentes entre sí. Un piñón representa el menor de dos engranes conectados; frecuentemente, el más grande se denomina rueda.

Figura 8 *Parámetros engranaje recto*



Fuente: (Budynas, 2008)

- **Paso circular (p):** Se trata de la distancia, cuantificada sobre el círculo de paso, desde un punto en un diente hasta un punto correspondiente en un diente adyacente (L.Mott, 2006).
- **Módulo m:** Ilustra la correlación entre el diámetro de paso y la cantidad de dientes (L.Mott, 2006).
- **Paso diametral Pd:** Está dado por la relación del número de dientes en el engrane respecto del diámetro de paso (L.Mott, 2006).
- **Círculo del claro:** Es un círculo tangente al círculo de la raíz del engrane acoplado (L.Mott, 2006).

2.1.4. Parámetros de diseño normalizados (UNE/AGMA)

El diseño de engranajes implica seguir ciertos parámetros estandarizados que garantizan no solo el buen funcionamiento del sistema de transmisión, sino también su resistencia estructural, su durabilidad y su capacidad para adaptarse a diversas condiciones operativas. Para lograr esto, existen normas internacionales como la AGMA (American Gear Manufacturers Association) y las UNE (Una Norma Española) que han establecido criterios estandarizados. Estas regulaciones abordan aspectos geométricos, dinámicos y estructurales del diseño de engranajes, lo que facilita la interoperabilidad. (AGMA, 2001; Shigley & Mischke, 2012).

Entre los parámetros más relevantes se encuentran el módulo (m), el número de dientes (z), el diámetro primitivo (D), el paso circular (pc) y el ángulo de presión (ϕ). Estos se relacionan mediante las siguientes fórmulas fundamentales:

- **Diámetro primitivo:**

$$D = m \cdot z$$

Donde:

- DD: Diámetro primitivo (mm)
- mm: Módulo del engranaje (mm) - zz: Número de dientes

- **Paso circular:**

$$pc = \pi \cdot m$$

- **Relación de transmisión (i):**

$$i = \frac{z2}{z1}$$

Donde:

- z1: Número de dientes del engranaje conductor
- z2: Número de dientes del engranaje conducido

Además de los parámetros geométricos, la norma AGMA incorpora factores de corrección y resistencia que permiten calcular los esfuerzos de flexión y contacto, fundamentales para prevenir fallos por fatiga. Uno de los enfoques más utilizados es el método AGMA para esfuerzo de flexión:

- **Esfuerzo permisible de flexión (AGMA):**

$$\sigma F = \frac{Wt * Ko * Kv * Ks}{F * m * Yj}$$

Donde:

- Wt: Carga tangencial (N)
- Ko: Factor de sobrecarga
- Kv: Factor dinámico de velocidad
- Ks: Factor de tamaño
- F: Ancho de cara (mm)
- Yj: Factor geométrico del diente

- **Esfuerzo de contacto superficial (AGMA):**

$$\sigma H^* = ZE * \sqrt{\frac{Wt * Ko * Kv * Ks}{F * Dp * I}}$$

Donde:

- ZE: Factor de elasticidad del material
- Dp: Diámetro primitivo
- I: Factor geométrico de contacto

Las normas UNE, en consonancia con los estándares ISO (como la ISO 6336), utilizan enfoques similares, adaptados al contexto europeo, que también consideran condiciones de carga, tipo de diente, dureza del material y coeficientes de seguridad frente a flexión y contacto.

El propósito común de ambas normativas es ofrecer una guía clara para la selección y validación de engranajes, especialmente en aplicaciones industriales críticas donde un fallo podría poner en riesgo todo el sistema (Lombana Pompei, 2019; Sáenz Niño, 2015).

2.1.5. Modelado CAD sistemas de transmisión

El avance en el desarrollo de sistemas mecánicos ha sido transformador gracias a las herramientas de diseño asistido por computadora (CAD). Estas herramientas permiten modelar y simular componentes antes de que se fabriquen físicamente. SolidWorks ha mejorado significativamente los procesos de diseño, verificación geométrica, ensamblaje y análisis funcional de transmisiones por engranajes, lo que facilita la toma de decisiones en las etapas iniciales del proyecto (Villalba Gutiérrez, 2020).

SolidWorks es un entorno CAD paramétrico que permite crear modelos tridimensionales de engranajes con una precisión milimétrica, abarcando incluso sistemas más complejos como tornillos sinfín o cremalleras (García Larrea, 2016).

2.1.5.1. Parámetros diseño engranajes Solidworks

Los principales parámetros que se deben definir al modelar un engranaje en SolidWorks incluyen el módulo (m), el número de dientes (z), el diámetro primitivo (d), el paso circular (p), el ángulo de presión (ϕ), el ancho de cara (b) y el tipo de diente (recto, helicoidal, cónico, entre otros). Estos parámetros influyen directamente en la relación de transmisión, la capacidad de carga, la eficiencia del sistema y la vida útil del engranaje. El entorno de SolidWorks permite que estos datos se introduzcan de manera interactiva y se actualicen dinámicamente conforme se realizan cambios, lo que contribuye a una validación inmediata del diseño en términos geométricos y funcionales (Shigley, 2012).

2.1.5.2. Parámetros simulación Solidworks

La simulación computacional en entornos CAD/CAE permite la validación del comportamiento de los sistemas mecánicos previendo fallas antes de su fabricación. SolidWorks Simulation y SolidWorks Motion son herramientas útiles para medir las variables como esfuerzos mecánicos, deformaciones, distribución de cargas, contactos entre las superficies y comportamientos dinámicos de conjuntos en los que prima el movimiento a través de las transmisiones por engranajes.

Es crucial establecer correctamente los parámetros de simulación para obtener resultados precisos y realistas, los cuales pueden variar dependiendo del tipo de estudio: estático, dinámico, térmico o de contacto (Villalba Gutiérrez, 2020).

Algunos de los parámetros más relevantes que se deben definir al realizar una simulación en SolidWorks son:

- Materiales asignados: Estos determinan cómo se comporta mecánicamente el componente (módulo de elasticidad, resistencia a la tracción, límite de fluencia, etc.).
- Condiciones de frontera: Incluyen restricciones (fijaciones) y cargas aplicadas (fuerzas, pares, presiones, velocidades).
- Malla de elementos finitos: Se define como la precisión del análisis. Una malla más fina ayuda a mejorar la exactitud, además de incrementar el tiempo de cálculo.
- Contactos entre componentes: Pueden ser de tipo ligado (bonded), libre (no penetration) o con fricción, lo que afecta la transmisión real de esfuerzo entre engranajes.
- Parámetros de movimiento: Describen como las simulaciones dinámicas, incluyen la velocidad angular, las aceleraciones, las restricciones cinemáticas y los pares de motores aplicados al sistema.

Estos parámetros permiten no solo simular el comportamiento del sistema ante cargas operativas reales, sino también anticipar fallos estructurales, zonas críticas de tensión y desplazamientos indeseados. De este modo, se reduce el riesgo en etapas posteriores del diseño y se optimiza la confiabilidad del sistema mecánico (García Larrea, 2016), (Lombana Pompei, 2019).

2.2. ANTECEDENTES

El proyecto se desarrolló para empresas de manufactura y maquinaria con sistemas de transmisión mecánica mediante engranajes, en respuesta a una necesidad identificada en el sector industrial. Se requieren soluciones de diseño y análisis más estructurados para enfrentar los retos concernientes con la eficiencia energética, la durabilidad de los componentes mecánicos y la precisión en la transmisión de potencia dentro de las empresas manufactureras.

Por consiguiente, se realizó un estudio sobre los mecanismos en empresas del sector metalmecánico en la región costera de Ecuador, como MetalMecánica Andina S.A., Indumaq S.A. y TecniEngranajes Cía. Las empresas Ltda. Empresas que han reportado problemas recurrentes en sus cajas reductoras y sistemas de transmisión por engranajes, especialmente bajo las condiciones de carga variables.

Las organizaciones que tienen líneas de ensamblaje, bandas transportadoras y sistemas de elevación necesitan mecanismos de transmisión confiables, robustos y fáciles de

mantener para garantizar la continuidad operativa. Los reportes técnicos han evidenciado fallos por desgaste prematuro, mala alineación de ejes, vibraciones y pérdidas de eficiencia en los sistemas de engranajes. La falta de análisis previo mediante herramientas de simulación y diseños poco optimizados son las principales causas de los problemas (Moreno, 2020).

El proyecto promueve el uso de herramientas de diseño asistido por computadora para el análisis predictivo de componentes críticos, alineado con las tendencias actuales de la ingeniería aplicada en contextos industriales y recomendaciones de organismos internacionales como la AGMA y normas como la ISO 6336 (AGMA, 2001).

Antes de comenzar este proyecto, se encontraban varias iniciativas tanto académicas como industriales, enfocadas en el estudio de los sistemas de transmisión por engranajes. Investigaciones que reflejaban que estaban centradas especialmente en el diseño convencional, el cálculo mecánico y las aplicaciones en maquinaria de uso general. Dado el contexto industrial de Ecuador, algunas de las soluciones utilizadas para las transmisiones de potencia todavía se basan en modelos estandarizados y genéricos, que normalmente se compran comercialmente o se diseñan sin herramientas avanzadas de simulación. Esto limita la capacidad de optimizar la eficiencia mecánica y de adaptar los sistemas a condiciones específicas de operación (Moreno, 2020).

En el ámbito académico, investigaciones como la de García, (2016) han explorado el diseño de cajas reductoras utilizando cálculos analíticos y modelado tridimensional con herramientas CAD, mostrando que es viable usar software como SolidWorks para representar con precisión engranajes rectos y simular su ensamblaje. Sin embargo, muchos de estos estudios se quedan en la creación de modelos geométricos y no avanzan hacia un análisis computacional del comportamiento estructural o dinámico de los mecanismos. En la misma línea, (Lombana Pompei, 2019) presentó un estudio sobre el diseño de un reductor de velocidad para un puente grúa, donde desarrolló el modelado geométrico y validó algunos parámetros normativos, pero sin realizar un análisis detallado mediante elementos finitos que pudiera prever el comportamiento bajo carga. Además, investigaciones en el entorno latinoamericano han señalado las deficiencias comunes en la integración entre el diseño de engranajes y su análisis estructural.

Por ejemplo, en el trabajo de (Rodríguez, 2020), se descubrió que muchos sistemas de transmisión sufren fallas prematuras debido a un mal ajuste dimensional y a la falta de simulaciones predictivas, especialmente en sectores donde los componentes se diseñan de manera empírica, estas limitaciones han llevado a sobrecostos.

El proyecto ajusta el modelado 3D de engranajes en SolidWorks con un análisis por elementos finitos del sistema de transmisión. Por lo cual, conlleva a anticipar esfuerzos, deformaciones y puntos críticos antes de su implementación. Al efectuar esta fusión, podemos aumentar notablemente la confiabilidad de los sistemas de transmisión en aplicaciones industriales, un área que aún no ha sido muy explorada en nuestro entorno técnico local.

2.3. TRABAJOS RELACIONADOS

Investigadores de Europa y Asia han publicado trabajos pormenorizados sobre transmisiones por engranajes. Los equipos italianos de la Universidad de Trento combinaron análisis de elementos finitos con optimización topológica para rediseñar engranajes helicoidales de camiones de 40 t. El modelo CAD/CAE redujo la masa un 15 % sin rebasar el límite de fatiga de 650 MPa. En Japón, la Universidad de Tokio midió tensiones residuales mediante difracción de rayos X en dientes endurecidos por inducción, donde el perfil modificó el radio de 0,8 mm a 1,2 mm y prolongó la vida útil en 2,3 millones de ciclos.

El Instituto Alemán de Tecnología de Aachen integró sensores piezoeléctricos en cajas de cambio de 16 velocidades, así los registros mostraron picos de 4,5 kN en engranajes de quinta. Los resultados confirman que el software avanzado predice fallos antes de la primera prueba en banco. Además, demuestran que el modelado computacional no es solo una herramienta de visualización, sino una etapa esencial en el diseño predictivo moderno, particularmente al buscar mejorar la eficiencia energética, reducir fallos y optimizar el mantenimiento de sistemas de transmisión mecánica. (Benedetti, 2019).

En el continente americano, varios estudios también han abordado el diseño y análisis de engranajes mediante herramientas CAD y simulación computacional, destacándose investigaciones desarrolladas en países como México, Brasil y Argentina, donde el fortalecimiento de la industria manufacturera ha impulsado la necesidad de sistemas de transmisión mecánica más eficientes y duraderos. Por ejemplo, en México, (RamírezVázquez, 2020) desarrollaron un modelo tridimensional de un sistema de engranajes helicoidales utilizando SolidWorks y ANSYS, aplicado a una máquina troqueladora industrial.

Este estudio incorporó cálculos de acuerdo con la norma AGMA y análisis estructural a través de elementos finitos, logrando reducir las concentraciones de esfuerzo en un porcentaje de 22%. Lo que permitió extender la vida útil del sistema, a esto se añade de manera positiva que los costos de fabricación no aumentan. Silva (2019) propone un estudio sobre la simulación dinámica de transmisiones por engranajes cónicos en sistemas de elevación industrial, recalcando la importancia de asignar de manera correcta las condiciones

de frontera y el contacto entre dientes, lo que permite asegurar una predicción precisa del comportamiento del mecanismo en estudio.

Estos trabajos refuerzan la creciente tendencia en América Latina hacia la adopción de entornos CAD/CAE como herramientas clave en la ingeniería mecánica, especialmente para abordar desafíos como el desgaste prematuro, la transmisión de cargas irregulares y la eficiencia energética en sistemas industriales. Además, demuestran cómo la aplicación rigurosa de normas internacionales, junto con el uso de simulaciones estructurales, contribuye de manera significativa al diseño de componentes más seguros, livianos y optimizados funcionalmente. A nivel nacional, también se han llevado a cabo investigaciones importantes enfocadas en el diseño y simulación de sistemas de engranajes para aplicaciones industriales. Un ejemplo notable se encuentra en la provincia de Pichincha, donde (García Larrea, 2016), en la Universidad Internacional SEK, llevó a cabo un proyecto de diseño y simulación de una caja reductora de velocidad para maquinaria agrícola, utilizando SolidWorks como herramienta de modelado tridimensional.

Asimismo, en la provincia de Tungurahua, (Villalba Gutiérrez, 2020) desarrolló un análisis más detallado de un tren de engranajes utilizando SolidWorks y su módulo de análisis por elementos finitos, enfocado en la mejora de la resistencia de los componentes y en la reducción de zonas de concentración de esfuerzos. Este trabajo demostró la importancia de aplicar técnicas de simulación estructural en la etapa de diseño para prever fallos mecánicos y optimizar el desempeño del sistema, con miras a su posterior implementación en pequeñas industrias del sector metalmecánico de Ambato.

En la provincia de Manabí, los estudios revisados y analizados en el proceso de investigación se encuentran enfocados en la eficiencia energética, la automatización básica y el mantenimiento de equipos, sin embargo, no abordan a profundidad el diseño estructural de componentes mecánicos como es el caso de los engranajes.

De la misma manera, los repositorios institucionales, teniendo en cuenta en primera instancia el de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) y el Instituto Tecnológico Superior de Portoviejo, deja entrever que los trabajos existentes se concentran en la investigación y realización del mantenimiento predictivo, el control de motores eléctricos y la instalación de sistemas electromecánicos, desistiendo de la ejecución de la simulación estructural de sistemas de engranajes.

Este proyecto abarca la unión del modelado CAD tridimensional de engranajes con análisis estructural, a través de simulaciones computacionales avanzadas en el ámbito técnico de Manabí, aportando en las investigaciones y desarrollo de proyectos que potencialicen la provincia.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA

La propuesta abarca el cálculo de dimensiones de los engranajes, el diseño del sistema de transmisión, el modelado 3D utilizando SolidWorks, así como la simulación estructural y cinemática, y un análisis técnico-económico. Este capítulo combina conocimientos normativos, criterios de ingeniería mecánica aplicada y herramientas digitales para el modelado paramétrico.

Cada sección incluye los fundamentos teóricos y prácticos para justificar las decisiones técnicas en el diseño del sistema. Para simular el desempeño del sistema de transmisión, se necesitan los planos constructivos, diagramas de funcionamiento, selección de materiales, condiciones de operación y parámetros de entrada.

3.1.DESARROLLO

Se especifica la implementación práctica de la propuesta para solucionar el problema técnico identificado en el Capítulo I: diseñar y analizar un sistema de transmisión por engranajes para aplicaciones industriales. Contiene desde la etapa de los cálculos mecánicos iniciales, así también, la ejecución de la propuesta abarca la simulación y análisis funcional del sistema modelado, donde se estructura en función de los objetivos específicos preliminarmente establecidos.

Se describe la metodología técnica aplicada, las herramientas informáticas utilizadas en el proceso, los parámetros de diseño con la normativa requerida, y las variables físicas y operativas consideradas durante el proceso de modelado. Dentro de las herramientas parte del proyecto como SolidWorks y su módulo de simulación, junto con los parámetros UNE/AGMA.

De tal manera, se detallan las etapas del diseño CAD y la creación de planos técnicos. Además, se presenta un desglose de los recursos económicos y materiales utilizados, cabe indicar los componentes adquiridos, los costos asociados al desarrollo del prototipo o simulación, y los requisitos técnicos para la implementación del proyecto. Dado que la información recopilada a lo largo del proceso de investigación es clave para evaluar la viabilidad del proyecto.

3.1.1. Descripción de la propuesta

Realizar los cálculos necesarios para determinar los parámetros geométricos y mecánicos que permitan un diseño adecuado del sistema de transmisión por engranajes.

El primer paso ejecutado en el desarrollo del sistema de transmisión, es la elaboración y comprobación de los cálculos necesarios para definir los parámetros geométricos y mecánicos esenciales del tren de engranajes. Si bien, es fundamental recalcar que los cálculos son esenciales para un diseño funcional y seguro, puesto que da a asegurar que el sistema

transmita el par y la velocidad deseados sin problemas de fatiga, desalineación o contacto inadecuado entre los dientes.

Se presentan dos propuestas para el sistema de transmisión, lo que implica escoger la mejor opción teniendo en cuenta el costo, la calidad y el cumplimiento de parámetros. El sistema reduce la velocidad de entrada de 1800 rpm a 25 rpm, necesitando una relación de transmisión total de aproximadamente 72:1. Se optó por un diseño en tres etapas de engranajes rectos para evitar diferencias excesivas entre diámetros de ruedas dentadas y piñones debido a la magnitud de la reducción. La aplicación industrial de la caja de transmisión es para una banda transportadora como se muestra en la figura 9:

Figura 9 Sistema de banda transportadora con reductor de velocidad



Fuente: Elaboración propia

- Diseñar el sistema de transmisión por engranajes adaptado a una aplicación industrial específica.

En la instancia de estar los parámetros geométricos y mecánicos fundamentales del tren de engranajes establecidos, se analizan las dos propuestas viables de configuración para la transmisión, así se procedió al desarrollo del diseño detallado del sistema, tomando como base aquella alternativa que ofreciera un mejor equilibrio entre funcionalidad, costo y calidad. Diseño que está orientado a una aplicación industrial específica: el accionamiento de una banda transportadora, que requiere una transmisión robusta, eficiente y confiable, que sea capaz de reducir una velocidad de entrada de 1800 rpm a una salida controlada de 25 rpm, equivalente a una relación de transmisión de 72:1.

Debido a la alta reducción requerida, se seleccionó una arquitectura de tres etapas de engranajes rectos, configuradas en cascada. Esta solución permite distribuir la carga en varias etapas, lo que evita que los engranajes tengan dimensiones excesivas y favorece una geometría más compacta y fácil de mantener. Cada etapa fue diseñada teniendo en cuenta

módulos estandarizados, un número de dientes que sean compatibles y distancias entre ejes que aseguren un engranaje adecuado, sin interferencias ni fatiga por contacto.

El diseño del sistema se llevó a cabo completamente en SolidWorks, utilizando modelado paramétrico para representar con precisión los componentes del tren de engranajes: ruedas dentadas, piñones, ejes, chavetas y carcasa.

Además, se integró el diseño del bastidor contenedor y los alojamientos de rodamientos, fundamentales para garantizar la alineación y estabilidad de la transmisión. Para ello se tomaron en cuenta aspectos técnicos como:

- Distribución de los pares de engranajes por etapa y sus diámetros primitivos.
- Cálculo del par transmitido por cada eje, a fin de dimensionarlos adecuadamente.
- Selección preliminar de materiales resistentes a desgaste y esfuerzo, como acero 1045 para los engranajes y ejes, y fundición gris para la carcasa.
- Analizar los parámetros del sistema de transmisión mediante herramientas de simulación.

La tercera y última etapa de esta propuesta tiene como propósito analizar el comportamiento cinemático del sistema de transmisión por engranajes, mediante la simulación computacional utilizando el módulo SolidWorks Motion, el cual permite estudiar el movimiento relativo de los componentes mecánicos en condiciones de funcionamiento reales. Este análisis resulta fundamental para validar la eficiencia de la transmisión, la correcta distribución de velocidades entre etapas, y la integridad dinámica del diseño, especialmente en una aplicación industrial como lo es el accionamiento de una banda transportadora.

La simulación se centra en crear las curvas de velocidad angular de entrada y salida del sistema, lo que nos ayuda a ver cómo se comporta cada etapa de los engranajes y a verificar que la relación de transmisión total, que debería ser de aproximadamente 72:1, se cumpla como se diseñó. A través de la simulación de movimiento en SolidWorks, se modelaron las tres etapas de engranajes rectos, se aplicó una velocidad angular inicial de 1800 rpm en el eje de entrada, y se registró el comportamiento dinámico del sistema en un intervalo de tiempo simulado.

Los resultados generados incluyen:

- Curvas de velocidad angular en función del tiempo para cada eje (entrada, intermedios y salida).
- Confirmación de la reducción progresiva de velocidad, etapa por etapa, con base en las relaciones de engranajes calculadas.

- Verificación de la sincronía y continuidad del sistema, sin bloqueos, interferencias ni pérdida de energía por desalineación.

3.1.2. Etapas

- **Etapas 1:** Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 1.

El fundamento básico para la realización de cálculos se tiene:

- **Cálculo de la relación de transmisión:**

$$it = \frac{N_{entrada}}{N_{salida}}$$

En términos generales, se busca que cada etapa no exceda una relación de 10:1 para asegurar que las proporciones constructivas sean razonables. La relación total de transmisión se distribuye entre el número de etapas seleccionadas. Se reparte de manera equilibrada entre las etapas para lograr un diseño uniforme. Desde el punto de vista matemático, se obtiene la raíz n-ésima de la relación total, donde n es el número de etapas.

$$i_{etapa} = \sqrt[n]{it}$$

- **Selección de número de dientes para piñón**

Para evitar interferencias y asegurar una adecuada generación del perfil involuta, se seleccionan combinaciones estándar de número de dientes. El número mínimo de dientes en un piñón recto suele ser 17–20 para ángulos de presión de 20°, con módulo estándar. -

Diámetro de los engranajes

Los diámetros de los engranajes se relacionan directamente con el número de dientes y el módulo. El diámetro primitivo es esencial para el contacto de los dientes y el cálculo del centro de montaje. El diámetro externo sirve para definir el espacio físico requerido.

Diámetro primitivo:

$$d = m \cdot Z$$

Diámetro externo:

$$de = m \cdot (Z + 2)$$

- **Cálculo distancia entre ejes**

La separación entre los centros de dos engranajes en contacto se calcula sumando sus diámetros primitivos y dividiendo entre dos. Esta distancia se debe respetar en el diseño del bastidor o carcasa para garantizar un engrane correcto.

$$a = \frac{d1 + d2}{2}$$

- Selección de material

Esto se fundamenta en el precio y la calidad del reductor. Existen materiales que pueden ser costosos, pero en nuestro caso, considerando que es para una cinta transportadora, no necesitamos gastar tanto. Vamos a utilizar acero negro AISI 1015, y lo mismo aplicará para la caja.

• **Etapas 2:** Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 2

El cumplimiento del segundo objetivo específico requirió una serie de actividades técnicas centradas en el análisis y el dimensionamiento preliminar del sistema de transmisión con engranajes rectos. Estas actividades nos permitieron definir las condiciones geométricas clave que servirían como base para el diseño posterior. La meta era asegurar que el sistema de engranajes pudiera reducir la velocidad de 1800 rpm en el eje del motor a 25 rpm en el eje de salida, cumpliendo con los requisitos funcionales de una banda transportadora industrial.

Para lograrlo, se abordaron las siguientes actividades:

- **Determinación de la relación de transmisión total requerida:**

Se calculó una relación de transmisión de aproximadamente 72:1, obtenida del cociente entre la velocidad de entrada (1800 rpm) y la velocidad deseada de salida (25 rpm).

$$i = \frac{1800}{25} = 72$$

- **Selección de módulo y parámetros normalizados:**

Se definió un módulo normalizado de 4 mm y un ángulo de presión de 20°, bajo estándares UNE/AGMA.

- **Desarrollo de dos configuraciones alternativas de diseño** Se propusieron y evaluaron dos configuraciones:

Opción 1: Sistema de dos etapas, con engranajes grandes, simple, pero de dimensiones excesivas.

Los datos iniciales son:

- Velocidad de entrada: $N_1=1800$ RPM
- Velocidad de salida requerida: $N_{salida}=25$ RPM
- Relación total de transmisión: 72:1
- Configuración: 2 etapas
- Módulo normalizado: $m=4$ mm
- Ángulo de presión: $\alpha=20^\circ$

Para dos etapas, se busca que cada una tenga una relación aproximadamente igual:

$$i_1 = i_2 = \sqrt{72} \approx 8.49$$

Elegimos dientes reales estándar para evitar interferencias y facilitar manufactura:

- Piñón Z1 = 18 dientes
- Engranaje Z2 = 153 dientes

$$i1 = \frac{z1}{z2} = \frac{153}{18} = 8.5$$

- Piñón Z3 = 18 dientes
- Engranaje Z4 = 153 dientes

$$i2 = \frac{z3}{z4} = \frac{153}{18} = 8.5$$

Relación total:

$$it = i1 * i2 = 72.25$$

$$Nsalida = \frac{1800}{72.25} = 24,91 \text{ RPM}$$

Las revoluciones de salida son las deseadas, ahora revisamos los diámetros:

Etapas 1:

Tabla 1 Diametros etapa 1

<u>Engranaje</u>	<u>Z</u>	<u>d (mm)</u>	<u>de (mm)</u>
<u>Z1 (piñón)</u>	<u>18</u>	<u>72 mm</u>	<u>80 mm</u>
<u>Z2</u>	<u>153</u>	<u>612 mm</u>	<u>620 mm</u>

Fuente: Elaboración propia

Etapas 2:

Tabla 2 Diametros etapa 2

<u>Engranaje</u>	<u>Z</u>	<u>d (mm)</u>	<u>de (mm)</u>
<u>Z3 (piñón)</u>	<u>18</u>	<u>72 mm</u>	<u>80 mm</u>
<u>Z4</u>	<u>153</u>	<u>612 mm</u>	<u>620 mm</u>

Fuente: Elaboración propia

Al tener esta opción con diámetros demasiado grandes, se descarta, el diseño es poco compacto y difícil de fabricar.

Opción 2: Sistema de configuración a tres etapas, con engranajes más compactos, permitiendo una mejor distribución del par, facilidad de montaje y reducción progresiva más eficiente.

$$i1 = i2 = i3 = \sqrt[3]{72} \approx 4.16$$

Considerando la relación de transmisión se propone que el piñón (engranaje pequeño) tenga 20 dientes y con esa consideración se tiene:

Tabla 3 Dientes por etapas

<u>Piñón</u>	<u>Z</u>	<u>Rueda</u>	<u>Z</u>	<u>Relación</u>
Z ₁	20	Z ₂	84	4.2
Z ₃	20	Z ₄	84	4.2
Z ₅	20	Z ₆	84	4.2

Fuente: Elaboración propia

Con esta configuración se tiene las velocidades:

Tabla 4 Velocidades por etapa

<u>Etapas</u>	<u>Relación i</u>	<u>RPM entrada</u>	<u>RPM salida</u>
Etapas 1	4.2	1800	428.57 RPM
Etapas 2	4.2	428.57	102.04 RPM
Etapas 3	34.2	102.04	24.29 RPM

Fuente: Elaboración propia

Los diámetros de los engranajes se tienen lo siguiente:

$$d = m \cdot Z$$

$$de = m \cdot (Z + 2)$$

Tabla 5 Diametro de los engranajes

<u>Engranaje</u>	<u>Z</u>	<u>Diámetro primitivo (mm)</u>	<u>Diámetro externo (mm)</u>
Z ₁ , Z ₃ , Z ₅ (piñones)	20	80 mm	88 mm
Z ₂ , Z ₄ , Z ₆ (ruedas)	84	336 mm	344 mm

Fuente: Elaboración propia

La distancia entre ejes se tiene:

$$a = \frac{d_{\text{piñon}} + d_{\text{rueda}}}{2} = \frac{80 + 336}{2} = 208 \text{ mm}$$

Todas las etapas tienen la misma distancia entre ejes por tener el mismo número de dientes y módulo.

Esta opción es efectiva, la caja reductora sería pequeña

- Etapa 3: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 3.

Para dar cumplimiento a este objetivo, se utilizó el software SolidWorks como herramienta principal de modelado, diseño y análisis virtual del sistema de transmisión por engranajes rectos diseñado. La metodología aplicada combinó criterios de diseño mecánico asistido por computadora (CAD) con simulaciones de tipo cinemático y funcional mediante el complemento SolidWorks Motion Study, permitiendo una validación precisa de los parámetros del sistema en condiciones operativas controladas.

El proceso inició con el modelado individual de cada uno de los elementos del sistema. Se diseñaron en 3D los seis engranajes rectos correspondientes a las tres etapas de reducción, tomando como base las dimensiones calculadas previamente: número de dientes,

módulo, ángulo de presión, diámetros primitivos y externos. Igualmente, se modelaron los tres ejes de transmisión, considerando los diámetros teóricos obtenidos mediante análisis de esfuerzos torsionales. A todos los componentes se les asignó como material estructural el acero AISI 1015, material seleccionado por su disponibilidad industrial.

Una vez completado el modelado individual, se procedió al ensamblaje completo del sistema de transmisión, integrando correctamente los engranajes sobre sus respectivos ejes, y definiendo las condiciones de restricción necesarias para simular el comportamiento real.

Se cuidó con especial atención la alineación de los centros de los engranajes, el sentido de giro y la distancia entre ejes, que en este caso fue de 208 mm por etapa, según los cálculos realizados en fases anteriores.

Posteriormente, se accedió al módulo de simulación SolidWorks Motion, donde se definieron los parámetros de análisis del sistema. Se estableció una condición de entrada en el eje del primer engranaje (Z1) con una velocidad angular de 1800 RPM, que corresponde a la velocidad de salida del motor. Luego, se configuraron los contactos entre los engranajes como mecanismos de engrane, estableciendo relaciones de transmisión entre cada piñón y rueda, de acuerdo con las relaciones seleccionadas de 4.2:1 por etapa.

Durante la simulación, se realizó un análisis cinemático completo, obteniendo como resultados las velocidades de rotación en los distintos ejes. Se

El uso de herramientas de simulación también permitió detectar posibles interferencias o errores de montaje, ajustar holguras de funcionamiento y validar el comportamiento del sistema en condiciones realistas. Si bien el análisis se enfocó en la cinemática, el entorno de simulación también permite, en etapas futuras, realizar análisis dinámicos y estructurales (como esfuerzos y deformaciones) para una validación aún más completa.

3.1.3. Presupuesto

El presupuesto general abarcó de manera completa los tres objetivos, desde el diseño teórico y la selección técnica de engranajes (Objetivo 1), pasando por el desarrollo CAD y la validación dimensional (Objetivo 2), hasta llegar al análisis del comportamiento funcional a través de simulaciones computacionales con SolidWorks Motion (Objetivo 3). Esta inversión fue clave para garantizar la viabilidad del sistema, tanto desde un enfoque técnico como educativo, cumpliendo así con los requisitos del trabajo de titulación.

3.2. RESULTADOS

• Objetivo 1: Logros obtenidos en el objetivo 1.

Se logró aclarar los parámetros fundamentales necesarios para el diseño del sistema de transmisión con engranajes rectos. Se definió una relación de transmisión total de 72:1,

que reduce la velocidad de 1800 RPM a 25 RPM. Esto llevó a evaluar diferentes configuraciones de etapas de reducción, y se concluyó que la opción más viable era la de tres etapas.

Tabla 6 Información fórmulas para cálculo de engranajes

N.º	Concepto	Fórmula	Unidad / Notas
1	Relación de transmisión	$\frac{N_{entrada}}{N_{salida}}$	Adimensional total $i_t =$
2	Relación de transmisión	$\frac{N_{rueda}}{N_{piñon}}$	Adimensional por etapa $i_t =$
3	Diámetro primitivo	$d = m \cdot Z$	mm; m: módulo, Z: número de dientes
4	Diámetro externo	$d_e = m \cdot (Z + 2)$	mm; para engranajes rectos
7	Distancia entre ejes (dos engranajes)	$a = \frac{d_{piñon} + d_{rueda}}{2}$	mm; suma de diámetros primitivos dividida por 2

=

Fuente: Elaboración propia

Se logró diseñar de forma integral el sistema de transmisión por engranajes rectos, gracias a un cálculo detallado de cada uno de sus componentes. La configuración final de tres etapas se definió como la opción más viable, tanto técnica como dimensionalmente, lo que permitió una distribución equilibrada de la relación de transmisión total. A partir de ahí, se seleccionaron cuidadosamente las combinaciones de dientes para los piñones y las ruedas dentadas en cada etapa, evitando interferencias y asegurando relaciones mecánicas estables. También se determinaron con precisión los diámetros primitivos y externos de los engranajes, así como las distancias entre ejes, manteniendo proporciones adecuadas para un diseño compacto.

Tabla 7 Datos de la Transmisión por engranajes rectos en tres etapas

Etapa	Engranajes (Piñón / Rueda)	Z (Dientes)	Relación i	RPM Entrada	RPM Salida	Distancia entre ejes (mm)	Ø Piñón / Ø Rueda (mm)
Etapa 1	Z1 / Z2	20 / 84	4.2	1800	428.57	208	80 / 336
Etapa 2	Z3 / Z4	20 / 84	4.2	428.57	102.04	208	80 / 336

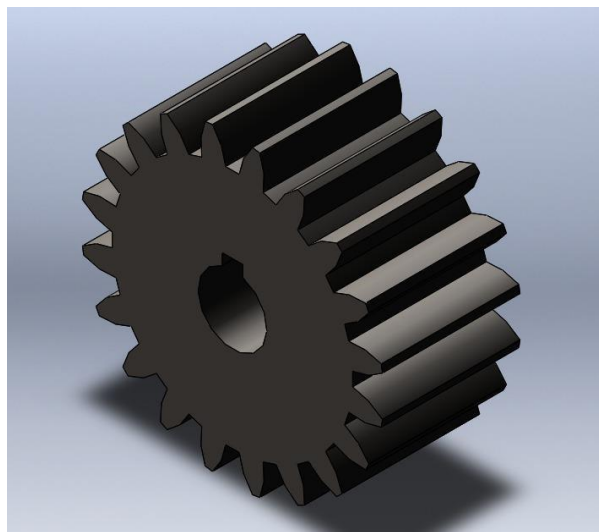
Etapa 3	Z5 / Z6	20 / 84	4.2	102.04	24.29	208	80 / 336
------------	---------	---------	-----	--------	-------	-----	----------

Fuente: Elaboración propia

• **Objetivo 2: Logros obtenidos en el objetivo 2.**

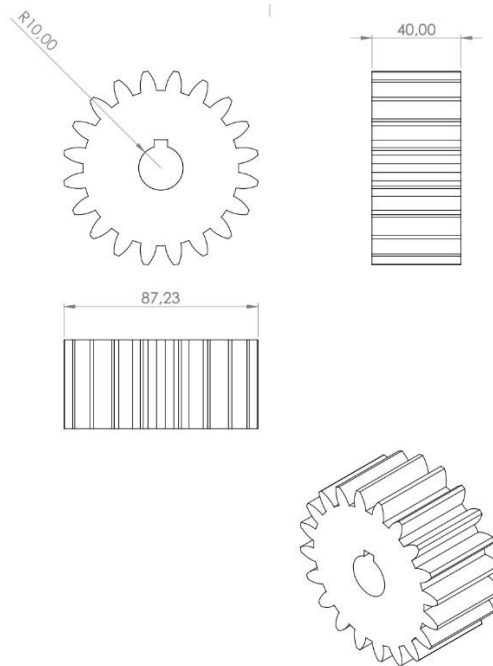
Se logró analizar con éxito los parámetros funcionales del sistema de transmisión utilizando herramientas de simulación computacional. Para comenzar, se modelaron todos los componentes del sistema en SolidWorks de forma individual, incluyendo engranajes, ejes y la carcasa, asegurando que se mantuvieran las dimensiones y proporciones que se habían calculado en el diseño teórico. A cada pieza se le asignó como material el acero AISI 1015, lo que permitió simular propiedades físicas realistas.

Figura 10 Piñon 20 dientes



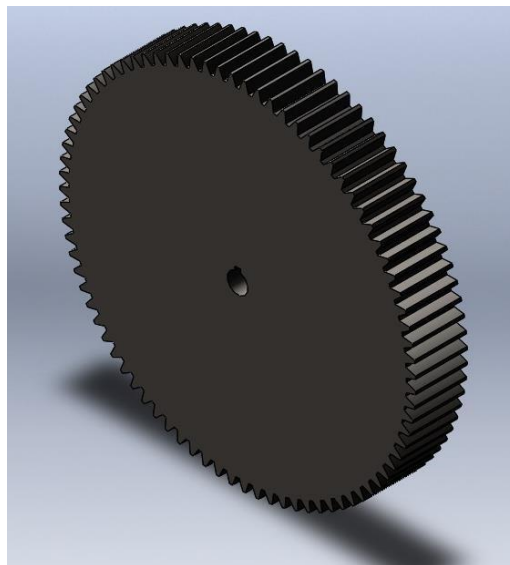
Fuente: Elaboración propia Plano
del piñon:

Figura 11 Plano piñon



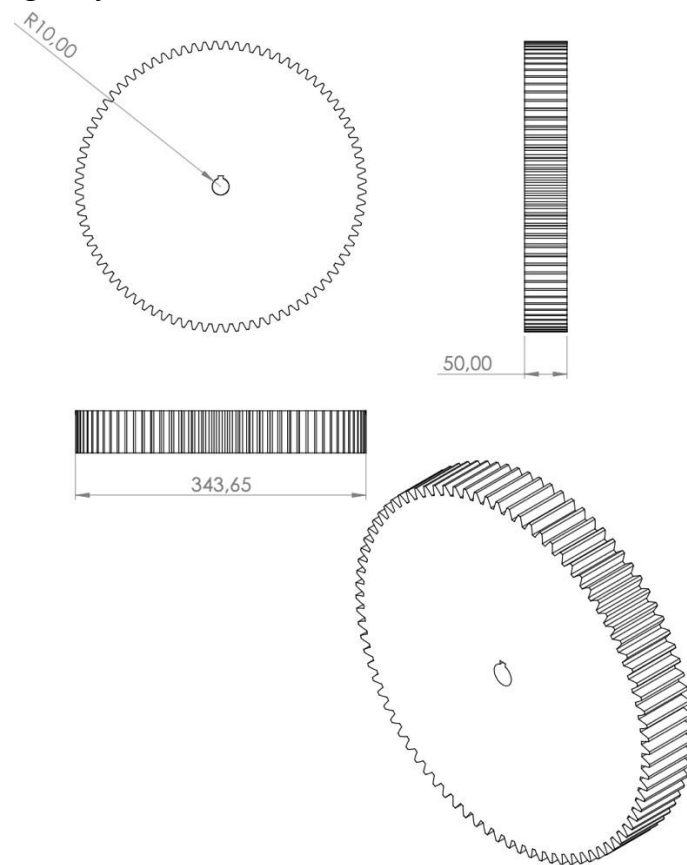
Fuente: Elaboración propia

Figura 12 Engranaje de 84 dientes



Fuente: Elaboración propia Plano
del engranaje:

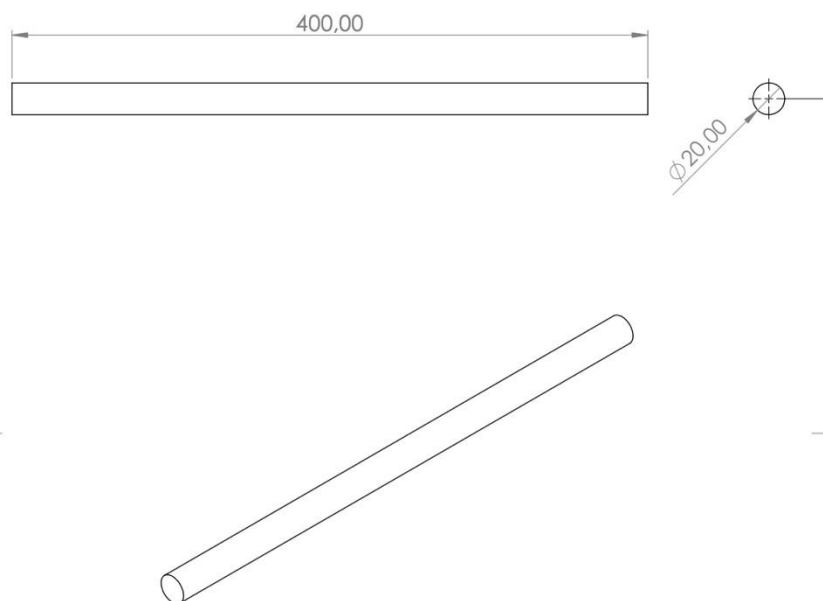
Figura 13 Plano de engranaje de 84 dientes



Fuente: Elaboración propia

Plano del eje que se usa en las etapas:

Figura 14 Ejes

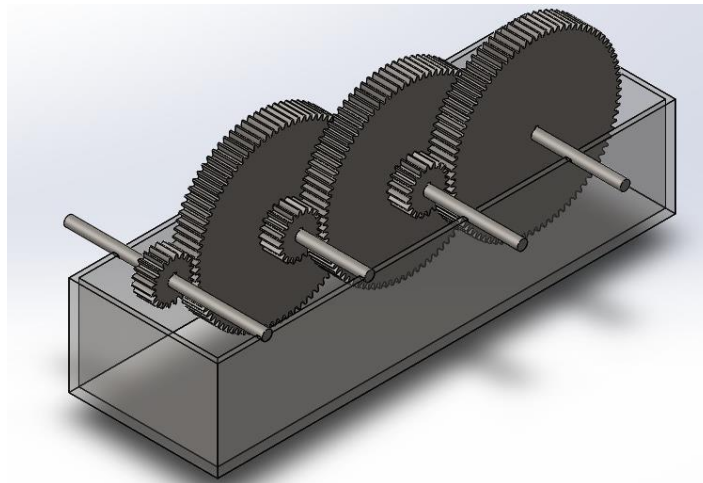


Fuente: Elaboración propia

El proceso de ensamblaje del sistema de transmisión por engranajes rectos se realizó en el entorno de SolidWorks, partiendo del modelado individual de cada componente, incluyendo piñones, ruedas dentadas, ejes y carcasa. Cada elemento fue diseñado respetando los parámetros geométricos obtenidos en los cálculos previos, como número de dientes, módulo, diámetros primitivos, distancias entre ejes y dimensiones generales. Para asegurar un montaje realista, se aplicaron restricciones mecánicas (mates) que simulan condiciones de fijación por chaveta entre engranajes y ejes, así como apoyos sobre rodamientos.

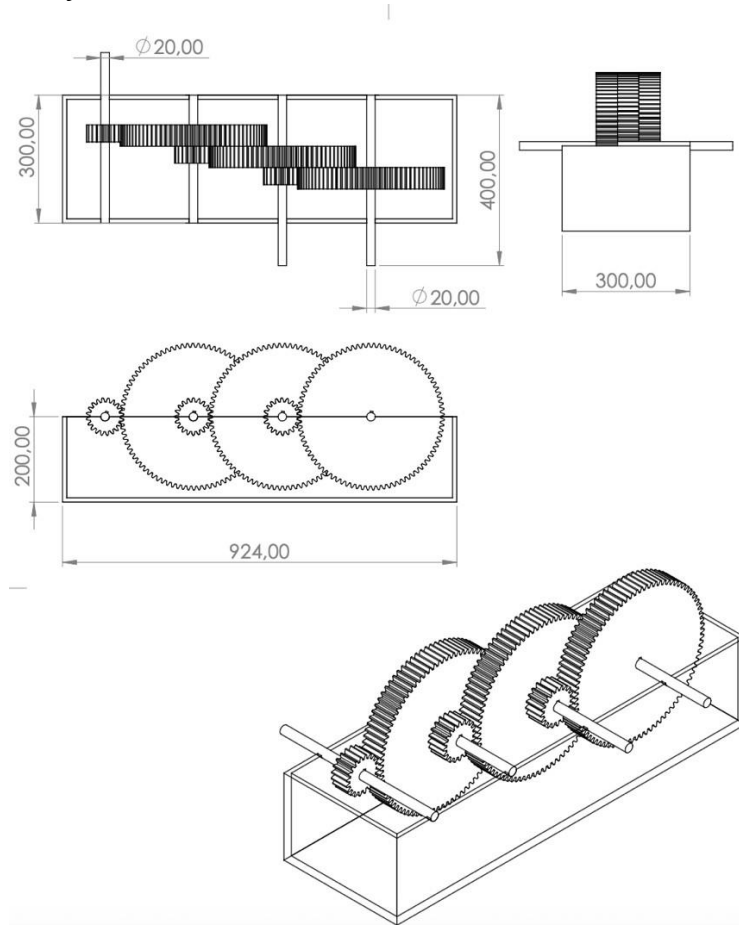
Se cuidó meticulosamente el proceso de la alineación de los centros de cada par de engranajes, asegurando el cumplimiento de la distancia entre ejes para que se mantuviera constante en 208 mm por etapa. De la misma manera se definieron las relaciones de engranaje entre piñones y ruedas mediante el comando “Gear”, entendiendo que esto permite que la rotación de un engranaje cause el giro proporcional del siguiente. El ensamblaje completo del sistema brindó una visión integrada de su funcionamiento, permitiendo la evaluación de su comportamiento cinemático y garantizando que no hubiera interferencias entre los componentes. Este modelo ensamblado es la base para las simulaciones posteriores, constituyendo un paso importante en la validación estructural y funcional del diseño.

Figura 15 Ensamblaje de caja reductora



Fuente: Elaboración propia

Figura 16 Plano de caja reductora



Fuente: Elaboración propia

El proceso de ensamblaje del sistema de transmisión por engranajes rectos se realizó en el entorno de SolidWorks, partiendo del modelado individual de cada componente, incluyendo piñones, ruedas dentadas, ejes y carcasa. Cada elemento fue diseñado respetando los parámetros geométricos obtenidos en los cálculos previos, como número de dientes, módulo, diámetros primitivos, distancias entre ejes y dimensiones generales. Se cuidó la correcta alineación de los centros de cada par de engranajes, respetando una distancia constante de 208 mm entre ejes por etapa. Asimismo, se definieron relaciones de engrane entre piñones y ruedas utilizando el comando “Gear”, permitiendo que la rotación de un engranaje provoque el giro proporcional del siguiente. El ensamblaje completo permitió visualizar de forma integrada el funcionamiento del sistema, facilitando la evaluación de su comportamiento cinemático y asegurando la ausencia de interferencias entre componentes.

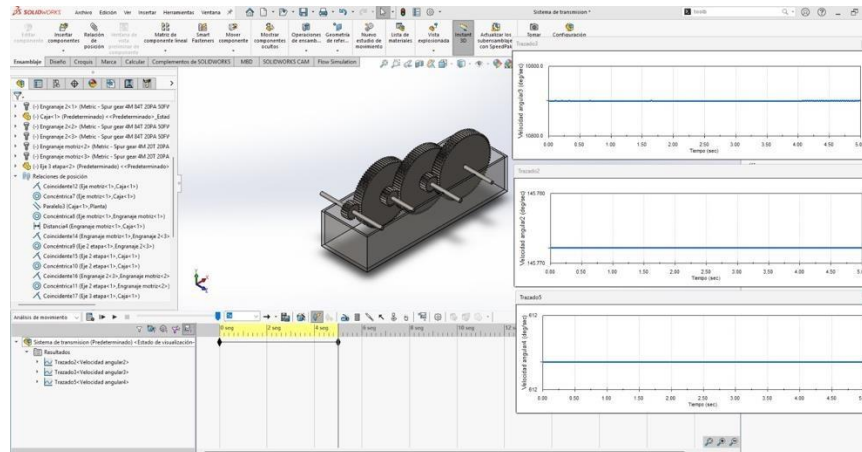
• **Objetivo 3: Logros obtenidos en el objetivo 3.**

La evaluación precisa de los parámetros es fundamental para garantizar la eficiencia, fiabilidad y durabilidad de los sistemas de transmisión en el diseño y optimización. Las herramientas de simulación permiten analizar el comportamiento dinámico y estático de un

sistema sin incurrir en costos ni riesgos asociados a pruebas físicas tempranas. Se ofrece un entorno controlado para replicar condiciones de operación y variar parámetros críticos. Se facilita la identificación de puntos críticos, la predicción de posibles fallos y la optimización de variables como relación de transmisión, torsión, vibraciones y pérdidas energéticas mediante modelos virtuales basados en métodos numéricos avanzados. La simulación aporta datos cuantitativos que respaldan decisiones de diseño, reducen tiempos de desarrollo y contribuyen a la innovación en transmisión mecánica.

Al desarrollar la simulación del sistema de transmisión por engranajes rectos en tres etapas, conlleva a reducir exitosamente la velocidad de entrada de 1800 RPM hasta alcanzar un valor final cercano a los 25 RPM, cumpliendo así con el objetivo funcional del proyecto. La configuración seleccionada en la ejecución, con una relación de transmisión total de 74.1:1, permitió una reducción progresiva y controlada a través de tres etapas de engranaje, con relaciones parciales de 4.2:1 en cada una. Cabe resaltar que durante la simulación en SolidWorks Motion, se verificó que el sistema alcanzaba una velocidad de salida de aproximadamente 24.29 RPM, dado que este valor se encuentra dentro del margen de tolerancia aceptado en aplicaciones industriales como transportadores de velocidad, añade confiabilidad al proyecto.

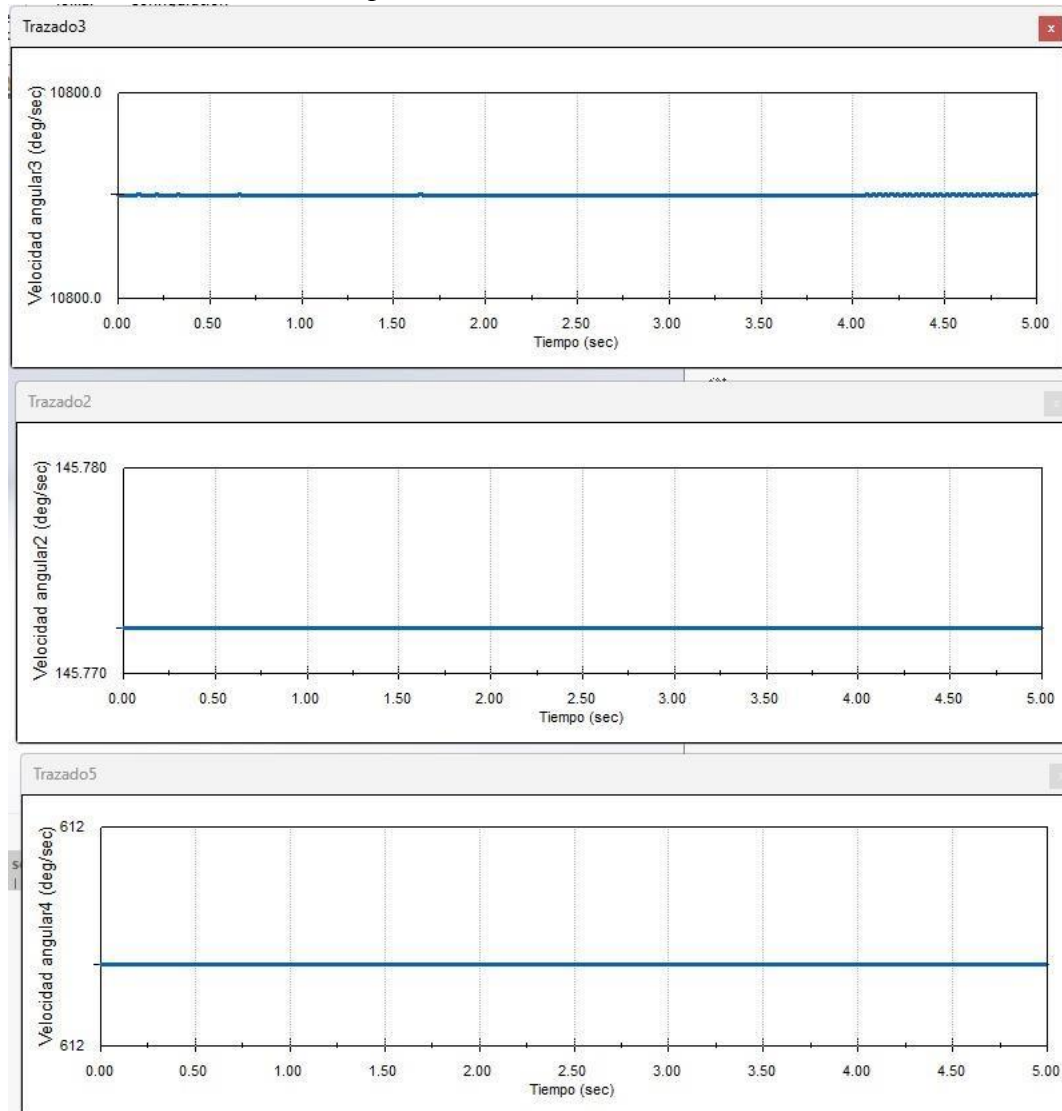
Figura 17 Simulación con Solidworks Motion



Fuente: Elaboración propia

Se muestra a continuación de mejor manera las velocidades de las etapas:

Figura 18 Velocidades de cada etapa



Fuente: Elaboración propia

Durante la simulación cinemática realizada en SolidWorks Motion, se evaluaron las velocidades angulares de los ejes involucrados en el sistema de transmisión por engranajes rectos de tres etapas.

Primero se definió una velocidad de entrada de 10,800 grados por segundo, que se traduce exactamente en 1,800 RPM, un valor inicial que indica la salida de un motor eléctrico estándar. En la segunda fase del sistema, se registró una velocidad angular de 612 grados por segundo, equivalente a 102 RPM al aplicar la conversión correspondiente.

Este resultado confirma que la reducción de velocidad se realiza de manera progresiva y en línea con la relación de transmisión de 4.2:1 que se había previsto para cada etapa del sistema. Finalmente, en la tercera etapa, que corresponde al eje de salida, se obtuvo una velocidad angular de 145.77 grados por segundo, lo que se traduce en una velocidad final

de 24.29 RPM. Este valor está muy cerca del objetivo de 25 RPM, lo que valida que el diseño y las proporciones del sistema permiten alcanzar la reducción esperada. La coincidencia entre los valores simulados y los teóricos demuestra que el sistema transmite.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- El análisis inicial permitió definir con claridad los parámetros técnicos que son claves para diseñar el sistema de transmisión por engranajes rectos. Logrando calcular una relación de transmisión total de 72:1, proporcionando una reducción en la velocidad de entrada de 1800 RPM a una salida aproximada de 25 RPM. Al explorar diferentes configuraciones, se encontró que una disposición en tres etapas era más adecuada que una de dos, ya que proporciona una distribución más equilibrada de la reducción y evita el uso de engranajes desproporcionados. A esto se añade, los resultados de la información que indica los módulos, el número de dientes, las distancias entre ejes y otras dimensiones soporte y bases técnicas para modelar el sistema.
- Basándose en los datos obtenidos, se diseñó un sistema de transmisión funcional a través de cálculos mecánicos precisos, previendo y asegurando que cada componente pudiera manejar las cargas y velocidades que se habían establecido. Se proporciono las dimensiones de los engranajes, ejes y la carcasa, seleccionando materiales como el acero AISI 1015, material útil por su resistencia y facilidad de maquinado. La revisión de las distancias entre ejes, los pares transmitidos en cada etapa y el diámetro correcto de los ejes para evitar fallos por torsión, proceso que permitió consolidar un diseño robusto, alineado con las normativas, y listo para su validación digital.
- El modelo ensamblado fue simulado en SolidWorks Motion, donde se aplicaron condiciones reales de funcionamiento, una velocidad de entrada de 1800 RPM. Los resultados reflejaron valores de velocidad intermedia y final, acercándose a lo que se esperaba teóricamente (102 RPM y 24.29 RPM, respectivamente), confirmando que el sistema funciona correctamente. Las gráficas de velocidad angular ajustaron la estabilidad en la transmisión y ausencia de interferencias, validando el diseño desde el punto de vista cinemático. De esta forma, se puede concluir que el sistema diseñado cumple con los objetivos funcionales establecidos y está técnicamente listo para una futura implementación práctica.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se sugiere complementar el diseño con un análisis estructural por elementos finitos para asegurar que los engranajes y ejes puedan soportar la carga real.

- Se recomienda implementar un sistema de lubricación adecuado que no solo garantice un funcionamiento óptimo, sino que también ayude a prolongar la vida útil del sistema de transmisión.

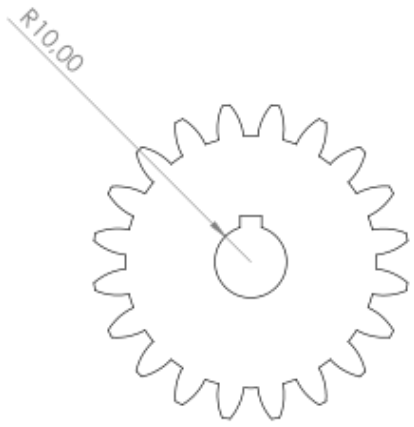
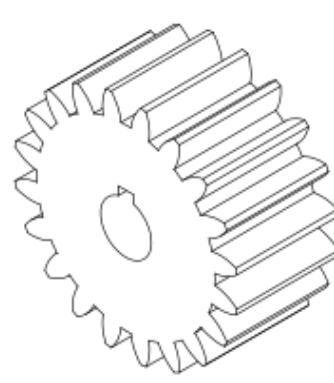
BIBLIOGRAFÍA

- AGMA. (2001). *Fundamentals of Gear American Gear Manufacturers Association*. Fundamentals of Gear American Gear Manufacturers Association.
- Aguirre, D. M. (2021). Simulación numérica de un intercambiador de calor tipo carcasa y tubos utilizando ANSYS Fluent. *Revista de Ingeniería y Tecnología, Universidad del Azuay*. <https://doi.org/10.32776/rit.v12n1.2021.005>, 12(1), 45–56.
- Becerra Ferreiro, A. M. (2020). *Aplicaciones de los sistemas basados en el conocimiento al diseño y descifrado de reductores de ciclo para la industria azucar*.
- Benedetti, M. F. (2019). Topology optimization of helical gears for industrial applications using FEM. . *International Journal of Mechanical Sciences* - <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.05.028>, 157–158, 487–496. .

- Budynas, R. G. (2008). *Diseño En Ingeniería Mecánica De Shigley*. . México: McGraw-Hill.
- García Larrea, E. D. (2016). *Diseño y simulación de una caja reductora de velocidad*. Universidad Internacional SEK.
- González-Monsalve, D. &-R. (2024). Avances en la medición de engranajes industriales: una aplicación móvil para la estimación de parámetros in situ. *XVI Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*.
- L.Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. . México: PEARSON.
- Larburu. (2000). *Máquinas Prontuario*. Paraninfo.
- Lombana Pompei, A. I. (2019). *Cálculo y diseño de un reductor de velocidad para la elevación de carga de un puente grúa de 10 Tn con una velocidad de 12,5 m/min*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño].
- Moreno, J. &. (2020). Análisis de fallas en sistemas de transmisión por engranajes en entornos industriales ecuatorianos. *Revista Técnica Industrial*, 14(2), 55–64. Norton, R. L. (2011). *Diseño de Maquinas*. . México: PEARSON.
- Oil, H. (2006). *Hidro Oil*. Obtenido de <http://www.hydro-oil.com>:
http://www.hydrooil.com.ar/transmisiones_engranaje_modulares_rectos.html
- Ramírez-Vázquez, R. H.-L.-S. (2020). Diseño y simulación de engranajes helicoidales mediante software CAD-CAE para maquinaria industrial. . *Revista Mexicana de Ingeniería Mecánica*, <https://doi.org/10.222>, 36(1), 21–30. .
- Rodríguez, L. &. (2020). Limitaciones en el diseño tradicional de sistemas de engranajes y su impacto operativo. . *Revista Ingeniería Aplicada*, 6(1), 77–85.
- Romero Barreto, J. (2019). *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.
- Sáenz Niño, M. (2015). *Diseño de reductores de engranajes*. Universidad de Valladolid.
- Sato, T. N. (2018). Simulation-based evaluation of gear lubrication effects on contact stress and thermal behavior. . *Tribology International*, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.01.007>(122), 55–63.
- Shigley, J. E. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9.ª ed.)*. McGraw-Hill.
- Silva, R. D. (2019). Dynamic simulation of bevel gear transmission systems in lifting equipment using CAD and FEM tools. . *Brazilian Journal of Mechanical Engineering*, <https://doi.org/10.1590/1678-5878-41-4-512>, 41(4), 512–519. .
- Villalba Gutiérrez, H. (2020). *Modelado paramétrico y análisis por elementos finitos de un tren de engranajes mediante SolidWorks*. Universidad Técnica de Ambato.

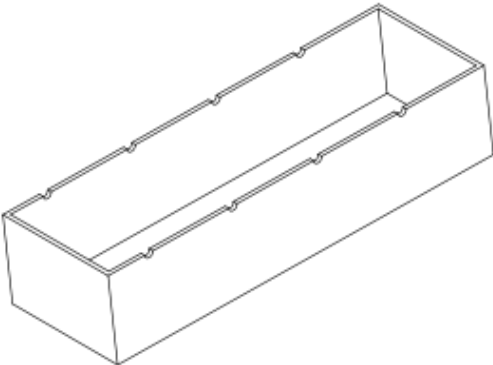
ANEXOS Anexo 1. Planos solidworks

[illegible]

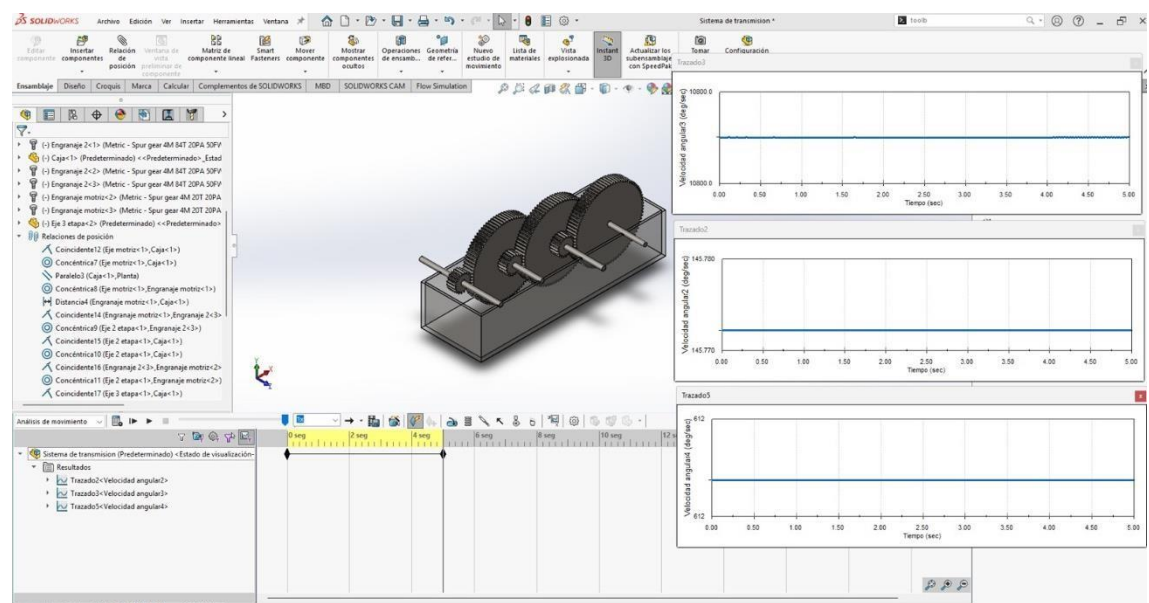
4	3	2	1																																																																										
																																																																													
																																																																													
F	E	D	C																																																																										
B	A	B	A																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="font-size: small;">SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:</td> <td colspan="2" style="font-size: small;">ACABADO:</td> <td colspan="2" style="font-size: small;">REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS</td> <td colspan="2" style="font-size: small;">NO CAMBIE LA ESCALA</td> <td colspan="2" style="font-size: small;">REVISIÓN</td> </tr> <tr> <td style="font-size: x-small;">DIBUJ.</td> <td style="font-size: x-small;">NOMBRE</td> <td style="font-size: x-small;">FIRMA</td> <td style="font-size: x-small;">FECHA</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="4" rowspan="5" style="vertical-align: top;">TÍTULO:</td> </tr> <tr><td style="font-size: x-small;">VERIF.</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr> <tr><td style="font-size: x-small;">APROB.</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr> <tr><td style="font-size: x-small;">FABR.</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr> <tr><td style="font-size: x-small;">CALD.</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td colspan="2" style="font-size: small;">MATERIAL:</td> <td colspan="4" style="font-size: small;">N.º DE DIBUJO</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td colspan="2" style="font-size: small;">PESO:</td> <td colspan="4" style="font-size: small;">ESCALA: 1:2</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="4" style="font-size: small;">HOJA 1 DE 1</td> </tr> </table>				SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:				VERIF.						APROB.						FABR.						CALD.										MATERIAL:		N.º DE DIBUJO								PESO:		ESCALA: 1:2										HOJA 1 DE 1			
SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN																																																																					
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:																																																																							
VERIF.																																																																													
APROB.																																																																													
FABR.																																																																													
CALD.																																																																													
				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO																																																																							
				PESO:		ESCALA: 1:2																																																																							
						HOJA 1 DE 1																																																																							
4	3	2	1																																																																										

Engranaje motriz

A4

4	3	2	1
F			F
E			E
D			D
C			C
B			B
SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO: REBARBAR Y RECOMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA REVISIÓN
DIBUJ. VERIF. APROB. FABR. CALID.	NOMBRE FIRMA FECHA	MATERIAL: PESO:	TÍTULO: N.º DE DIBUJO Caja A4 ESCALA: 1:10 HOJA 1 DE 1
4	3	2	1
A	A		A

Anexo 2. Analisis solidworks motion





TESIS FINAL SITEMA DE ENGRANAJE JEFFERSON Y JAIR

5%
Textos
sospechosos

< 1% Similitudes
0% similitudes entre
comillas
0% entre las fuentes
mencionadas
5% Idiomas no reconocidos
35% Textos potencialmente
generados por la IA
(ignorado)

Nombre del documento: TESIS FINAL SITEMA DE ENGRANAJE
JEFFERSON Y JAIR.docx
ID del documento: 9cf416a1cc68350505a380b962451d524ed30a7
Tamaño del documento original: 3,33 MB

Depositante: JONATHAN PAÚL JIMENEZ GONZALES
Fecha de depósito: 7/8/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 7/8/2025

Número de palabras: 10.700
Número de caracteres: 72.982

Ubicación de las similitudes en el documento:

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.unicordoba.edu.co https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/7d5c062b-4c1e-4ea2-91d3-...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
2	Documento de otro usuario #545380 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)
3	repositorio.usm.cl https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/23572/3568900257298UTFSM.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)
4	[Análisis de esfuerzos de transmisiones de engranes cilíndricos helicoidales medi... arxiv.org/abs/1506.08654v3 PDF-1497.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)
5	hdl.handle.net Diseño de un sistema de entrenamiento de potencia mecánica p... https://hdl.handle.net/20.500.14278/3631	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)

Fuentes ignoradas Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	TRABAJO DE IMPLEMENTACION- DEMO 2 R (1).docx TRABAJO DE IMPL... #96472 Viene de de mi grupo	1%		Palabras idénticas: 1% (113 palabras)
2	EM-2024-2-34.pdf EM-2024-2-34 #443415 Viene de de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (51 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://doi.org/10.32776/rit.v12n1.2021.005>
- <https://doi.org/10.1016/j.ijmecs.2019.05.028>
- <http://www.hydro-oil.com>
- http://www.hydro-oil.com.ar/transmisiones_engranaje_modulares_rectos.html
- <https://doi.org/10.222>

Ing. Jonathan Jimenez