

# INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

## Tesis



“DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA  
MEJORAR LA INFUSIÓN DE MEDICAMENTOS POR VÍA  
INTRAVENOSA EN CENTROS DE SALUD”

PRESENTA:

**PEDRO ISAAC MARTÍNEZ OSORIO**

CON NÚMERO DE CONTROL  
**19TE0399**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO MECATRÓNICO**

CLAVE DEL PROGRAMA ACADÉMICO  
**IMCT-2010-229**

DIRECTOR (A) DE TESIS:  
**M.I.M. LUIS MANUEL GARCIA MATINEZ**

“ La Juventud de hoy, Tecnología del Mañana”

TEZIUTLÁN, PUEBLA, JUNIO 2023



# **PRELIMINARES**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera invaluable a la realización de esta investigación.

En primer lugar, a mi familia: por su amor incondicional, paciencia y por su apoyo constante han sido mi mayor fortaleza. Agradezco a mis padres por ser mis pilares y fuente de inspiración. Su sacrificio y aliento han allanado el camino para este logro. A mis hermanos Edgar Iván y Ana Jazmín, quienes siempre estuvieron ahí, compartiendo las alegrías y aliviando las tensiones; su respaldo ha sido invaluable.

Quiero agradecer a mi asesor M.I.M. Luis Manuel García Martínez por su paciencia y experta orientación, apoyo constante y valiosas sugerencias a lo largo de todo el proceso. Su dedicación y conocimiento fueron fundamentales para dar forma y mejorar significativamente este trabajo.

A mis amigos más cercanos, quienes han sido faros de luz en los momentos oscuros y compañeros en las victorias. Sus palabras de ánimo, comprensión y risas compartidas han hecho que este viaje sea más significativo y llevadero.

Este logro no solo es mío, sino también de cada uno de ustedes. Gracias por ser mi red de apoyo, por creer en mí cuando las cosas se volvían desafiantes y por celebrar conmigo cada pequeño paso hacia adelante.

A todos ustedes, mi familia y amigos, les debo una deuda de gratitud que va más allá de las palabras. Su amor y aliento han sido el combustible que ha impulsado este viaje. Este logro es tan suyo como es mío.

## RESUMEN

El proyecto de investigación se centra en proponer un mecanismo innovador para una bomba de infusión de desplazamiento positivo. La bomba de infusión es un dispositivo crucial en el ámbito médico, utilizado para administrar con precisión y control fluidos como medicamentos o nutrientes al cuerpo humano. El enfoque principal del proyecto es mejorar la eficiencia del mecanismo interno sin perder precisión y seguridad de la administración de líquidos.

La investigación aborda los desafíos actuales asociados con las bombas de infusión, como la posibilidad de errores en la dosificación y la necesidad de un flujo constante y preciso. Se propone un mecanismo con base en el principio del funcionamiento del desplazamiento positivo para garantizar una entrega uniforme de fluidos, minimizando así la variabilidad en la dosificación.

El proyecto incluye un análisis detallado de la ingeniería detrás del mecanismo propuesto, con énfasis en la selección de materiales, la geometría de las piezas y la integración con sistemas de control avanzados. Se llevarán a cabo pruebas rigurosas para evaluar la precisión y la confiabilidad del nuevo mecanismo, comparándolo con las bombas de infusión convencionales.

El proyecto tiene como objetivo contribuir significativamente al campo de la administración de fluidos en entornos médicos, mejorando la calidad en la atención al paciente y reduciendo posibles riesgos asociados con la administración incorrecta de medicamentos. Los resultados de esta investigación podrían tener implicaciones muy importantes para el diseño y la fabricación de futuras generaciones de bombas de infusión, beneficiando a pacientes y profesionales de la salud.

# INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la atención médica en pacientes, la administración precisa de medicamentos y fluidos es esencial para garantizar la eficacia de los tratamientos y la seguridad en los pacientes. Las bombas de infusión desempeñan un papel crucial al proporcionar un método controlado y continuo de entrega de líquidos, sin embargo, los desafíos asociados con la dosificación exacta y la uniformidad en la administración han motivado la búsqueda de innovaciones en este campo.

Este proyecto de investigación está enfocado en la propuesta y de un mecanismo para una bomba de infusión, haciendo énfasis en la aplicación de principios de desplazamiento positivo. El objetivo principal es superar las limitaciones actuales asociadas con las bombas de infusión convencionales, tales como posibles errores en la dosificación y la necesidad de mantener un flujo constante y preciso.

A medida que la atención médica avanza hacia enfoques más personalizados y precisos, la demanda de sistemas de administración de medicamentos más sofisticados se vuelve imperativa. Este proyecto se propone abordar esta necesidad mediante la conceptualización, diseño y prueba de un mecanismo que garantice una administración uniforme de fluidos, minimizando las variabilidades inherentes en los métodos de infusión actuales.

La investigación se sumergirá en la ingeniería de precisión, explorando la selección meticulosa de materiales y la configuración geométrica óptima para el mecanismo propuesto. Además, se integrarán sistemas de control avanzados para asegurar una administración precisa y ajustada a las necesidades específicas del paciente.

A través de este proyecto, se busca no solo mejorar la eficiencia y la seguridad en las bombas de infusión, sino también explorar posibles aplicaciones y adaptaciones en diversos contextos médicos. La consecución exitosa de este objetivo no solo impactará positivamente la atención médica actual, sino que también sentará las bases para futuras innovaciones en la administración de medicamentos y fluidos en entornos clínicos.

# ÍNDICE GENERAL

## PRELIMINARES

AGRADECIMIENTOS .....	I
RESUMEN .....	I
INTRODUCCIÓN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	V

CAPÍTULO I .....	9
------------------	---

GENERALIDADES DEL PROYECTO .....	9
----------------------------------	---

1.1 Descripción de la empresa.....	10
------------------------------------	----

1.1.1 Datos generales de la empresa .....	10
---	----

1.1.2 Misión .....	11
--------------------	----

1.1.3 Visión.....	12
-------------------	----

1.1.4 Sistema de gestión de calidad.....	12
--	----

1.2 Problemas de investigación a resolver .....	14
---	----

1.3 Preguntas de investigación .....	15
--------------------------------------	----

1.4 Objetivos .....	15
---------------------	----

1.4.1 Objetivo General.....	15
-----------------------------	----

1.4.2 Objetivos específicos.....	15
----------------------------------	----

1.5 Justificación de la investigación .....	16
---	----

CAPÍTULO II .....	10
-------------------	----

MARCO TEÓRICO .....	10
---------------------	----

2.1 Fundamentos teóricos.....	18
-------------------------------	----

2.1.1 Metodología del diseño.....	18
2.1.2 Características del diseño .....	18
2.1.3 Aplicación industrial .....	19
2.1.4 Tipos de diseño .....	19
2.1.5 Normatividad en las bombas de infusión .....	20
2.1.6 Tipos de bombas de infusión .....	21
2.1.7 Aplicaciones de las bombas de infusión .....	22
2.1.8 Administración intravenosa de fármacos.....	23
2.1.9 Tendencias y avances .....	25
2.1.10 Sensores .....	26
2.1.11 Actuadores .....	26
2.1.12 Sistemas de control para las bombas de infusión .....	26
2.1.13 Suministro de fármacos asistido por computador .....	27
CAPÍTULO III .....	18
ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....	18
3.1 Primeros prototipos de las bombas de infusión .....	30
3.2 Problemas frecuentes.....	30
CAPÍTULO IV .....	30
METODOLOGÍA Y DESARROLLO .....	30
4.1 Alcance y enfoque de la investigación .....	35
4.2 Hipótesis.....	35
4.3 Diseño y metodología de la investigación .....	35
4.4 Procedimiento .....	36

4.5 Iteraciones de diseño .....	36
4.5.1 Iteración 1 .....	36
4.5.2 Iteración 2 .....	38
4.6 Diseño mecánico .....	41
4.6.1 Cálculo de volumen a administrar .....	41
4.6.2 Cálculo relación de engranajes .....	44
4.6.3 Cálculo de engranajes .....	46
4.6.4 Análisis de fuerzas en los engranajes .....	55
4.7 Diseño de engranajes CAD .....	61
CAPÍTULO V .....	66
RESULTADOS .....	66
5.1 Validación de los elementos mecánicos .....	67
5.2 Análisis de movimiento del sistema de engranajes .....	78
CAPÍTULO VI .....	67
CONCLUSIONES .....	67
CAPÍTULO VII .....	78
COMPETENCIAS .....	78
CAPÍTULO VIII .....	81
FUENTES DE INFORMACIÓN .....	81
Referencias .....	88

CAPÍTULO IX.....	84
ANEXOS.....	84
Anexo 1: Cálculo de engranajes (2-6).....	92
Anexo 2: Dibujos de las piezas.....	107
Anexo 3: Dictamen.....	115
Anexo 3: Carta de autorización.....	116
Anexo 4: Licencia de uso .....	117

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES DEL PROYECTO**

## **1.1 Descripción de la empresa**

Teziutlán ha sido históricamente el centro del desarrollo económico en la región nororiental del Estado de Puebla, basado inicialmente en las industrias mineras y metalúrgicas, luego en la fruticultura y ganadería, y más recientemente en la industria de la confección. Naturalmente, la actividad industrial siempre propició el crecimiento de otras actividades económicas, como el comercio, el transporte, los servicios financieros y la educación de forma específica.

El ITST, toma en cuenta muchas demandas de la sociedad y los principios de la Ley de Educación del Estado de Puebla, el instituto se tiene como objetivo lograr una educación orientada al servicio de calidad y eficiencia más cercana a las necesidades e intereses de la población en la región

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán crea, implementa, mantiene y mejora continuamente su sistema de calidad de acuerdo con los requisitos de la norma ISO 9001:2015.

### **1.1.1 Datos generales de la empresa**

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, una institución de educación superior que está ubicada dentro de municipio de Teziutlán en el Estado de Puebla. Actualmente el instituto ofrece ocho licenciaturas y dos maestrías donde el esfuerzo para el cumplimiento de estándares de calidad educativa el instituto ha obtenido acreditaciones internacionales.

Las licenciaturas y maestrías que se ofrecen actualmente en el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán son:

- Ingeniería en Animación Digital y Efectos Visuales.
- Ingeniería en Gestión Empresarial.
- Ingeniería en Industrias Alimentarias.
- Ingeniería en Sistemas Computacionales.
- Ingeniería Industrial.
- Ingeniería Informática.
- Ingeniería Mecatrónica.
- Licenciatura en Turismo.
- Maestría en Sistemas Computacionales.
- Maestría en Ingeniería Industrial.

### **Dirección**

Fracción I y II S/N, Aire Libre, Teziutlán, Puebla; C.P. 73960.

### **Giro de la empresa**

Institución de educación superior pública con giro Terciario.

### **1.1.2 Misión**

El ITST tiene como misión formar profesionalitas que se constituyan en agentes de cambio que puedan promuevan el desarrollo integral en la sociedad, de forma a la implementación de procesos académicos de calidad.

### **1.1.3 Visión**

El llegar a ser la Institución de Educación Superior Tecnológica que más se reconoce en el Estado de Puebla, que ofrezca procesos de Enseñanza – Aprendizaje certificado, comprometido a la excelencia académica y a la formación integral de los alumnos, contribuyendo al desarrollo sustentable, económico, político y social del Estado.

### **1.1.4 Sistema de gestión de calidad**

El Instituto establece, implementa, mantiene y mejora constantemente el sistema de gestión de calidad en acuerdo a los requisitos de la Norma ISO 9001:2015, en el que se incluyen el proceso necesario y sus interacciones, también el contexto de la Institución y la comprensión a las necesidades y expectativas de las partes interesadas y plasmado en el M-SGC-01 Manual del Sistema de Gestión de Calidad del ITST.

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán en su Sistema de Gestión de Calidad:

- a) Identifica procesos necesarios para el Sistema de Gestión de la Calidad y su aplicación.
- b) La secuencia e interacción de procesos ya establecidos queda determinada por la naturaleza de la prestación del Servicio Educativo, este se muestra en el Mapa de Procesos en donde a través de flechas de uno o dos sentidos las salidas de un proceso se convierten en las entradas de otros. En un enfoque de sistemas, se integran cinco procesos estratégicos en uno sólo denominado Proceso Educativo, el cual tiene como entrada los requisitos del Estudiante y las consideraciones identificadas de las partes interesadas y como salida el Servicio educativo.

- c) Establece como criterio para medir eficacia de sus procesos: el cumplimiento de los indicadores establecidos para cada uno de ellos en el Plan de Calidad (D-CAL-04).
- d) Asegura disponibilidad de recursos e información necesaria para poder apoyar la operación y seguimiento de sus procesos mediante la Captación de Ingresos y su asignación a través del Programa Operativo Anual (POA).
- e) Realiza el seguimiento, la medición, el análisis y la mejora de procesos llevando la aplicación del Plan de Calidad (D-CAL-04).
- f) Aborda riesgos y oportunidades mediante el procedimiento (P-CAL-07)

## GESTIÓN DE RIESGO

e) Implementa las acciones necesarias para poder alcanzar los resultados planificados, estos están contenidos en el Programa Institucional Anual (PIA) y la aplicación de los Procedimientos operativos en cada uno de los procesos; la mejora continua de estos procesos se realiza mediante la Revisión por la Dirección.

f) Evalúa la eficacia del cumplimiento de las características de calidad del servicio educativo mediante el Plan de Calidad (D-CAL-04), donde se define también lo que se tendría que hacer en el caso de incumplimiento de algunas de las características de calidad definidas.

## **1.2 Problemas de investigación a resolver**

Desde 2020 hasta mayo de 2023, el mundo se vio afectado por la enfermedad COVID-19, enfermedad causada por el virus SARS-CoV-2. Actualmente, existe un problema común en todo México: la falta de espacio para responder a emergencias.

Debido al carácter repentino del virus y al miedo del colectivo, la mayoría de los hospitales del país centraron todos sus recursos en tratar a pacientes con esta enfermedad, porque muchas personas eran atendidas por enfermedades crónicas. Es bueno deshacerse de ellos y negarles la atención médica necesaria.

Como resultado, los problemas de salud de las personas empeoraron debido a la falta de equipos médicos, especialmente bombas de infusión. Al mismo tiempo, la suspensión de actividades informales obligó a la mayoría de la población a quedarse en casa más que antes, aumentando el consumo de electricidad, lo que en el futuro será un caso infundado de gran poder.

Por lo tanto, se propusieron una bomba de infusión alimentada por batería y un sistema de control mecánico para lograr la máxima precisión y movilidad precisa para satisfacer mejor las necesidades del paciente.

También cuenta con una interfaz fácil de usar y una base de datos para verificar el historial de uso, lo que permite un fácil acceso a la información del paciente.

Aunque la epidemia ha terminado y la sociedad ha entrado en una nueva cultura, está claro que muchos centros de salud públicos no están preparados para el aumento de pacientes, y es popular que a veces las personas no reciben servicios médicos cuando sea necesario.

## **1.3 Preguntas de investigación**

1. ¿Qué tipos de dispositivos existen en hospitales o centros de salud para suministrar medicamentos por vía intravenosa?
2. ¿Cómo se determinan los parámetros de diseño para establecer la ingeniería de concepto y la ingeniería básica del sistema de infusión?
3. ¿Cómo mejorar el proceso de infusión de soluciones por vía intravenosa utilizando tecnología vanguardia?

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema mecatrónico para mejorar el proceso de infusión de medicamentos por vía intravenosa en centros de salud de la región de Teziutlán, Puebla, aplicando tecnologías de vanguardia.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Investigar información referente a los tipos de dispositivos de infusión, consultando fuentes bibliográficas especializadas, así como investigación de campo en centros de salud.
- Analizar de forma cuantitativa los parámetros de diseño a considerar en el planteamiento de las posibles soluciones, utilizando un proceso iterativo de selección.
- Proponer un mecanismo, que mediante un controlador permita incrementar la exactitud y precisión en el proceso de infusión intravenosa en diversos pacientes.

## **1.5 Justificación de la investigación**

Esta aportación sobre las bombas de infusión es importante para diferentes grupos de beneficiarios como son los pacientes con diferentes patologías ya que les permite comprender cómo funciona el dispositivo, los medicamentos que se les están administrando, mayor conocimiento sobre su tratamiento y mayor control sobre su atención médica.

Otros beneficiarios son el personal de hospitales como son los médicos o enfermeros, estos necesitan tener un conocimiento profundo sobre el dispositivo y su funcionamiento para poder administrar medicamentos de manera más fácil, efectiva y segura. Los fabricantes de equipos médicos que producen bombas de infusión también son beneficiarios, necesitan tener información precisa sobre el dispositivo y su uso para garantizar la eficacia y la seguridad del producto.

También puede ayudar a los fabricantes a mejorar el diseño y la funcionalidad de las bombas de infusión y a desarrollar nuevas características y tecnologías.

Los beneficios tienen una gran importancia, el proyecto puede mejorar la seguridad del paciente ya que al garantizar que los medicamentos se administren de forma precisa y controlada, puede mejorar la eficacia del tratamiento al permitir una admisión de medicamentos precisa y controlada, puede ayudar a reducir los errores médicos al saber que los profesionales de la salud tengan un conocimiento adecuado sobre el dispositivo y su uso.

El desarrollo del proyecto puede ayudar y aportar al conocimiento de los usuarios, los cuales pueden ser pacientes o profesionales de la salud. Con lo cual describir adecuadamente el funcionamiento del mecanismo permitirá la correcta administración de soluciones. El diseño propone un dispositivo portátil que permita un uso tanto al interior como fuera de los centros de salud y hospitales. Al mismo tiempo, los pacientes y/o profesionales de la salud podrán adquirir un dispositivo de manera particular a un menor costo.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Fundamentos teóricos**

### **2.1.1 Metodología del diseño**

El término diseño se puede definir de manera muy amplia, este se aplica a muchas áreas del conocimiento del humano de formas más o menos diferenciadas. Al hablar de diseño, generalmente nos podemos referir a esquemas creativos, es decir, en el que se busca la solución para algún problema en concreto, especialmente en el contexto de la ingeniería, la industria, la arquitectura, la comunicación y muchas otras disciplinas. (EcuRed, 2021)

### **2.1.2 Características del diseño**

Un diseñador es alguien que ha invertido en su creatividad para centrarse en los aspectos más caracterizados para poder dar soluciones adaptadas a los problemas que tiene entre manos. Por esta razón, el diseño disciplinado tiende más generalmente a ser un cuerpo de conocimiento aplicable a varios campos de trabajo, como pueden ser de geometría, aritmética, lógica, ilustración, marketing, sociología o ciencia que, fundamentalmente comprenden las siguientes etapas: (Equipo editorial, 2023)

- Observación y análisis. La necesidad de diseñar surge día a día de las personas y sus necesidades.
- Planificación y Previsión. Sugerir formas de resolver las necesidades identificadas.
- Diseño y ejecución. Darse cuenta de lo que se proyecta y probarlo funcionalmente.

### **2.1.3 Aplicación industrial**

Existen muchas variantes de lo que es y diferentes aplicaciones del diseño, en este caso se menciona la aplicación industrial del diseño.

El diseño industrial se centra en el concepto de bienes seriales y/o industriales, es decir, bienes de consumo o bienes de capital. Presta atención a la manera, su uso y vida útil del objeto, tratando de maximizar su función y hacerlo mejor y más satisfactorio para el consumidor (personas con necesidad). Con esto en mente, los diseñadores industriales se dedican a lo que puede ser el diseño automotriz donde diseñan autos o partes de autos, diseño de aviones, barcos y partes de estos, diseño de muebles o estanterías, juguetes o refacciones de juguetes, equipos mecánicos para diversos fines de fabricación o producción, diseño de diferentes tipos de productos como pueden ser electrodomésticos, cerámica, vidrio, plásticos, entre otros.

Debido a la complejidad de estas tareas, el diseño industrial requiere un profundo conocimiento de materiales, maquinaria y servicios.

### **2.1.4 Tipos de diseño**

#### **2.1.4.1 Diseño experimental**

Centrándose en la investigación, diseño experimental permite identificar y cuantificar las causas de los efectos en estudios experimentales. En el diseño experimental permiten transformar causalmente una o más variables para medir su efecto en otra variable de interés. El diseño experimental se aplica en la industria, la agricultura, la medicina, la ecología, por mencionar algunos. (Mousalli-Kayat, 2015)

### **2.1.5 Normatividad en las bombas de infusión**

La Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA3-2012 establece condiciones que se deben cumplir en los establecimientos de salud para la administración de la terapia de infusión en México. Esta norma define la terapia de infusión como la administración de líquidos, nutrientes, medicamentos o soluciones a través de una vía intravenosa, intraarterial, intratecal, epidural o intraperitoneal. (Mexicana, 2012)

La norma establece los requisitos para la selección, preparación y administración de la terapia de infusión, así como las características de seguridad para los pacientes y el personal de salud. También establece las responsabilidades de los profesionales de la salud que operan la terapia de infusión, incluyendo la capacitación y la supervisión del personal. (Mexicana, 2012)

La NOM-022-SSA3-2012 insta la necesidad de contar con un protocolo de infusión que incluya la indicación médica, la dosificación, la frecuencia, la vía de administración y la duración del proceso de infusión. Además, instituye el impulso de contar con equipos y materiales de infusión estériles y de alta calidad, así como de un registro de la administración del proceso de infusión. (Mexicana, 2012)

## **2.1.6 Tipos de bombas de infusión**

Según la gravedad del paciente y la cantidad de medicamentos, nutrientes o sangre necesarios, se pueden conectar a una bomba de infusión para administrarlos. Hay diferentes tipos de bombas que se utilizan en entornos de atención profesional para controlar la infusión.

### **2.1.6.1 Bomba de desplazamiento positivo**

Este modelo de bomba de infusión es la más utilizada, ya que también se incluyen en esta categoría las bombas de casete y las bombas de jeringa. El primero tiene una cámara situada en el casete, también está equipada por una válvula que permite que el líquido llegue a esa cámara durante las pausas de bombeo, y cuando se reanuda, la válvula se cierra, devolviendo el líquido al paciente. Las bombas de jeringa se caracterizan por la precisión en el volumen dosificado y se dividen en dos tipos. Tanto jeringas estándar como especiales, en este último caso la aplicación la controla el paciente. (Hospital, 2021)

Las bombas de desplazamiento positivo muestran sus puntos fuertes en comparación con las bombas centrífugas, principalmente cuando bombean medios viscosos. También es la primera opción cuando los productos deben transportarse de un lugar a otro con mucho cuidado. Este transporte cuidadoso es esencial no solo en la industria de alimentos y bebidas, sino también en la fabricación de productos farmacéuticos y cosméticos, así como en bombas construidas de acuerdo con principios de diseño higiénico. (SONOMEDICAL, 2019)

### **2.1.6.2 Bomba lineal peristáltica**

Esta bomba de infusión ha sufrido algunos cambios en el diseño para proporcionar un nivel de precisión similar al de su predecesor. Este tipo de bomba aplica más presión al dispositivo para aumentar la precisión de la infusión administrada al paciente. Además, son muy fáciles de usar. (Hospital, 2021)

### **2.1.6.3 Bomba peristáltica rotativa**

Esta bomba de infusión es utilizada para la administración por vía intravenosa de algunos fármacos, pero el uso de esta es más común para la administración de alimentos como es la nutrición parenteral. También se utiliza en el quirófano para transfusiones de sangre, creando derivaciones o separando células del plasma. (Hospital, 2021)

### **2.1.7 Aplicaciones de las bombas de infusión**

Las bombas de infusión son dispositivos médicos que se utilizan para suministrar líquidos y medicamentos al cuerpo de manera controlada y precisa. Algunas de las aplicaciones de las bombas de infusión incluyen:

Administración de líquidos intravenosos: las bombas de infusión se usan comúnmente para administrar líquidos intravenosos a pacientes que necesitan una hidratación adecuada, como aquellos que han perdido mucha agua debido a una enfermedad o lesión.

Administración de medicamentos: las bombas de infusión también se utilizan para proporcionar medicamentos durante un período prolongado de tiempo de manera controlada y precisa. B. Insulina en pacientes diabéticos.

Nutrición parenteral: Estas bombas de infusión se utilizan para administrar nutrientes directamente al torrente sanguíneo de pacientes que no pueden ingerir alimentos por vía oral.

Manejo del dolor: las bombas de infusión también se utilizan para administrar continuamente analgésicos a pacientes con dolor crónico o posquirúrgicos.

Quimioterapia: Las bombas de infusión también se utilizan para administrar quimioterapia de forma continua a pacientes con cáncer.

Suministro de fluidos en anestesia: Las bombas de infusión también suelen utilizarse en el campo de la anestesia para administrar fluidos y medicamentos necesarios durante la cirugía.

Administración de medicamentos en unidad de cuidados intensivos: en unidades de cuidados intensivos, las bombas son utilizadas para suministrar fármacos a pacientes en estado crítico de manera precisa y controlada.

Control de la presión intracraneal: las bombas de infusión se utilizan en pacientes con presión intracraneal elevada para administrar medicamentos que reducen la inflamación del cerebro y la presión intracraneal.

Medicamentos pediátricos: Las bombas de infusión también se utilizan en pediatría para administrar medicamentos de forma precisa y controlada a niños que no pueden adquirir medicamentos por vía oral.

### **2.1.8 Administración intravenosa de fármacos**

Este es un ejemplo de administración parenteral en el que el fármaco se administra a través de varias venas del cuerpo y entra directamente al torrente sanguíneo, evitando el proceso de absorción como otras vías de administración. Esto nos permitirá conocer con mayor precisión la concentración de los fármacos en la sangre, observar más rápidamente la reacción del paciente a ellos (efectos deseados y no deseados), y conocer la dosis requerida en cada caso. Son necesarias condiciones asépticas adecuadas debido al aumento inmediato del riesgo de causar enfermedades a través de vías sistémicas. Por lo tanto, se debe mantener un estricto control sobre el paciente, su constancia y reacción. (Le, 2022)

### **2.1.8.1 Inyección intravenosa directa**

Puede administrarse en el lugar de la inyección con una aguja o un dispositivo intravenosos de la jeringa. Por lo tanto, los medicamentos se administran en bolos, pero en la mayoría de los casos también se administran de esta manera los medicamentos que se diluyen cuidadosamente con solución salina añadida o agua para inyección. La inyección intravenosa directa puede ser una técnica insegura e imprecisa. Además, la inyección intravenosa directa puede causar daño en las venas, infecciones y otros problemas de salud. (Muñoz, Damian, Burgos, & Agustín, 2009)

### **2.1.8.2 Inyección intravenosa diluida**

Esto se considera cuando el medicamento se administra diluido en un pequeño volumen de solución intravenosa (generalmente 50-100 ml) o posiblemente ya esté contenido en esta forma de dosificación y se administre por un período de tiempo limitado. Este ejemplo de administración generalmente requiere que una línea pase a través de un catéter. (Muñoz, Damian, Burgos, & Agustín, 2009)

### **2.1.8.3 Inyección intravenosa por goteo**

La infusión intravenosa requiere un tiempo considerable y los volúmenes que se manejan ya son importantes, por lo que es necesario canalizar el catéter venoso. El fármaco se disuelve en un gran volumen de solución intravenosa (500-1000 ml) y se suministra de manera continua. Se puede usar una bomba de infusión continua para introducir con mayor precisión una cantidad específica en un momento específico. Ahora es posible, en algunos casos, utilizar una bomba de jeringa para proporcionar una infusión continua con un pequeño volumen de líquido intravenoso. (Muñoz, Damian, Burgos, & Agustín, 2009)

### **2.1.9 Tendencias y avances**

Las bombas de infusión son instrumentos médicos utilizados para suministrar medicamentos, líquidos y nutrientes de manera controlada en el cuerpo de un paciente. Las bombas de infusión están evolucionando hacia dispositivos más inteligentes, portátiles, inalámbricos y precisos, lo que permite a los pacientes recibir tratamiento de manera más conveniente y segura. (Díaz, 2022) Seguidamente, se presentan algunas tendencias actuales en el campo de las bombas de infusión:

**Bombas de infusión inteligentes:** Las bombas de infusión inteligentes están diseñadas para proporcionar una dosificación personalizada y ajustar la velocidad de infusión conforme a las necesidades del paciente. Estas bombas de infusión utilizan algoritmos para ajustar la dosis en tiempo real y para evitar errores de medicación. (MICHALEK & CARSON, 2020)

**Bombas de infusión portátiles:** Las bombas de infusión portátiles son dispositivos pequeños y ligeros que permiten a los pacientes recibir tratamiento en el hogar o en movimiento. Estas bombas de infusión son especialmente útiles para pacientes con enfermedades crónicas que requieren terapia continua. (Díaz, 2022)

**Bombas de infusión inalámbricas:** Las bombas de infusión inalámbricas eliminan la necesidad de cables y tubos conectados a la bomba, lo que permite a los pacientes una mayor libertad de movimiento. Estas bombas de infusión aprovechan de la tecnología inalámbrica para controlar y monitorear la infusión. (Díaz, 2022)

**Integración con sistemas de registro electrónico de salud (EHR):** Las bombas de infusión están siendo cada vez más integradas con los sistemas de registro electrónico de salud (EHR) para una mejor documentación y seguimiento de la administración de medicamentos. (Michalek, 2020)

**Mayor precisión en la dosificación:** Las bombas de infusión modernas son capaces de proporcionar una dosificación precisa de medicamentos y líquidos. Los avances

en la tecnología de sensores y algoritmos han permitido una mayor precisión en la dosificación y una reducción en los errores de medicación. (Díaz, 2022)

### **2.1.10 Sensores**

Los sensores electrónicos son instrumentos que transforman una señal física en una señal eléctrica para su procesamiento en un circuito electrónico. Los sensores electrónicos se utilizan en una extensa variedad de aplicaciones, desde la medición de temperatura y presión hasta la detección de movimiento y la medición de la humedad. La elección del tipo de sensor adecuado depende de las urgencias específicas de la aplicación y las condiciones ambientales. (Rodríguez, 2023)

### **2.1.11 Actuadores**

Los actuadores electrónicos son dispositivos que transforman una señal eléctrica en movimiento o trabajo físico. Estos dispositivos se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde control de válvulas y motores hasta la manipulación de objetos y automatización de procesos. La elección del tipo correcto de actuador depende de las necesidades específicas de la aplicación y las condiciones ambientales. (MAG, 2021)

### **2.1.12 Sistemas de control para las bombas de infusión**

Los sistemas de control para las bombas de infusión son componentes críticos en la administración segura y efectiva de medicamentos a través de infusiones intravenosas. Estos sistemas permiten el control preciso del flujo de medicamentos en el cuerpo del paciente, lo que es esencial para evitar sobredosis, subdosificación y otros errores en la administración de medicamentos. Estos sistemas pueden incluir sistemas de control de flujo, volumen, presión y errores para garantizar que los

pacientes reciban la cantidad correcta de medicamentos a la velocidad adecuada. (Rodriguez M. , 2001)

Estos instrumentos son capaces de controlar la infusión bloqueando la línea de infusión y depende de:

- Altura del contenedor de líquido a infundir.
- Oclusión de la línea de infusión.

Para aplicaciones de bajo riesgo en los pacientes se utilizan normalmente los reguladores. En cambio, las bombas de infusión deben utilizarse en situaciones de alto riesgo donde se requiera mayor precisión y confiabilidad. Estos sistemas se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Controladores de tasa de goteo.
- Controladores volumétricos.

Algunos de los principales tipos de sistemas de control utilizados en las bombas de infusión son: sistemas de control de flujo, sistemas de control de volumen, sistemas de control de presión, sistemas de control de errores, entre otros sistemas. Los sistemas de control deben ser diseñados y fabricados con los más altos estándares de calidad para garantizar la seguridad del paciente.

### **2.1.13 Suministro de fármacos asistido por computador**

El suministro de fármacos asistido por computador (CADD) es una tecnología que permite la administración segura y precisa de medicamentos mediante una bomba de infusión programable por computadora. CADD utiliza un sistema de control de flujo para administrar medicamentos al paciente a un ritmo controlado y constante. CADD es exclusivamente útil en circunstancias en las que se requiere una administración precisa de fármacos a largo plazo, como en pacientes con dolor crónico o quimioterapia. Estos sistemas también se utilizan comúnmente en

hospitales y clínicas para la administración de fármacos por vía intravenosa. (de Moura & Maria, 2016)

El CADD consta de varios componentes clave, que incluyen una bomba de infusión programable, un sistema de control de flujo, tubos y una bolsa de infusión. El médico o la enfermera programan la velocidad de infusión y la duración de la administración del fármaco en la bomba de infusión. El sistema de control de flujo monitorea continuamente la tasa de infusión y ajusta automáticamente la tasa de flujo para garantizar una administración precisa del fármaco. (Medina, Fernandez, & Jesus, 2015) Además de garantizar la administración precisa de medicamentos, el CADD también tiene características de seguridad para evitar fallos en la suministración de medicamentos, como alarmas que notifican al personal médico cuando la tasa de infusión se desvía de un rango específico. En la dosificación computarizada de medicamentos, las bombas liberan el medicamento a intervalos específicos. Cuando se alcanza la concentración deseada (normalmente por bolo), la bomba se ralentiza automáticamente y aumenta el caudal para evitar una acumulación excesiva del fármaco.

En resumen, la administración de medicamentos asistida por computadora (CADD) es una tecnología importante que permite la suministración segura y precisa de medicamentos a través de una bomba de infusión programable por computadora. CADD se usa comúnmente en situaciones donde se requiere una administración de medicamentos precisa y a largo plazo y también incluye características de seguridad para evitar fallos en la administración de medicamentos. (de Moura & Maria, 2016)

**CAPÍTULO III**

**ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN**

**ACTUAL**

### **3.1 Primeros prototipos de las bombas de infusión**

El primer intento de adquirir medicamentos por vía intravenosa en el año de 1492. Pero no fue hasta el siglo XVII que la tecnología ganó prominencia, con el primer set intravenoso inventado en 1658 por el científico y arquitecto Christopher Wren. Al igual que con cualquier nuevo invento, los goteos intravenosos y las transfusiones de sangre tuvieron éxito, pero las muertes provocaron que la investigación intravenosa se archivara durante más de 100 años. A principios del siglo XIX, se desarrollaron las primeras bombas de infusión para controlar el flujo durante los procedimientos intravenosos. Durante el siglo XX, la medicina hizo grandes avances en las bombas de infusión intravenosa. En la década de 1970, Dean Kamen desarrolló una bomba de infusión portátil. Además de ser portátil, la bomba Kamen administraba dosis precisas a intervalos regulares establecidos automáticamente. (Sacido, 2017)

Estas herramientas son escasas durante la pandemia de COVID-19. A medida que aumenta la demanda de bombas de infusión, se están emitiendo directrices que apuntan a aumentar el acceso a equipos para los pacientes de COVID-19 que "pueden requerir una infusión continua de medicamentos, nutrientes y otros líquidos", emitió una guía. (HOSPITAL, 2020)

### **3.2 Problemas frecuentes**

Algunas razones generales por las cuales podrían haber aumentado la necesidad de bombas de infusión para medicamentos por vía intravenosa en los últimos años:

Avances médicos y terapias más complejas: A medida que la medicina avanza, se desarrollan tratamientos más especializados y precisos que a menudo requieren la administración cuidadosa y constante de medicamentos. Las bombas de infusión son cruciales para respaldar que estos tratamientos se administren de manera precisa y efectiva.

Aumento de enfermedades crónicas: El incremento en la prevalencia de enfermedades crónicas, como la diabetes, la insuficiencia renal y algunas enfermedades autoinmunes, ha llevado a un mayor uso de terapias intravenosas a largo plazo. Las bombas de infusión permiten a los pacientes recibir estos tratamientos en casa o en entornos ambulatorios.

Mayor longevidad de la población: Con una población que envejece, hay una mayor necesidad de tratamientos médicos prolongados. Las bombas de infusión son esenciales para suministrar medicamentos y fluidos de forma continua y controlada en pacientes que pueden requerir atención a largo plazo.

Mayor énfasis en la precisión y la seguridad: En la medicina moderna, la precisión y la seguridad del paciente son importantes. Las bombas de infusión son importantes en los entornos sanitarios porque son herramientas diseñadas para reducir los errores en la administración de medicamentos.

Terapias de inmunoterapia y terapias biológicas: Estas terapias innovadoras a menudo requieren la administración de medicamentos que son altamente sensibles a la velocidad de infusión. Las bombas de infusión son capaces de proporcionar una administración controlada y precisa, lo que es esencial para la eficacia de estos tratamientos.

Avances tecnológicos: El desarrollo de bombas de infusión más pequeñas, portátiles y fáciles de usar ha hecho que sea más conveniente y práctico administrar medicamentos por vía intravenosa en una variedad de entornos y situaciones.

El aumento en la necesidad de bombas de infusión para medicamentos por vía intravenosa en los últimos años puede atribuirse a una combinación de avances médicos, cambios demográficos y un mayor enfoque en la precisión y la seguridad en la atención médica. Estos dispositivos desempeñan una función fundamental en la administración de tratamientos médicos y terapias especializadas. (Ruiz, 2023)

Las bombas de infusión para medicamentos por vía intravenosa también pueden estar asociadas con una serie de problemáticas y desafíos. Algunos de los problemas comunes relacionados con estas bombas incluyen:

**Errores de programación:** La programación incorrecta de la bomba de infusión puede llevar a la administración incorrecta de medicamentos, lo que representa un riesgo importante para la seguridad del paciente. Los errores de programación pueden ocurrir debido a fallos humanos, falta de capacitación o problemas técnicos con la bomba.

**Fallos técnicos:** Las bombas de infusión son dispositivos mecánicos y electrónicos, lo que significa que pueden experimentar fallos técnicos, como bloqueos en las líneas de infusión, mal funcionamiento de la bomba o errores en el sistema de control. Estos fallos pueden afectar la administración adecuada de medicamentos.

**Problemas de compatibilidad:** Algunos medicamentos pueden no ser compatibles con ciertos tipos de bombas de infusión o materiales de infusión, lo que puede resultar en la obstrucción de la línea o la degradación del medicamento. Esto requiere una atención cuidadosa a la selección de bombas y materiales compatibles.

**Infecciones asociadas a la infusión:** La infusión de medicamentos a través de una bomba de infusión puede aumentar el riesgo de morbilidad relacionada con la infusión si no se siguen prácticas de higiene adecuadas, lo que provoca infección permanente.

**Monitoreo continuo requerido:** Aunque las bombas de infusión son dispositivos automáticos, aún requieren un monitoreo constante por parte del personal de salud para garantizar que estén funcionando correctamente y que el paciente esté respondiendo adecuadamente al tratamiento.

(Gómez Baraza, Fernández M., Palomo Jiménez, Real Campaña, & Sazatornil, 2014)

Costos: Las bombas de infusión y sus accesorios pueden ser costosos. Esto puede ser un desafío económico para los sistemas de atención médica y los pacientes, especialmente en el caso de terapias a largo plazo.

Capacitación necesaria: El personal de salud que utiliza bombas de infusión debe recibir capacitación adecuada para su uso seguro y eficaz. La falta de capacitación puede aumentar el riesgo de errores en la administración de medicamentos.

Carga de trabajo del personal: Operar múltiples bombas de infusión en una unidad de cuidados intensivos o en un hospital aumenta la carga de trabajo del personal de enfermería y requiere una monitorización constante.

A pesar de estas problemáticas, las bombas de infusión siguen siendo una herramienta valiosa en la atención médica, ya que permiten una administración precisa de medicamentos y líquidos. Para abordar estas cuestiones, se promueve la formación continua del personal, la adopción de protocolos de seguridad, la mejora de la tecnología de las bombas y una supervisión rigurosa durante su uso. (Fabiola Puértolas Balint, y otros, 2016)

# **CAPÍTULO IV**

## **METODOLOGÍA Y DESARROLLO**

## 4.1 Alcance y enfoque de la investigación

Diseñar un sistema mecatrónico para mejorar el proceso de infusión de medicamentos por vía intravenosa, aplicando tecnologías de vanguardia como son CAD, análisis de fluidos y elementos mecánicos.

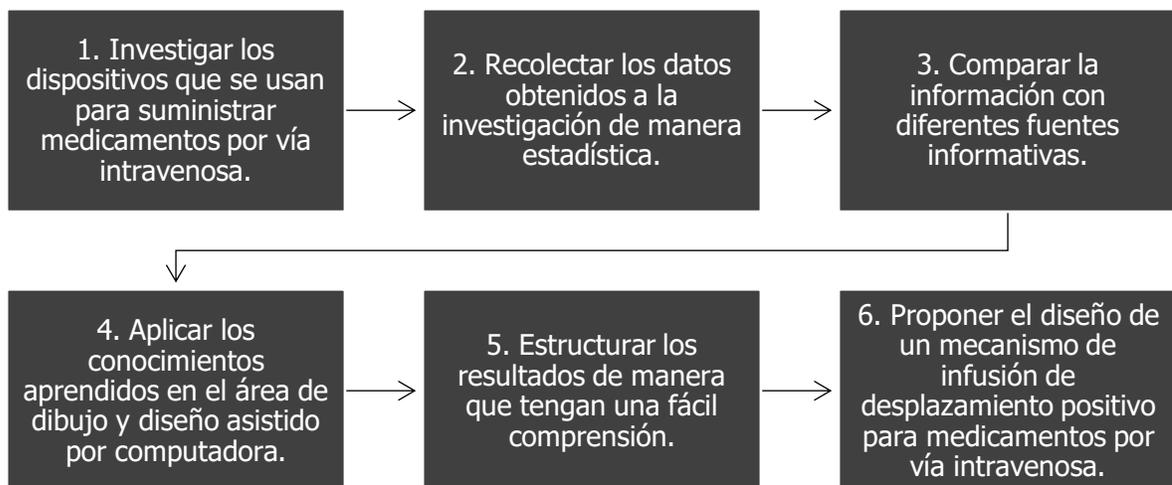
## 4.2 Hipótesis

Optimizar el sistema de transmisión mecánica en una bomba de infusión, con un enfoque en la reducción de fricción e incremento en la precisión de la administración de fluidos, mejorará la eficiencia y la consistencia en la velocidad de infusión.

## 4.3 Diseño y metodología de la investigación

Se sigue el procedimiento para un enfoque transversal de diseño, donde el primer paso es analizar y comprender el problema, luego dividirlo en subproblemas, encontrar soluciones parciales adecuadas y combinarlas para obtener la solución general.

El desarrollo de la metodología se centra en seis fases para el logro de los objetivos planteados. Las cuales se muestran a continuación: (Giesecke, 2013)



## **4.4 Procedimiento**

Este proyecto de investigación se centrará en la propuesta de un diseño mecánico más adecuado para la tarea de mejorar la infusión de soluciones en el cuerpo por vía intravenosa. Por lo cual se propone el uso de un tren de engranajes y un sistema de rodillos que permitan controlar el flujo de las soluciones.

## **4.5 Iteraciones de diseño**

En un proyecto de diseño, la ingeniería básica implica proporcionar una descripción general de las funcionalidades de un equipo. Para lograrlo, es necesario seleccionar opciones que sean viables.

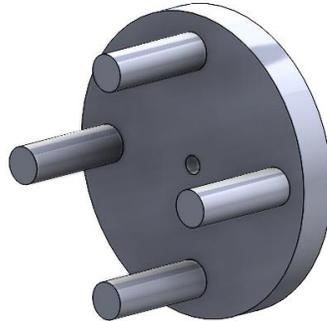
En esta investigación se crearon dos alternativas de diseño diferentes. El objetivo era relacionar sus funciones y forma de manera que se pudiera tener un punto de referencia y elegir la que cumpliera mejor con las especificaciones establecidas en los resultados anteriores.

### **4.5.1 Iteración 1**

La primera iteración que se plantea es un mecanismo dado de un eje con cuatro rodillos (Figura 4.1). En la base principal, se basa en una plantilla rectangular donde pasa un ducto haciendo una curva con forma de media circunferencia (Figura 4.2). Se piensa en colocar un reductor con engranes en la parte trasera para controlar y variar el flujo que pasa por el mecanismo.

### **Figura 4.1**

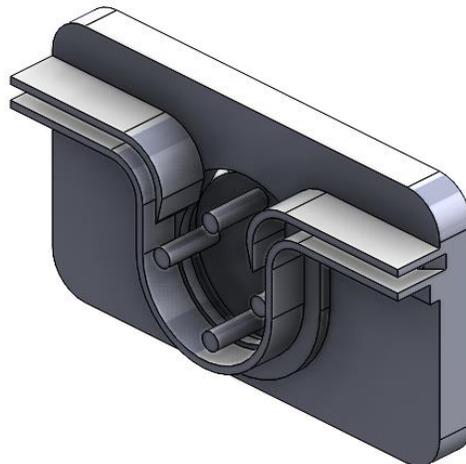
*Roleo de cuatro rodillos*



Nota. Los rodillos están situados alrededor de una circunferencia, cada uno de los rodillos estrangula una manguera de venoclisis de forma que el flujo sea controlado en un determinado tiempo. Fuente: Elaboración propia.

### **Figura 4.2**

*Base iteración 1*



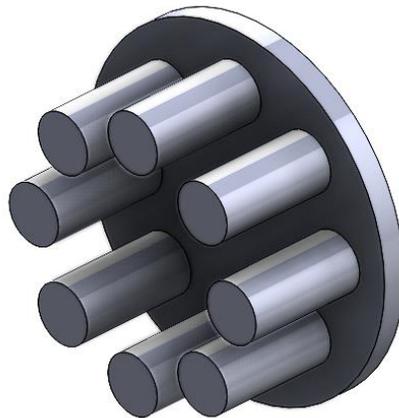
Nota. Se basa en una placa rectangular, el ducto tiene forma de media circunferencia donde pasará la manguera de venoclisis, en el centro tiene un agujero para ensamblar los rodillos estranguladores. Fuente: Elaboración propia.

## 4.5.2 Iteración 2

La segunda iteración que se plantea es similar a la primera iteración, en este mecanismo se usa un roleo con ocho rodillos (Figura 4.3) que al mismo tiempo que giran, estos estrangulan la manguera que pasa por la base rectangular (Figura 4.4), de igual manera esta tiene un ducto con forma de media circunferencia. Se coloca una caja reductora de velocidad con engranes rectos. Quedando la caja reductora en la parte trasera de la base (Figura 4.5).

**Figura 4.3**

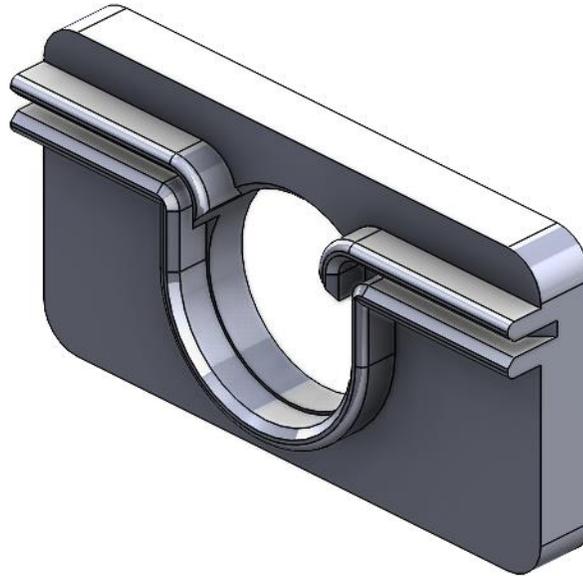
*Roleo ocho rodillos*



Nota. El roleo con ocho rodillos se propuso para tener una mayor precisión en el control de la velocidad en el flujo, otro motivo fue que en el modelo de la iteración 1 este tenía dimensiones muy pequeñas, este roleo cumple con estrangular la manguera de venoclisis de manera precisa. Fuente: Elaboración propia.

#### **Figura 4.4**

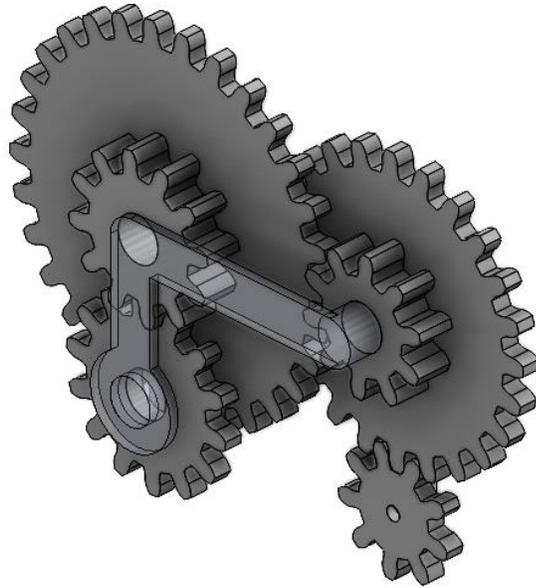
*Base iteración 2*



Nota. Al igual que en el modelo de la iteración 1, esta base se basa en una placa rectangular, el ducto tiene forma de media circunferencia donde pasará la manguera de venoclisis, en el centro tiene un agujero para ensamblar los rodillos estranguladores. Este modelo se propuso con las dimensiones necesarias para que el roleo de ocho rodillos quedara ensamblado en el centro de la base. Fuente: Elaboración propia.

## Figura 4.5

*Caja de engranajes reductora*



Nota. La figura muestra caja reductora donde se toman en cuenta seis engranajes, cada uno con diámetro distinto que cumplen con reducir la velocidad de entrada y así la velocidad de salida sea la necesaria para infusión máxima de soluciones por vía intravenosa. Fuente: Elaboración propia.

## 4.6 Diseño mecánico

### 4.6.1 Cálculo de volumen a administrar

Para este proyecto se investigó en distintos centros de salud y con personal profesional sobre la cantidad máxima de solución que se puede administrar en el cuerpo, llegando a concluir que se puede administrar 1 litro de solución en una hora.

$$F_{max} = \frac{ml}{seg} \quad (1)$$

Quedando de la siguiente manera:

$$F_{max} = \frac{1000 \text{ ml}}{3600 \text{ seg}} = 0.277 \text{ ml/s}$$

Teniendo esto en cuenta, se pudo comenzar a realizar el cálculo del mecanismo, tomando en consideración el elemento motriz que es un motor de corriente directa a 140 RPM. El mecanismo consta de 8 rodillos, estos se encargan de aplicar presión en la manguera donde pasa el fluido (Figura 4.6). Para llegar a la velocidad correcta de los rodillos se calculó la longitud de arco y el volumen que hay dentro de la manguera (Figura 4.7), obteniendo lo siguiente:

Para calcular la longitud de arco se aplica la siguiente ecuación:

$$L = \frac{2\pi R\theta}{360^\circ} \quad (2)$$

Donde

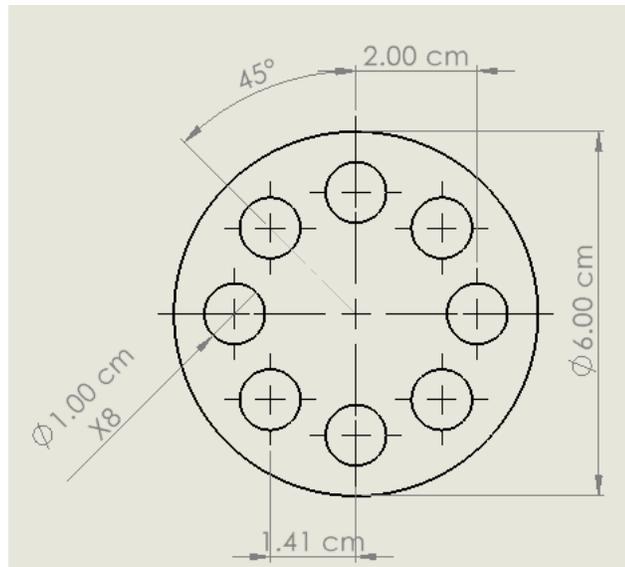
L= Longitud de arco

R= Radio de la circunferencia, mm

$\theta$ = Ángulo de posición

## Figura 4.6

### Dimensiones de rodillos



Nota. La figura muestra el dibujo técnico en vista frontal del rodillo propuesto para el mecanismo. Fuente: Elaboración propia.

$$L = \frac{2\pi(25mm)(45^\circ)}{360^\circ}$$

$$L = \frac{25}{4}\pi$$

Resultando lo siguiente:

$$L = 19.634 \text{ mm}$$

$$L = \frac{5}{8}\pi$$

Convirtiendo en centímetros:

$$L = 1.963 \text{ cm}$$

Para calcular el volumen se puede aplicar una de las siguientes ecuaciones:

$$\text{a) } V = A_b H \quad (3)$$

Donde

V= Volumen,  $\text{cm}^3$

$A_b$ = Área de la circunferencia interna de la manguera,  $\text{cm}^2$

H= Altura (En este caso se usa la longitud de arco), cm

$$\text{b) } V = \pi r^2 H \quad (4)$$

Donde

V= Volumen,  $\text{cm}^3$

r= Radio de la circunferencia interna de la manguera, cm

H= Altura (En este caso se usa la longitud de arco), cm

#### **Figura 4.7**

*Manguera de venoclisis*



Nota. La imagen muestra la manguera de venoclisis que se usa para suministrar medicamentos por vía intravenosa. Elaboración propia.

Datos:

$$r = 0.15 \text{ cm}$$

$$V = \pi(0.15)^2 \left( \frac{5}{8} \pi \right)$$

Resultando lo siguiente:

$$V = 0.138 \text{ cm}^3$$

Convirtiendo en milímetros:

$$V = 0.138 \text{ ml}$$

Así se obtuvieron 1.104 ml en una revolución.

#### 4.6.2 Cálculo relación de engranajes

La relación de transmisión de engranajes es muy importante, ya que con esto podemos encontrar el tamaño de los engranajes para reducir o aumentar la velocidad del elemento motriz, en este caso se tuvo que reducir, teniendo en cuenta los cálculos anteriores se demostró que la velocidad de salida debe ser 0.2509 RPS.

Para la relación de engranajes se aplica la siguiente ecuación:

$$i = \frac{W_s}{W_e} = \frac{Z_e}{Z_s} \quad (5)$$

Donde

$i$  = Relación de transmisión

$W_s$  = Velocidad de salida

$W_e$  = Velocidad de entrada

$Z_e$  = Número de dientes en engranajes conductores

$Z_s$  = Número de dientes en engranajes conducidos

Datos

$$W_s = 0.2509 \text{ RPS}$$

$$W_e = 140 \text{ RPM} = 2.33 \text{ RPS}$$

Sustituyendo la ecuación:

$$i = \frac{0.2509}{2.33}$$

Resultando lo siguiente:

$$i = 0.1076$$

Suponiendo distintas iteraciones que coincidieran con la relación de engranajes se encontró la más cercana que es la siguiente:

$$i = \frac{9 * 10 * 12}{24 * 30 * 14}$$

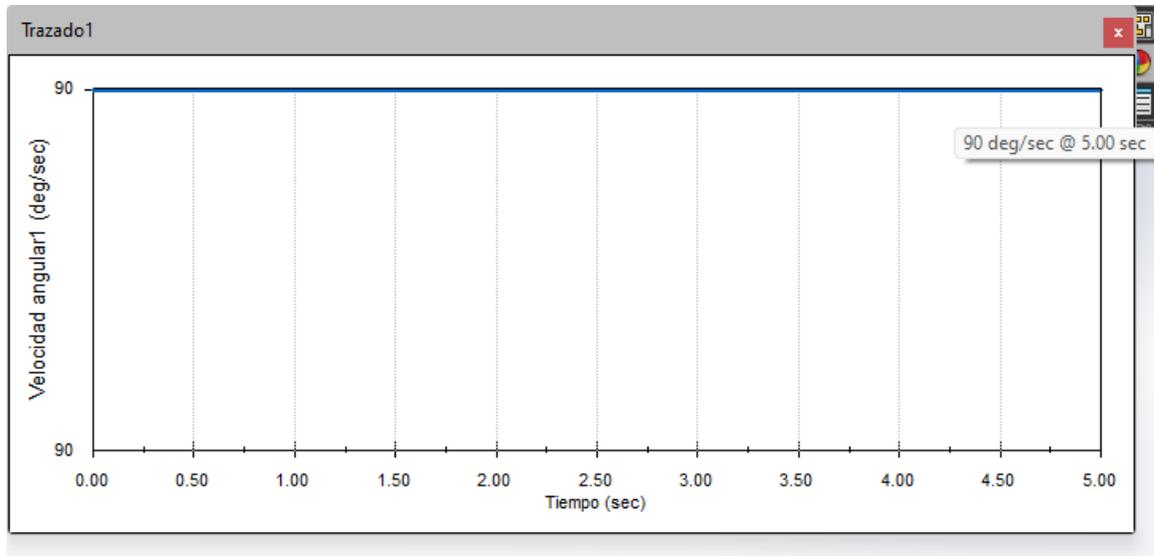
Resultando lo siguiente:

$$i = 0.1071$$

Teniendo el engranaje motriz con 9 dientes a 2.33 RPS, conduciendo a un engranaje de 24 dientes, en su mismo eje teniendo otro engranaje que se convierte en conductor con 10 dientes conduciendo a un engranaje de 30 dientes, en su mismo eje teniendo otro engranaje que se convierte en conductor con 12 dientes, este engranaje conduce al último engranaje con 14 dientes con una velocidad de salida de 0.250 RPS (Figura 4.8).

**Figura 4.8**

*Velocidad de salida*



Nota. La figura muestra una velocidad de salida de 90 deg/sec (grados/segundos) que es la calculada anteriormente, 90 grados/segundos que equivale a 0.250 RPM. Fuente: Elaboración propia.

### 4.6.3 Cálculo de engranajes

Para el proyecto se tomaron en cuenta seis engranajes para una caja reductora de velocidad, teniendo una velocidad de entrada de 140 RPM equivalente a 2.33 RPS y una velocidad de salida de 0.277 RPS. Para calcular los engranes se deben aplicar distintas ecuaciones que ayudan a encontrar los parámetros necesarios para un engranaje, estos elementos son:

1. Número de dientes

Aquí se usa la relación de engranajes ya calculada anteriormente, es la siguiente:

$$i = \frac{9 * 10 * 12}{24 * 30 * 14}$$

$$i = 0.1071$$

2. Paso diametral

3. Diámetro de paso

$$D = \frac{N_D}{P_D} \quad (6)$$

Donde:

D= Diámetro de paso, in

N<sub>D</sub>= Número de dientes

P<sub>D</sub>= Paso diametral, in

4. Paso circular

$$P = \frac{\pi D}{N_D} \quad (7)$$

Donde:

P= Paso circular, in

D= Diámetro de paso, in

N<sub>D</sub>= Número de dientes

5. Módulo

$$a = \frac{1}{P_D} \quad (8)$$

Donde:

a= Módulo, in

P<sub>D</sub>= Paso diametral, in

#### 6. Pie de diente

$$b < 20 \quad b = \frac{1.25}{P_D} \quad (9)$$

Donde:

b= Pie de diente, in

P<sub>D</sub>= Paso diametral, in

#### 7. Altura del diente

$$h_t = a + b \quad (10)$$

Donde:

h<sub>t</sub>= Altura del diente, in

a= Módulo, in

b= Pie de diente, in

#### 8. Espesor del diente

$$t = \frac{\pi}{2P_D} \quad (11)$$

Donde:

t= Espesor del diente, in

P<sub>D</sub>= Paso diametral, in

### 9. Diámetro exterior

$$D_e = D + 2a \quad (12)$$

Donde:

$D_e$ = Diámetro exterior, in

$D$ = Diámetro de paso, in

$a$ = Módulo, in

### 10. Diámetro interior

$$D_i = D - 2a \quad (13)$$

Donde:

$D_i$ = Diámetro interior, in

$D$ = Diámetro de paso, in

$a$ = Módulo, in

#### 4.6.3.1 Cálculo de engranaje motriz (9 dientes)

1. Diámetro de paso

$$D = \frac{N_D}{P_D} \quad (6)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D = \frac{9}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$D = 1.125 \text{ in}$$

2. Paso circular

$$P = \frac{\pi D}{N_D} \quad (7)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$P = \frac{\pi 1.125}{9}$$

Resultando lo siguiente:

$$P = 0.39269 \text{ in}$$

3. Módulo

$$a = \frac{1}{P_D} \quad (8)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$a = \frac{1}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$a = 0.125 \text{ in}$$

#### 4. Pie de diente

$$b < 20 \quad b = \frac{1.25}{P_D} \quad (9)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$b < 20 \quad b = \frac{1.25}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$b = 0.15625 \text{ in}$$

#### 5. Altura de diente

$$h_t = a + b \quad (10)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$h_t = 0.125 + 0.15625$$

Resultando lo siguiente:

$$h_t = 0.28125 \text{ in}$$

#### 6. Espesor del diente

$$t = \frac{\pi}{2P_D} \quad (11)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$t = \frac{\pi}{2(8)}$$

Resultando lo siguiente:

$$t = 0.19634654 \text{ in}$$

7. Diámetro exterior

$$D_e = D + 2a \quad (12)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D_e = 1.125 + 2(0.125)$$

Resultando lo siguiente:

$$D_e = 1.375 \text{ in}$$

8. Diámetro interior

$$D_i = D - 2a \quad (13)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D_i = 1.125 - 2(0.125)$$

Resultando lo siguiente:

$$D_i = 0.875 \text{ in}$$

Calculando los engranajes necesarios (revisar anexo 1) para la caja se encontró lo siguiente:

Para el primer engranaje (motriz) se calculó lo siguiente: (Tabla 4.1)

**Tabla 4.1**

*Cálculo de engranaje 1*

Engranaje	$N_D$	$P_D$ (in)	D (in)	P (in)	a (in)	b (in)	$h_t$ (in)	t (in)	$D_e$ (in)	$D_i$ (in)
1	9	8	1.125	0.392699082	0.125	0.15625	0.28125	0.19634954	1.375	0.875

Nota. La tabla 1 muestra los parámetros calculados para la realización del engranaje con 9 dientes. Fuente: Elaboración propia.

Para el segundo engranaje: (Tabla 4.2)

**Tabla 4.2**

*Cálculo de engranaje 2*

Engranaje	$N_D$	$P_D$ (in)	D (in)	P (in)	a (in)	b (in)	$h_t$ (in)	t (in)	$D_e$ (in)	$D_i$ (in)
2	24	8	3	0.392699082	0.125	0.15625	0.28125	0.19634954	3.25	2.75

Nota. La tabla 2 muestra los parámetros calculados para la realización del engranaje con 24 dientes. Fuente: Elaboración propia.

Para el tercer engranaje: (Tabla 4.3)

**Tabla 4.3**

*Cálculo de engranaje 3*

Engranaje	$N_D$	$P_D$ (in)	D (in)	P (in)	a (in)	b (in)	$h_t$ (in)	t (in)	$D_e$ (in)	$D_i$ (in)
3	10	8	1.25	0.392699082	0.125	0.15625	0.28125	0.19634954	1.5	1

Nota. La tabla 3 muestra los parámetros calculados para la realización del engranaje con 10 dientes. Fuente: Elaboración propia.

Para el cuarto engranaje: (Tabla 4.4)

**Tabla 4.4**

*Cálculo de engranaje 4*

Engranaje	$N_D$	$P_D$ (in)	D (in)	P (in)	a (in)	b (in)	$h_t$ (in)	t (in)	$D_e$ (in)	$D_i$ (in)
4	30	8	3.75	0.392699082	0.125	0.15625	0.28125	0.19634954	4	3.5

Nota. La tabla 4 muestra los parámetros calculados para la realización del engranaje con 30 dientes. Fuente: Elaboración propia.

Para el quinto engranaje: (Tabla 4.5)

#### **Tabla 4.5**

##### *Cálculo de engranaje 5*

Engranaje	$N_D$	$P_D$ (in)	D (in)	P (in)	a (in)	b (in)	$h_t$ (in)	t (in)	$D_e$ (in)	$D_i$ (in)
5	12	8	1.5	0.392699082	0.125	0.15625	0.28125	0.19634954	1.75	1.25

Nota. La tabla 5 muestra los parámetros calculados para la realización del engranaje con 12 dientes. Fuente: Elaboración propia.

Para el sexto engranaje: (Tabla 4.6)

#### **Tabla 4.6**

##### *Cálculo de engranaje 6*

Engranaje	$N_D$	$P_D$ (in)	D (in)	P (in)	a (in)	b (in)	$h_t$ (in)	t (in)	$D_e$ (in)	$D_i$ (in)
6	14	8	1.375	0.392699082	0.125	0.15625	0.28125	0.19634954	2	1.5

Nota. La tabla 6 muestra los parámetros calculados para la realización del engranaje con 14 dientes. Fuente: Elaboración propia.

### **4.6.4 Análisis de fuerzas en los engranajes**

Teniendo la relación de engranajes es necesario analizar las fuerzas que se aplican en ellos. Para esto se deben calcular las cargas que se transmiten, comenzando desde la potencia del motor que se usará para mover el engranaje motriz.

Es necesario saber las especificaciones del motor para conocer los parámetros con los que esta cuenta. Los parámetros son los siguientes: (Tabla 4.7)

**Tabla 4.7***Propiedades del motor*

<b>Voltage: 12V</b>						
Reduction Ratio	1:4.4	1:10	1:20	1:34	1:20	1:45
No load Current(mA)	≤200	≤200	≤200	≤200	≤130	≤150
No load Speed(rpm)	2700	1290	600	350	220	140
Rated Torque(kg.cm)	0.8	1.7	3.5	5.8	2.9	4.3
Rated Torque(N.m)	0.08	0.17	0.34	0.57	0.28	0.42
Rated Speed(rpm)	1600	700	350	180	130	70
Rated Current(A)	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.7	≤1.0	≤0.8
Stall Current (A)	≤5.6	≤5.6	≤5.6	≤5.6	≤2.5	≤2.5
Stall Torque(kg.cm)	1.8	3.5	7.0	12.0	5.0	8.5
Hall resolution(PPR)	44	102.3	224.5	341.2	224.5	493.9
Length of gearbox	19	19	19	21	19	21

Nota. Tomada de (Shenzhen Chihai Motor Co., Ltd., s.f.)

Para calcular la carga transmitida se usa la siguiente ecuación:

$$wt = \frac{60,000H}{\pi d n} \quad (14)$$

Donde:

wt= Carga transmitida, Newtons

H= Potencia, Kw

d= diámetro de paso, mm

n= Velocidad, RPM

Teniendo los parámetros del motor (Figura 4.7) se usa el torque con 0.42 Nm y una velocidad de 140 RPM.

Es necesario aplicar la potencia en KW, teniendo el torque, solo es necesario multiplicarlo por la velocidad angular de entrada. Se aplica la siguiente ecuación:

$$W = \frac{Nm}{s} \quad (15)$$

Donde:

W= Watts

N= Newton

m= metro

s= segundo

Sustituyendo la ecuación:

$$W = 0.42 (2.33 * 2\pi)$$

Resultando lo siguiente:

$$W = 6.1487$$

Como la ecuación nos pide Kw solo hacemos la conversión de W a KW resultando lo siguiente:

$$= 0.0061487 Kw$$

Teniendo todo en orden comenzamos a calcular las cargas con la ecuación:

$$wt = \frac{60,000H}{\pi d n} \quad (16)$$

En el primer caso, se trasmite la carga del engranaje 1 al engranaje 2 con los siguientes datos:

$$d = 1.125 \text{ in} = 28.575 \text{ mm}$$

$$n = 140 \text{ RPM}$$

Sustituyendo la ecuación:

$$wt = \frac{60,000(0.006148)}{\pi (28.575) (140)}$$

Resultando lo siguiente:

$$wt = 0.029354 \text{ KN}$$

Convirtiendo en N:

$$wt = 29.3542 \text{ N}$$

Para el segundo cálculo, se trasmite la carga del engranaje 3 al engranaje 4, tomando en cuenta que la carga del engranaje 2 es la misma que la del engranaje 3, esto porque los engranajes están situados sobre el mismo eje. Se tiene lo siguiente:

$$W = 2.9354 (0.875 * 2\pi)$$

Resultando lo siguiente:

$$W = 16.138$$

Nuevamente hacemos la conversión de W a KW resultando lo siguiente:

$$= 0.016138 \text{ KW}$$

Continuando con el cálculo de cargas se tienen los siguientes datos:

$$d = 1.25 \text{ pulg} = 31.75 \text{ mm}$$

$$n = 52.5 \text{ RPM}$$

Sustituyendo la ecuación de cargas:

$$wt = \frac{60,000 (0.016138)}{\pi (31.75) (52.5)}$$

Resultando lo siguiente:

$$wt = 0.1849 \text{ KN}$$

Convirtiendo en N:

$$wt = 184.904 \text{ N}$$

Para el tercer cálculo, se trasmite la carga del engranaje 5 al engranaje 6, tomando en cuenta que la carga del engranaje 4 es la misma que la del engranaje 5, esto porque los engranajes están situados sobre el mismo eje. Se tiene lo siguiente:

$$W = 22.1881 (0.291 * 2\pi)$$

Resultando lo siguiente:

$$W = 40.662$$

Nuevamente hacemos la conversión de W a KW resultando lo siguiente:

$$= 0.040662 \text{ KW}$$

Continuando con el cálculo de cargas se tienen los siguientes datos:

$$d = 1.5 \text{ in} = 38.1 \text{ mm}$$

$$n = 17.5 \text{ RPM}$$

Sustituyendo la ecuación de cargas:

$$wt = \frac{60,000 (0.010662)}{\pi (38.1) (17.5)}$$

Resultando lo siguiente:

$$wt = 1.1647 \text{ KN}$$

Convirtiendo en N:

$$wt = 1,164.7 \text{ N}$$

## 4.7 Diseño de engranajes CAD

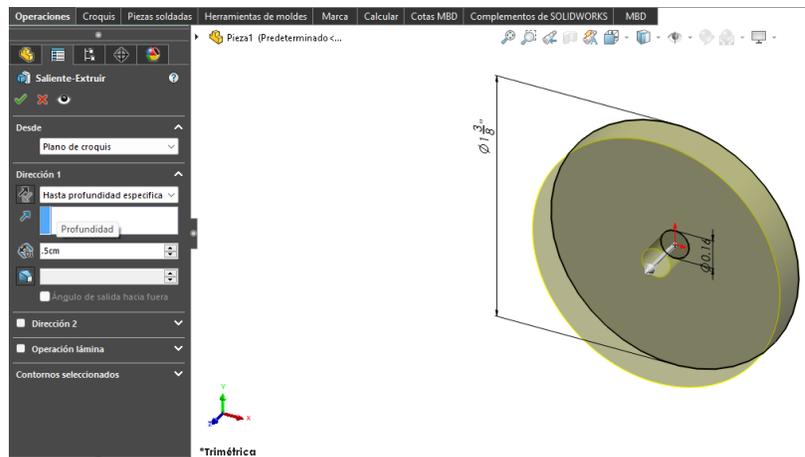
Para el diseño CAD de los engranajes se lleva a cabo un procedimiento de dibujo donde se aplica el dibujo asistido por computadora, se usa un software llamado "SolidWorks". Una vez teniendo todos los parámetros necesarios para los engranajes se abre el software creando una nueva pieza en un croquis nuevo y con IPS como unidades de medida.

Para el primer engranaje que es el engranaje motriz con 9 dientes se comienza con un plano alzado y el croquis con dos círculos partiendo desde el origen, el primer círculo acotado con el diámetro exterior del engranaje que es 1.375 in y el segundo con diámetro de acuerdo con el eje, en este caso se usa 0.4 cm, en seguida se le da una extrucción de 0.5 cm (Figura 4.9).

Luego de ello, se crea nuevo croquis en una cara del círculo ya extruido, se dibujan nuevamente dos círculos dentro del mismo, el primer círculo es acotado con el diámetro de paso que es de 1.125 in y el segundo usando el diámetro interior con 0.875 in. Partiendo del diámetro de paso se dibujan 4 círculos con diámetro a medida del paso circular y una línea constructiva desde el centro de uno de estos círculos al centro del origen (Figura 4.10).

**Figura 4.9**

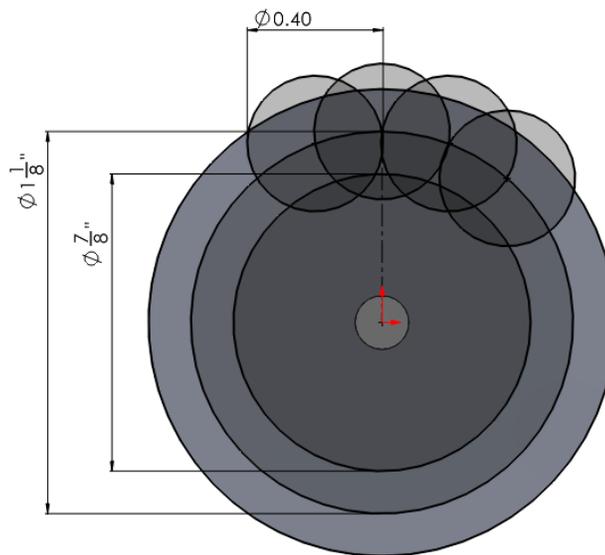
*Extrucción de engranaje motriz*



Nota. La imagen muestra la operación de extrucción a cinco milímetros de espesor en la pieza 1. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4.10**

*Parámetros internos de los dientes*



Nota. La figura muestra el diámetro de paso y el diámetro interior que se usa para el engranaje 1, también muestra el croquis que se usa para la forma del diente. Fuente: Elaboración propia.

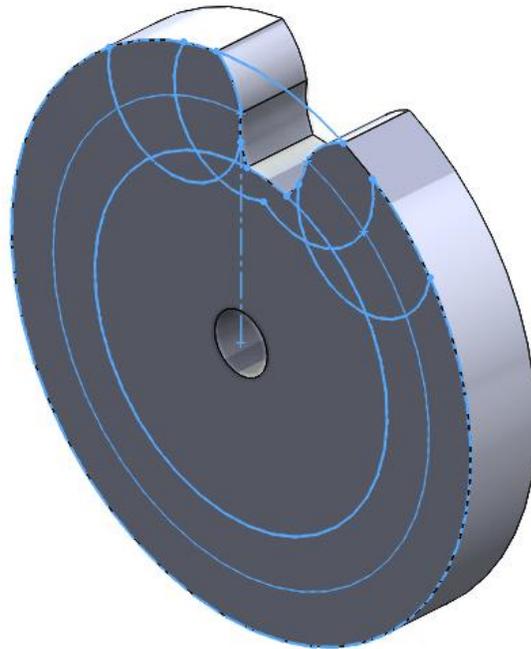
Teniendo esto se recortan líneas de los círculos pequeños dando la forma del diente para después extruir corte (Figura 4.11).

Por último, se usa la operación "matriz circular" donde se selecciona la forma del diente con instancia de 9 que es el número total de dientes del engranaje (Figura 4.12) y así la operación finaliza con la forma de un engranaje el cual tiene las siguientes especificaciones: (Figura 4.13).

- 9 dientes
- Diámetro exterior de 1.375 in
- Diámetro de paso de 1.25 in

#### **Figura 4.11**

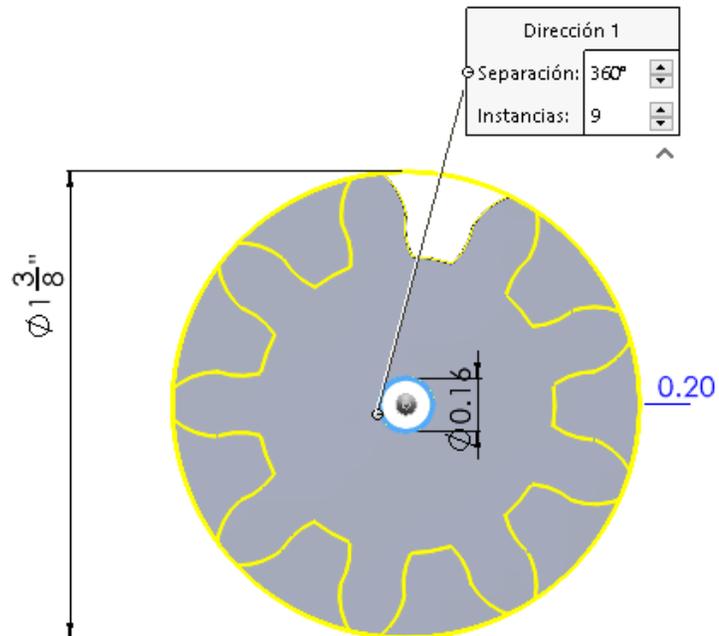
*Forma del diente del engranaje motriz*



Nota. La imagen muestra un corte sobre la extrucción de la pieza, dándole forma al diente del engranaje 1. Fuente: Elaboración propia.

## Figura 4.12

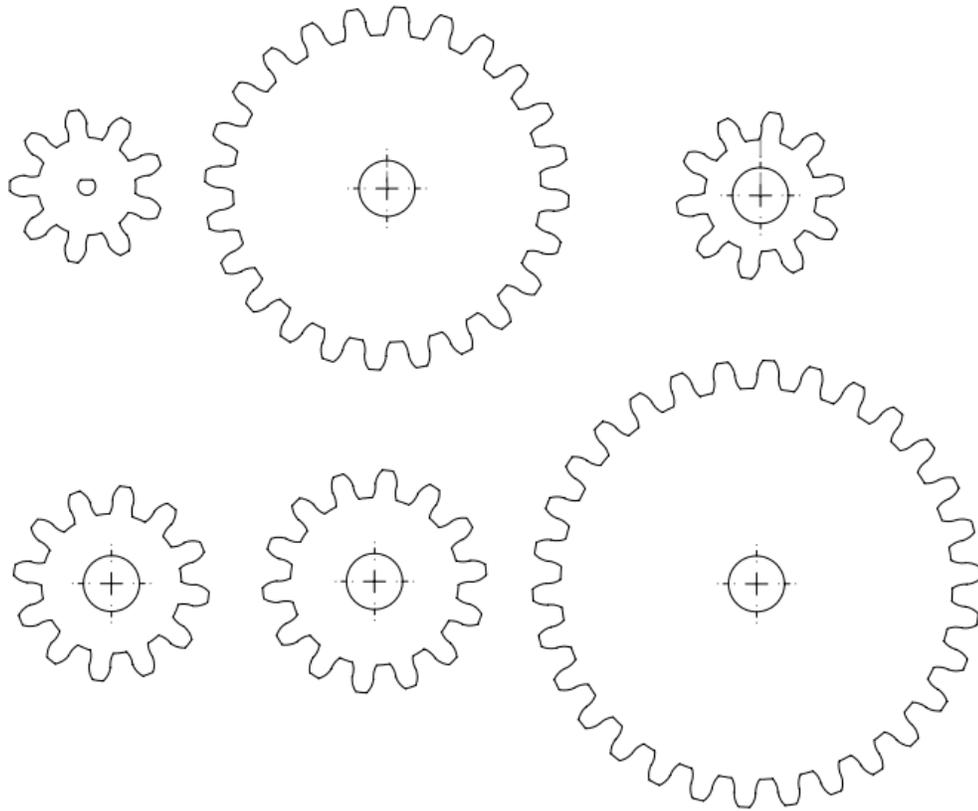
*Matriz circular del engranaje motriz*



Nota. En la figura se refleja la operación de matriz circular con 9 instancias. Las instancias son el número total de los dientes del engranaje. La operación se define a 360°. Fuente: Elaboración propia.

### Figura 4.13

*Dibujos de los engranajes.*



Nota. Para el diseño de los engranajes, aunque cada uno de ellos es de diferente tamaño, se sigue la misma metodología desde el cálculo hasta el dibujo para cada uno de los engranajes (Anexo 1). Así finaliza el dibujo de los engranajes en el software de SolidWorks. Fuente: Elaboración propia.

# **CAPÍTULO V**

## **RESULTADOS**

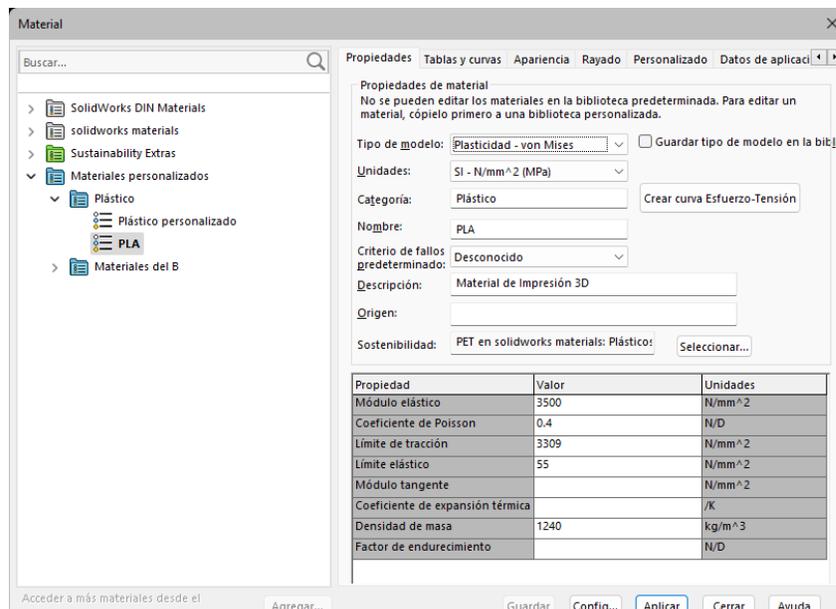
## 5.1 Validación de los elementos mecánicos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la realización de un análisis estático ejecutado en el software de diseño SolidWorks mediante la herramienta de simulación. Cada una de las simulaciones se realizó con las condiciones de cargas en el análisis de fuerzas y cargas transmitidas en los engranajes definidas en el capítulo 4.

Mediante el análisis de elementos finitos realizado en software SolidWorks simulamos la carga para el engranaje 2 (Engranaje de 24 dientes). Para ello, primero se debe configurar el material que se usará para la fabricación de este, tal como se muestra en la siguiente figura: (Figura 5.1)

**Figura 5.1**

*Configuración del material*

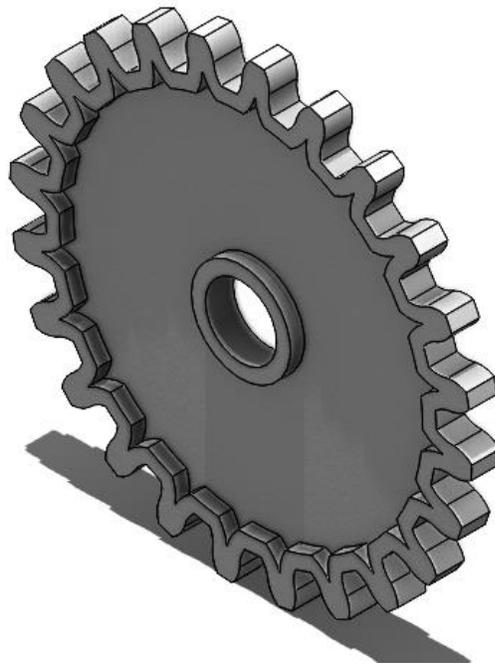


Nota. Se debe agregar el material con sus respectivas propiedades mecánicas, en este caso se usará material de impresión 3D PLA, esto para que en la simulación los resultados tengan mayor precisión. Fuente: Elaboración propia.

Se le aplica la operación de vaciado al engranaje de 2.5 mm al engranaje, quedando de la siguiente manera: (Figura 5.2)

### **Figura 5.2**

*Operación de vaciado a 2.5 mm al engranaje 2*

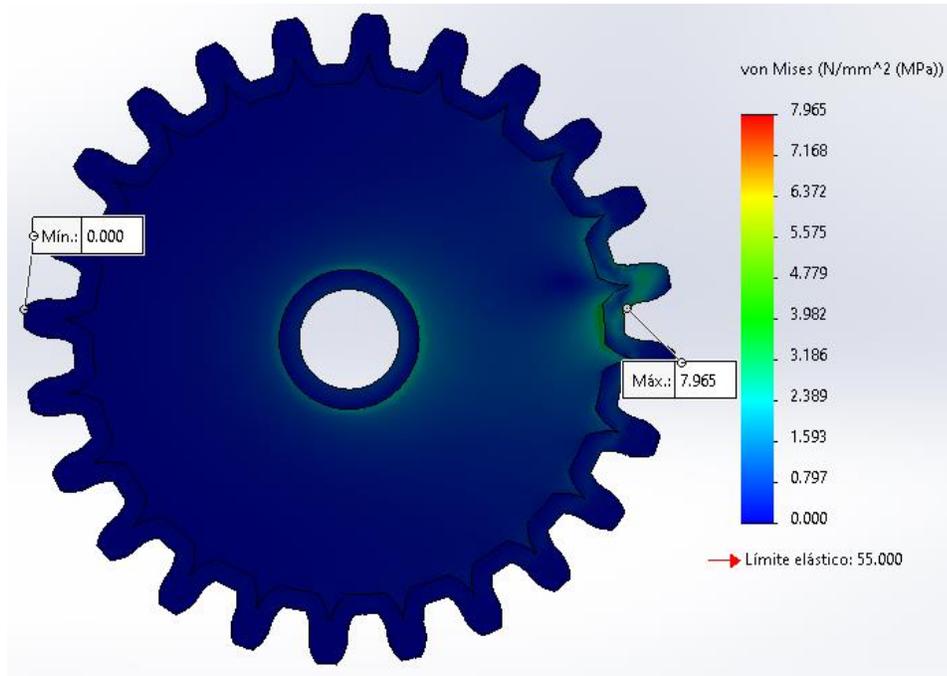


Nota. Para la fabricación de este será de PLA con una impresora 3D, con este método de fabricación la pieza no sale completamente sólida, es por ello por lo que se aplica la operación Elaboración propia.

En seguida, se carga el complemento "SOLIDWORKS Simulation" para el primer estudio estático, se le crea malla fina para una mejor precisión en la simulación, se determinan sujeciones y se le aplica la carga calculada anteriormente donde se obtuvo 29.3542 N. El resultado de la simulación quedó de la siguiente manera: (Figura 5.3) (Figura 5.4)

### Figura 5.3

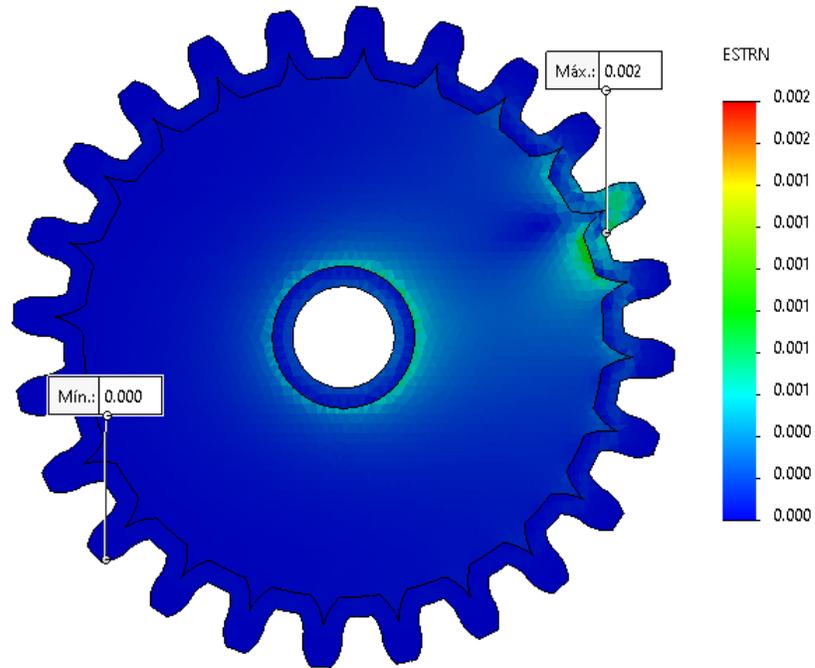
*Resultado de la simulación con cargas aplicadas en el engranaje 2 (Engranaje de 24 dientes) Tensiones*



Nota. En la figura se observa el resultado de la simulación 1, en este caso se muestran tensiones, se observa que el límite elástico de la pieza es de 55 MPa, en la parte derecha se encuentra la escala von Mises donde el color rojo es el máximo esfuerzo de 7.965 MPa, por lo tanto, se puede comprobar que la carga aplicada al diente del engranaje 2 no alcanza el límite elástico. Fuente: Elaboración propia.

### Figura 5.4

*Resultado de la simulación con cargas aplicadas en el engranaje 2 (Engranaje de 24 dientes) Deformaciones unitarias*



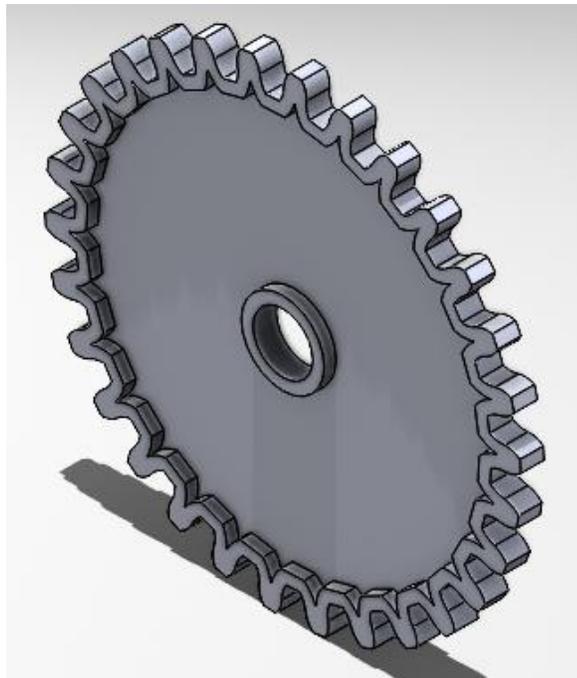
Nota. La figura muestra la solución de deformaciones unitarias, en la escala ESTRN ubicada a la derecha del engranaje se observa el color rojo que representa la proporción máxima de cambio en longitud con respecto a la longitud original, en este caso la deformación unitaria es de 0.002 lo que comprueba que la simulación representa una deformación casi imperceptible que no afecta el funcionamiento del mecanismo. Fuente: Elaboración propia.

Para la segunda simulación, se le aplica la carga que se trasmite al engranaje 4 (Engranaje de 30 dientes)

De la misma forma, se debe configurar el material que se usará para la fabricación de este y se le aplica un vaciado de 2.5 mm al engranaje. (Figura 5.6)

### **Figura 5.6**

*Operación de vaciado a 2.5 mm al engranaje 4*

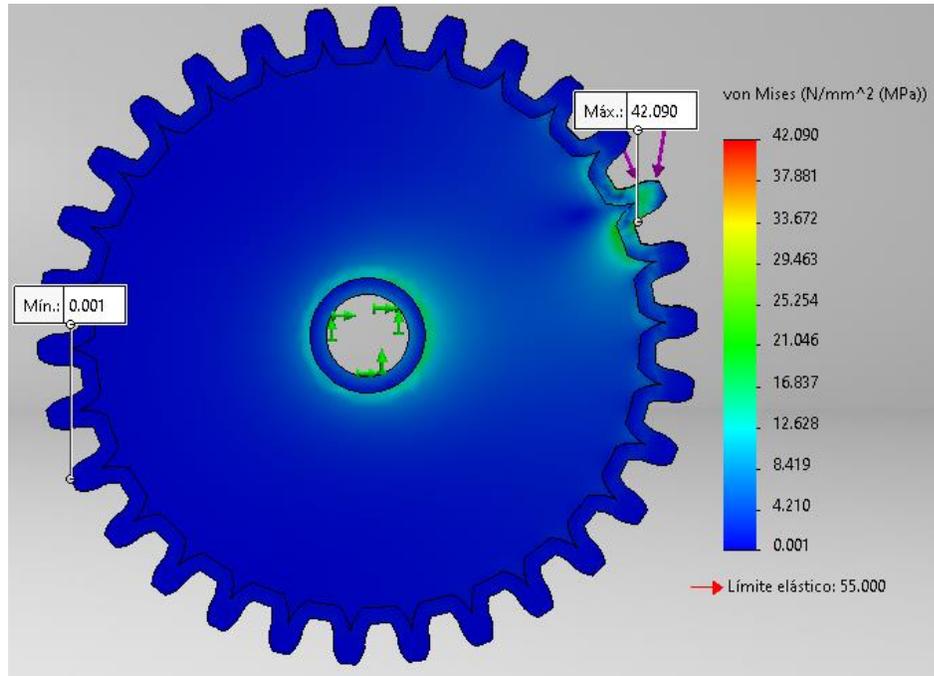


Nota. Elaboración propia.

Después del vaciado, se carga el complemento "SOLIDWORKS Simulation" para el segundo estudio estático, se le crea malla fina para una mejor precisión, se determinan sujeciones y se le aplica la carga calculada anteriormente donde se obtuvo 184.904 N. El resultado de la simulación quedó de la siguiente manera: (Figura 5.7) (Figura 5.8)

## Figura 5.7

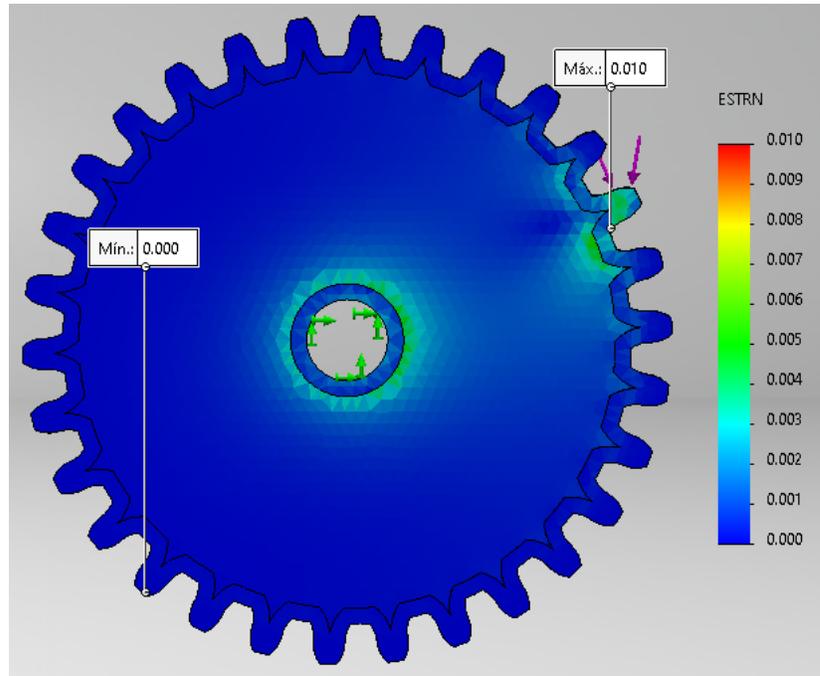
Resultado de la simulación con cargas aplicadas en el engranaje 4 (Engranaje de 30 dientes) Tensiones



Nota. En la figura se muestra el resultado de la simulación 2, en este caso se muestran tensiones, de igual forma se observa que el límite elástico de la pieza es de 55 MPa, en la escala von Mises donde el color rojo representa el máximo esfuerzo aplicado de 42 MPa, se puede comprobar que la carga aplicada al diente del engranaje 4 no alcanza el límite elástico. Fuente: Elaboración propia.

### Figura 5.8

*Resultado de la simulación con cargas aplicadas en el engranaje 4 (Engranaje de 30 dientes) Deformaciones unitarias*



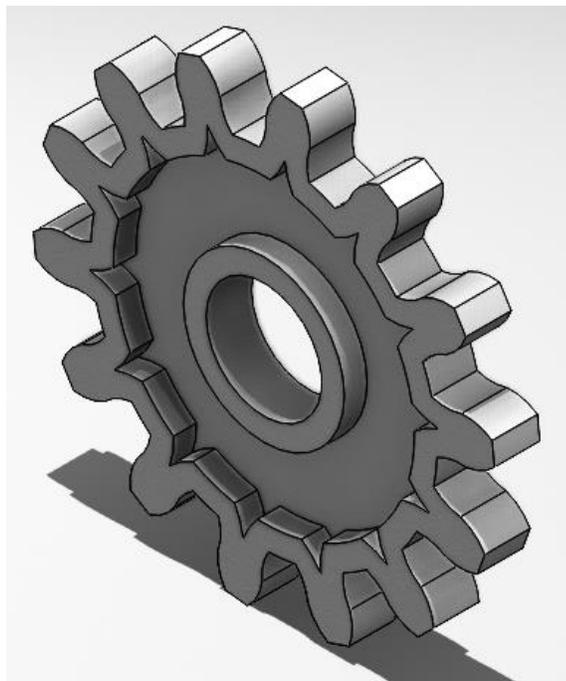
Nota. La figura muestra la simulación de deformaciones unitarias en el engranaje 4, en la escala ESTRN se observa el color rojo que representa la proporción máxima de cambio en longitud con respecto a la longitud original del engranaje, en este caso la deformación unitaria es de 0.010 lo que comprueba que la simulación representa una deformación que tampoco afecta el funcionamiento del mecanismo. Fuente: Elaboración propia.

Para la tercera simulación, se le aplica la carga que se trasmite al engranaje 6 (Engranaje de 14 dientes)

igualmente, como en las simulaciones anteriores se debe configurar el material que se usará para la fabricación de este y se le aplica un vaciado de 2.5 mm al engranaje. (Figura 5.9)

### **Figura 5.9**

*Operación de vaciado a 2.5 mm al engranaje 6*

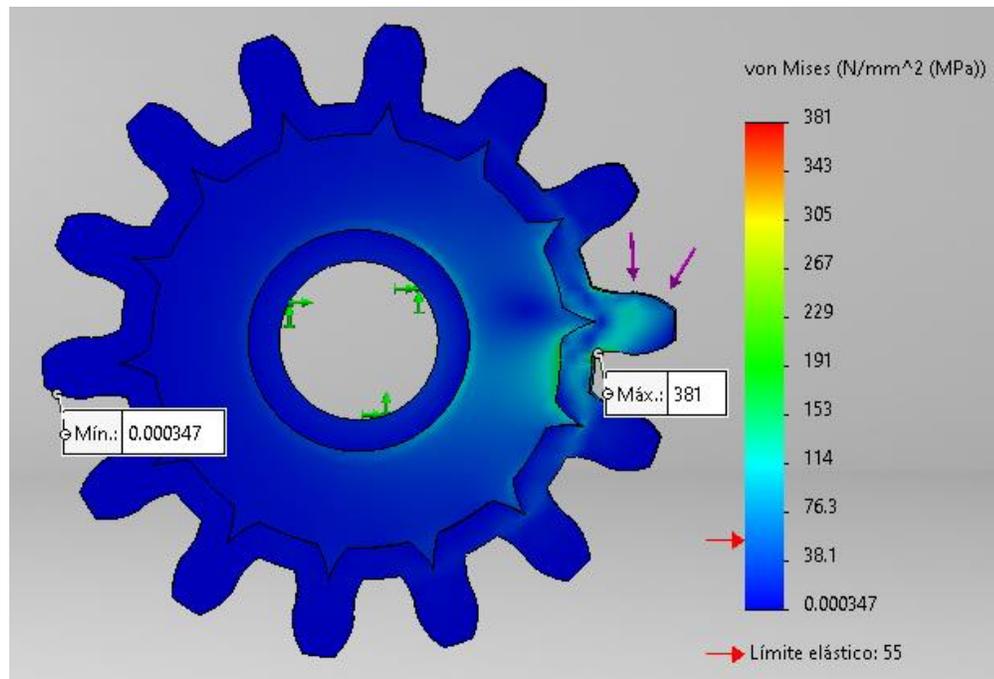


Nota. Elaboración propia.

Después del vaciado, se carga el complemento "SOLIDWORKS Simulation" para el segundo estudio estático, se le crea malla fina para una mejor precisión, se determinan sujeciones y se le aplica la carga calculada anteriormente donde se obtuvo 184.904 N. El resultado de la simulación quedó de la siguiente manera: (Figura 5.10) (Figura 11)

### Figura 5.10

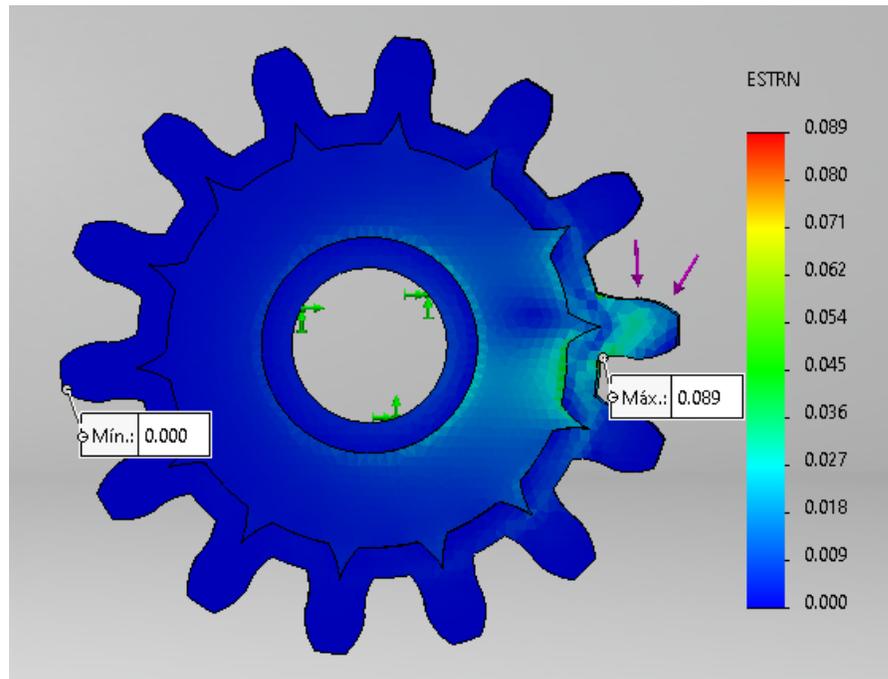
Resultado de la simulación con cargas aplicadas en el engranaje 6 (Engranaje de 14 dientes) Tensiones



Nota. En la figura se muestra el resultado de la simulación 3, en este caso se muestra tensiones, Al igual que en las anteriores, se observa que el límite elástico de la pieza es de 55 MPa. Se observa la escala von Mises donde el color rojo representa el máximo esfuerzo (381 MPa). Se puede comprobar que la carga aplicada al diente del engranaje 6 sobrepasa el límite elástico en el pie del engranaje, esto pasa porque la carga aplicada está concentrada en un solo diente del engranaje, cuando la carga se reparte en todos los dientes, el máximo esfuerzo tiende a reducir. (se comprueba en la siguiente figura) (Figura 5.11) Fuente: Elaboración propia.

### Figura 5.11

*Resultado de la simulación con cargas aplicadas en el engranaje 6 (Engranaje de 14 dientes) Deformaciones unitarias*



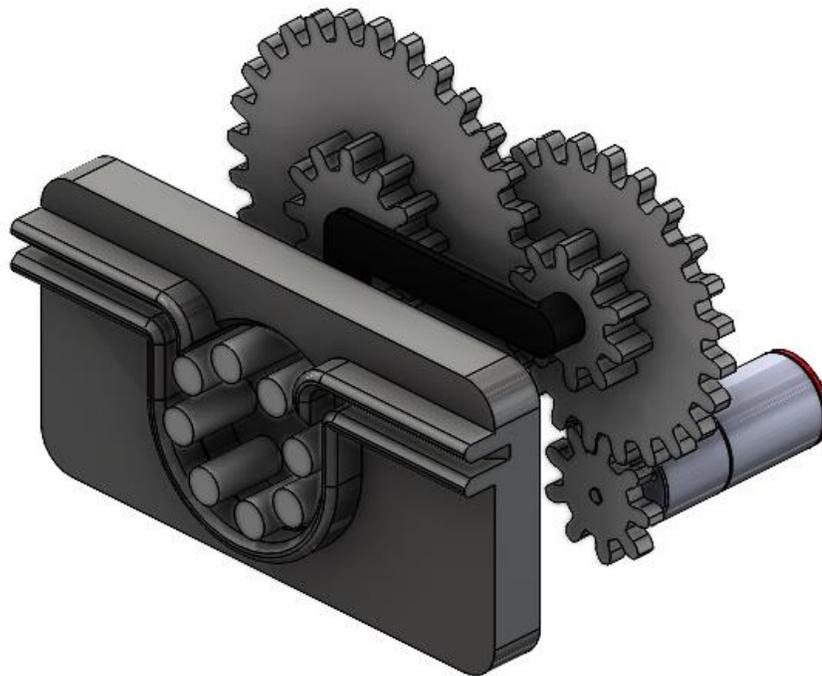
Nota. La figura muestra la solución de deformaciones unitarias, en la escala ESTRN se puede observar el color rojo que representa la proporción máxima de cambio en longitud con respecto a la longitud original, la deformación unitaria es de 0.089 lo representa una deformación leve que no afecta el funcionamiento del mecanismo.

Fuente: Elaboración propia.

La propuesta final del mecanismo ensamblado para la bomba de infusión de desplazamiento positivo para medicamento por vía intravenosa quedó de la siguiente manera: (Figura 5.12)

### **Figura 5.12**

*Mecanismo ensamblado*



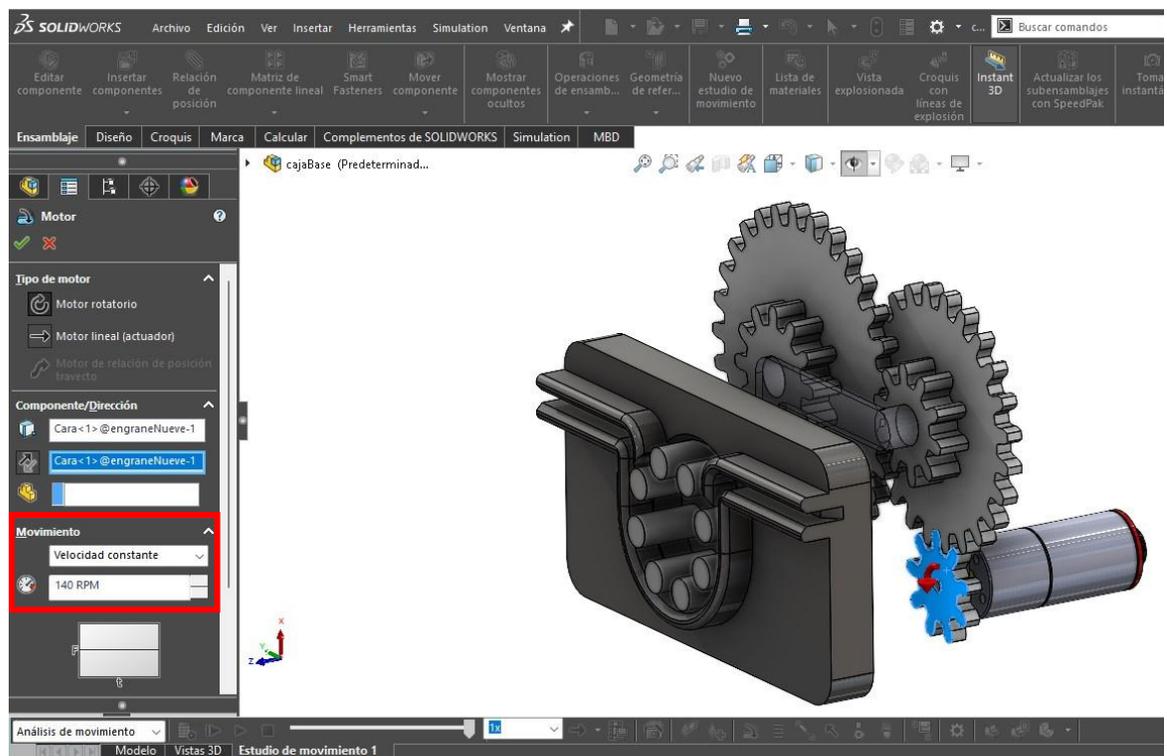
Nota. La figura muestra el ensamblado de todas las piezas diseñadas para el mecanismo, en la parte frontal se observa la base junto con el roleo de ocho rodillos montado en el centro de la base. En la parte trasera se encuentra la caja reductora que se conforma con 6 engranajes rectos, el primero (motriz) con 9 dientes, el segundo con 24 dientes que en el mismo eje se encuentra el engranaje con 10 dientes, el engranaje 4 con 30 dientes que al igual que el segundo y tercero, el quinto engranaje con 12 dientes se encuentra en el mismo eje que el cuarto, por último el engranaje 6 con 14 dientes, este último se encuentra montado sobre el mismo eje que el roleo de ocho rodillos. Fuente: Elaboración propia.

## 5.2 Análisis de movimiento del sistema de engranajes

Seguidamente, se presentan los resultados obtenidos del análisis de movimiento del sistema de engranajes a partir del estudio de movimiento simulado con el software SolidWorks mediante el complemento SOLIDWORKS Motion. El estudio se realizó con los parámetros obtenidos del motor. En la simulación se toma en cuenta la velocidad de salida del motor, por lo tanto para el engranaje motriz se toma en cuenta esta velocidad como entrada. (Figura 5.13)

**Figura 5.13**

*Configuración a la velocidad de entrada*



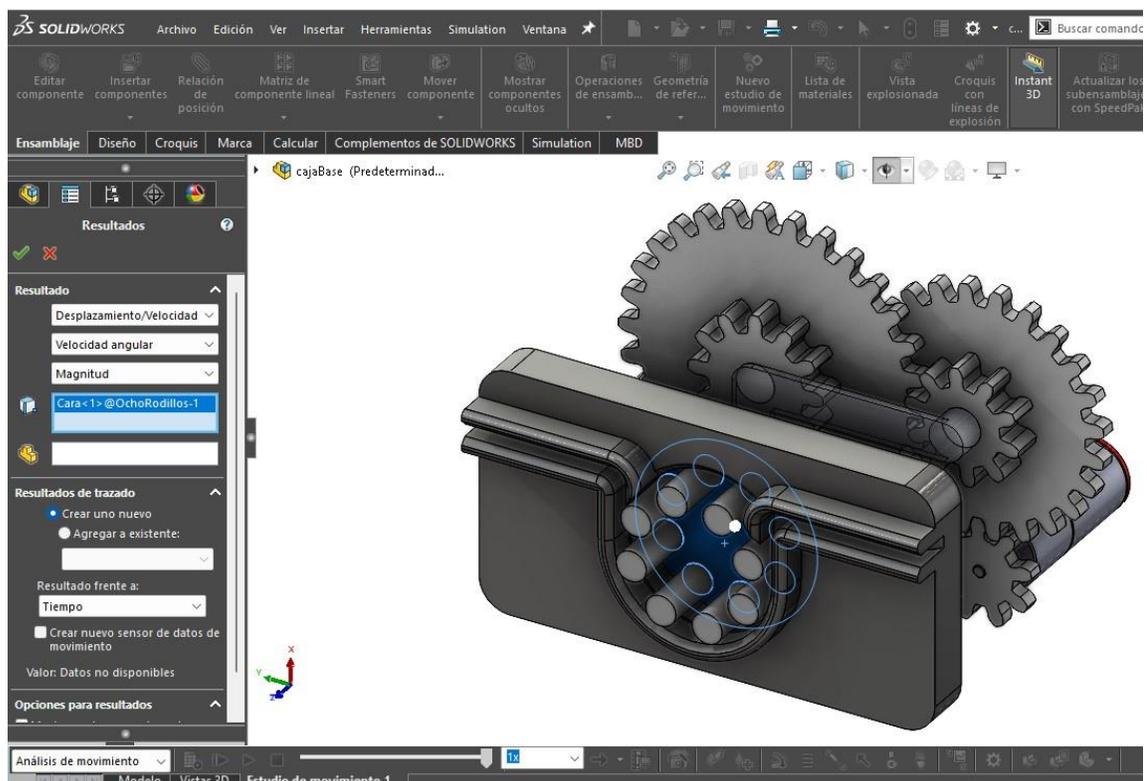
Nota. En la figura se muestra la velocidad de entrada que se usa como entrada para el sistema de engranajes, se toma en cuenta una velocidad de 140 RPM transmitida en el eje del engranaje motriz. Fuente: Elaboración propia.

Después de aplicar la velocidad de entrada, se reproduce el estudio de movimiento al sistema de engranajes. Al finalizar el estudio de movimiento, se aplica la herramienta Resultados y trazados, esto para obtener los parámetros del estudio de movimiento, para ello se selecciona la categoría de Desplazamiento/Velocidad/Aceleración, la subcategoría de Velocidad angular, y Magnitud como componente.

Para obtener el resultado se puede seleccionar el engranaje 6 o bien la base de roleos. (Figura 5.14)

**Figura 5.14**

*Configuración al análisis de movimiento*

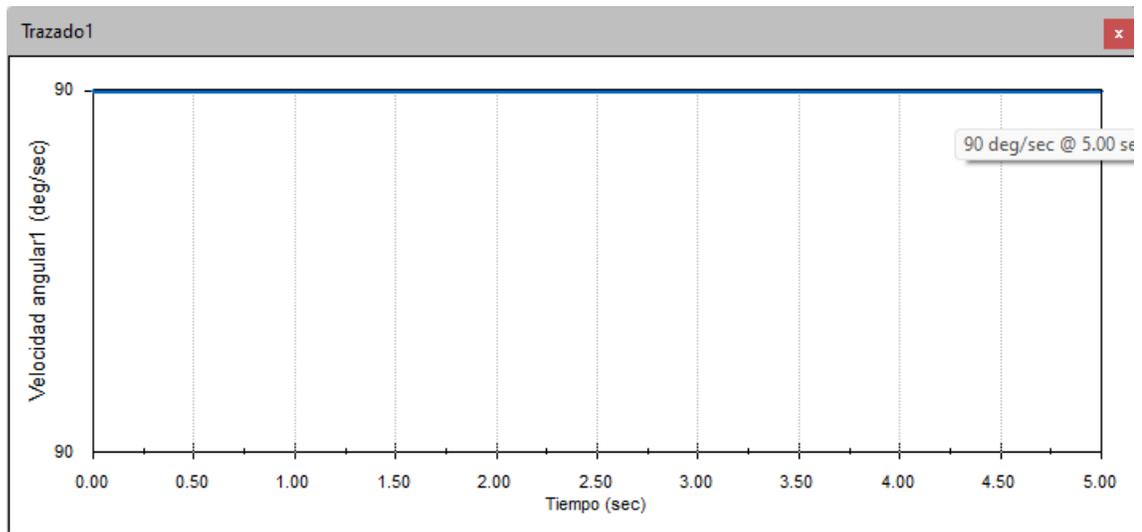


Nota. En la figura se observa la configuración al análisis de movimiento usando la herramienta Resultados y trazados tomando en cuenta la cara de la base del roleo. Fuente: Elaboración propia.

Resultando lo siguiente: (Figura 5.15)

### Figura 5.15

*Velocidad de salida*



Nota. La figura muestra una velocidad de salida de 90 deg/sec (grados/segundos) 90 grados/segundos que equivale a 0.250 RPM (velocidad constante). Fuente: Elaboración propia.

**CAPÍTULO VI**  
**CONCLUSIONES**

En el transcurso de este proyecto de investigación centrado en la propuesta de un mecanismo de bomba de infusión basado en el desplazamiento positivo, se han alcanzado conclusiones fundamentales que delimitan no solo los logros obtenidos, sino también las perspectivas futuras y la relevancia de esta investigación.

#### Validación del concepto de desplazamiento positivo

Se ha demostrado de manera concluyente que el principio de desplazamiento positivo es altamente efectivo para garantizar una administración uniforme y precisa de fluidos, independientemente de las variaciones en la presión.

#### Mejora en la precisión de la administración de medicamentos:

El nuevo mecanismo propuesto ha mostrado mejoras significativas en la precisión de la dosificación en comparación con las bombas de infusión convencionales. Esto tiene implicaciones directas en la seguridad del paciente y la eficacia de los tratamientos.

#### Optimización de la ingeniería del mecanismo:

A través de un riguroso proceso de ingeniería, se ha logrado una configuración óptima del mecanismo, considerando la selección de materiales, la durabilidad y la facilidad de mantenimiento. Estas mejoras contribuyen a la viabilidad y practicidad del dispositivo.

#### Perspectivas para futuras aplicaciones y desarrollos:

Este proyecto sienta las bases para futuras investigaciones en el campo de la administración de fluidos médicos. La tecnología de desplazamiento positivo podría extenderse a otros dispositivos y contextos clínicos, abriendo la puerta a innovaciones que transformarán la entrega de cuidados de salud.

Obteniendo la validez teórica dentro de la simulación, se puede verificar el mecanismo de manera física fabricando cada uno de los elementos mecánicos con apoyo de una impresora 3D. Este enfoque integrado de modelado y fabricación

permite una validación más exhaustiva, asegurando que los resultados teóricos se correspondan con el comportamiento real del sistema. La impresión en 3D ofrece la flexibilidad necesaria para iterar rápidamente en el diseño, realizar ajustes según sea necesario y producir prototipos funcionales con precisión y eficiencia.

Recomendaciones para el proceso de fabricación:

1. Revisar el diseño en SolidWorks para detectar posibles errores de geometría, problemas de malla o áreas problemáticas que podrían afectar la calidad de la impresión.
2. Orientar la pieza de manera que se minimicen los voladizos, las áreas de sobresaliente y los ángulos pronunciados. Hay que asegurar que la superficie de apoyo sea suficiente para evitar el desprendimiento durante la impresión.
3. Utilizar soportes si es necesario, algunas geometrías pueden requerir soportes para imprimir correctamente. SolidWorks permite agregar automáticamente estructuras de soporte donde sea necesario. Revisar y ajustar estos soportes según sea necesario para minimizar el material utilizado y facilitar la eliminación después de la impresión.

Contribuciones significativas a la mejora de la atención médica:

Este proyecto tiene el potencial de impactar positivamente la atención médica, reduciendo los riesgos asociados con errores en la administración de medicamentos y mejorando la calidad de vida de los pacientes.

En conclusión, este proyecto no solo ha logrado avances significativos en la tecnología de bombas de infusión, sino que también ha sentado las bases para una nueva era de dispositivos médicos más precisos y eficientes. Las conclusiones aquí presentadas no solo resumen los resultados obtenidos, sino que también sirven como inspiración para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la administración de fluidos en entornos médicos.

**CAPÍTULO VII**  
**COMPETENCIAS**  
**DESARROLLADAS**

- Clasifica e interpreta las normas en dibujo utilizadas para su implementación, y utiliza las herramientas necesarias para la elaboración de dibujos bidimensionales y tridimensionales.
- Permite efectuar la práctica correspondiente y obtener la habilidad necesaria con el conocimiento de estos elementos teóricos, para el manejo del software de dibujo y a su vez, la elaboración e interpretación del mismo.
- Reconoce la importancia de las mediciones, considerando los posibles errores que se pueden cometer al medir, al utilizar instrumentos de medición.
- Selecciona y utiliza adecuadamente los diferentes instrumentos y/o equipos básicos y especiales para medición de los diferentes parámetros mecánicos.
- Explica los conceptos relacionados con el estudio del efecto interno de elementos mecánicos o estructurales sometidos a cargas estáticas para determinar reacciones internas, esfuerzos y tipos de esfuerzos, deformaciones y tipos de deformaciones, y propiedades mecánicas de los materiales.
- Calcula y explica los esfuerzos y deformaciones de elementos mecánicos sometidos a carga axial y cortante para determinar los materiales y geometrías de dichos elementos.
- Analiza y evalúa los esfuerzos de corte y el ángulo de torsión en barras de sección circular y no circular para realizar el diseño de ejes y elementos mecánicos sometidos a un par torsor.
- Analiza y evalúa los esfuerzos resultantes en elementos mecánicos sometidos a cargas combinadas, para determinar mediante criterios de falla la resistencia del elemento y su factor de seguridad.
- Reconoce los conceptos y las propiedades mecánicas de los fluidos usados en sistemas Mecatrónicos.
- Reconoce y aplica las ecuaciones de continuidad y la de la energía en la solución de problemas reales de fenómenos flujo compresible en el área de la Mecatrónica.

- Aplica las diferentes relaciones cinemáticas de Grüebler y Grashoff para comprender el funcionamiento de un mecanismo y determinar sus grados de libertad.
- Analiza mecanismos planos para la determinación de la posición, velocidad y aceleración empleando diferentes métodos y con la aplicación de software.
- Diseña el perfil de los dientes de engranes en forma gráfica, analítica y mediante la aplicación de software.
- Analiza el funcionamiento cinemático de trenes de engranaje a partir de la relación de velocidad angular.
- Conoce el principio del método de elemento finito como herramienta para la solución de problemas de ingeniería.
- Conoce las relaciones esfuerzo-deformación unitaria y deformación unitaria-desplazamiento para desarrollar el método del elemento finito para un problema unidimensional.

# **CAPÍTULO VIII**

## **FUENTES DE INFORMACIÓN**

## Referencias

- Casanova, M. A. (2021). *redalyc*. Obtenido de EL DISEÑO CURRICULAR COMO FACTOR DE CALIDAD EDUCATIVA:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=55124841002>
- de Moura, F., & Maria, E. (2016). Educación Química. En F. Saldívar, F. D Prieto, & J. Medina, *Descubrimiento y desarrollo de fármacos: un enfoque computacional* (págs. 51-58). México: Departamento de Farmacia, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Díaz, P. (22 de Junio de 2022). *EL HOSPITAL*. Obtenido de Utilización de las bombas de infusión: <https://www.elhospital.com/es/noticias/utilizacion-de-las-bombas-de-infusion>
- EcuRed. (01 de Junio de 2021). *EcuRed*. Obtenido de Diseño:  
<https://www.ecured.cu/Dise%C3%B1o>
- Equipo editorial, E. (06 de Julio de 2023). *Concepto.de*. Obtenido de Diseño:  
<https://concepto.de/disenio/>
- Fabiola Puértolas Balint, F., Ibarra Pérez, R., Soria Cedillo, I. F., Zamora Gómez, S. E., Lozano Cruz, E., Amezcua Gutiérrez, M. A., & Castro Pastrana, L. I. (2016). *Costos evitados por bombas de infusión inteligentes*. México: Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas.
- Giesecke, M. S. (2013). *Dibujo técnico con gráficas en ingeniería*. México: PEARSON.
- Gómez Baraza, C., Fernández M., A. J., Palomo Jiménez, P. I., Real Campaña, J. M., & Sazatornil, A. R. (07 de 05 de 2014). *Seguridad en la administración intravenosa de medicamentos mediante bombas de infusión inteligentes*. Obtenido de Farmacia Hospitalaria:  
<https://dx.doi.org/10.7399/FH.2014.38.4.1116>
- HOSPITAL, E. (05 de Mayo de 2020). *EL HOSPITAL*. Obtenido de Escasean bombas de infusión para pacientes críticos durante pandemia por COVID-19:  
<https://www.elhospital.com/es/noticias/escasean-bombas-de-infusion-para-pacientes-criticos-durante-pandemia-por-covid-19>
- Hospital, E. (2021 de Diciembre de 2021). *El Hospital*. Obtenido de Bombas de infusión: <https://www.elhospital.com/es/noticias/bombas-de-infusion>

- Le, J. (Junio de 2022). *MANUAL MSD*. Obtenido de Administración de los fármacos: <https://www.msmanuals.com/es-mx/hogar/f%C3%A1rmacos-o-sustancias/administraci%C3%B3n-y-cin%C3%A9tica-de-los-f%C3%A1rmacos/administraci%C3%B3n-de-los-f%C3%A1rmacos>
- MAG, E. (13 de Diciembre de 2021). *ESPECIFICAR MAG*. Obtenido de Todo sobre actuadores: <https://especificarmag.com.mx/todo-sobre-los-actuadores-html/>
- Medina, J., Fernandez, E., & Jesus, J. (Julio de 2015). *Scielo Educación química*. Obtenido de Avances en el diseño de fármacos asistido por computadora: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-893X2015000300180](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2015000300180)
- Mexicana, N. O. (18 de Septiembre de 2012). *Catálogo nacional*. Obtenido de Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA3-2012: <https://catalogonacional.gob.mx/FichaRegulacion?regulacionId=73287>
- Michalek, C. (26 de Enero de 2020). *Scielo Farmacia Hospitalaria*. Obtenido de La implementación de la administración de medicamentos con código de barras y las bombas de infusión inteligentes es sólo el comienzo del camino seguro para prevenir los errores de administración: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1130-63432020000300008&script=sci\\_arttext&tlng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1130-63432020000300008&script=sci_arttext&tlng=es)
- MICHALEK, C., & CARSON, S. L. (2020). *SCIELO Farmacia Hospitalaria*. Obtenido de La implementación de la administración de medicamentos con código de barras y las bombas de infusión inteligentes es sólo el comienzo del camino seguro para prevenir los errores de administración.: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1130-63432020000300008](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1130-63432020000300008)
- Mousalli-Kayat, G. (2015). *Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa*. Mérida. Obtenido de Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa.
- Muñoz, S., Damian, Burgos, M., & Agustín. (Diciembre de 2009). *Emfermería de Urgencias*. Obtenido de GUÍA ENFERMERA DE ADMINISTRACIÓN INTRAVENOSA DE FÁRMACOS: <http://www.enfermeriadeurgencias.com/ciber/noviembre2009/pagina10.html#:~:text=1%2DINYECCI%C3%93N%20INTRAVENOSA%20DIRECTA.,reco nstituido%20directamente%20en%20la%20vena>.
- Roch, E. (22 de Junio de 2023). *Transistores*. Obtenido de Cómo diseñar un circuito electrónico: desde el concepto hasta la implementación: <https://transistores.info/como-disenar-un-circuito-electronico-desde-el-concepto-hasta-la-implementacion/>

- Rodriguez, A. (08 de Marzo de 2023). *Diario Electronico hoy*. Obtenido de Sensores electrónicos: ¿Qué son y cómo funcionan?:  
<https://www.diarioelectronico hoy.com/sensores-electronicos-que-son-y-como-funcionan/#:~:text=Los%20sensores%20electr%C3%B3nicos%20son%20dispositivos,la%20medicina%20y%20la%20rob%C3%B3tica.>
- Rodriguez, M. (28 de Junio de 2001). *Medynet*. Obtenido de SISTEMAS DE INFUSIÓN: <http://www.medynet.com/usuarios/jraguilar/infusion.htm>
- Ruiz, M. (04 de Junio de 2023). *¿Cuál es la importancia de las bombas de infusión?* Obtenido de X LEEEX: <https://hightech.leexmedical.com/importancia-bombas-infusion>
- Sacido, N. P. (05 de Noviembre de 2017). *Blogspot*. Obtenido de Diario Clínico: <http://diarioclinicousc.blogspot.com/2017/11/historia-de-las-bombas-de-infusion.html>
- SONOMEDICAL. (13 de Febrero de 2019). *Solo equipos médicos*. Obtenido de Bomba de infusión. Suministro de medicamentos:  
<https://www.soloequiposmedicos.com/bomba-infusion-suministro-medicamentos/>

# **CAPÍTULO IX**

## **ANEXOS**

## Anexo 1: Cálculo de engranajes (2-6)

### Engranaje 2 (24 dientes)

1. Diámetro de paso

$$D = \frac{N_D}{P_D} \quad (6)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D = \frac{24}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$D = 3$$

2. Paso circular

$$P = \frac{\pi D}{N_D} \quad (7)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$P = \frac{\pi 3}{24}$$

Resultando lo siguiente:

$$P = 0.39269 \text{ in}$$

### 3. Módulo

$$a = \frac{1}{P_D} \quad (8)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$a = \frac{1}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$a = 0.125 \text{ in}$$

### 4. Pie de diente

$$b < 20 \quad b = \frac{1.25}{P_D} \quad (9)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$b < 20 \quad b = \frac{1.25}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$b = 0.15625 \text{ in}$$

### 5. Altura de diente

$$h_t = a + b \quad (10)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$h_t = 0.125 + 0.15625$$

Resultando lo siguiente:

$$h_t = 0.28125 \text{ in}$$

## 6. Espesor del diente

$$t = \frac{\pi}{2P_D} \quad (11)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$t = \frac{\pi}{2(8)}$$

Resultando lo siguiente:

$$t = 0.19634654 \text{ in}$$

## 7. Diámetro exterior

$$D_e = D + 2a \quad (12)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D_e = 3 + 2(0.125)$$

Resultando lo siguiente:

$$D_e = 3.25 \text{ in}$$

## 8. Diámetro interior

$$D_i = D - 2a \quad (13)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D_i = 3 - 2(0.125)$$

Resultando lo siguiente:

$$D_i = 2.75 \text{ in}$$

### **Engranaje 3 (10 dientes)**

1. Diámetro de paso

$$D = \frac{N_D}{P_D} \quad (6)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D = \frac{10}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$D = 1.25 \text{ in}$$

2. Paso circular

$$P = \frac{\pi D}{N_D} \quad (7)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$P = \frac{\pi 1.25}{10}$$

Resultando lo siguiente:

$$P = 0.39269 \text{ in}$$

### 3. Módulo

$$a = \frac{1}{P_D} \quad (8)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$a = \frac{1}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$a = 0.125 \text{ in}$$

### 4. Pie de diente

$$b < 20 \quad b = \frac{1.25}{P_D} \quad (9)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$b < 20 \quad b = \frac{1.25}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$b = 0.15625 \text{ in}$$

### 5. Altura de diente

$$h_t = a + b \quad (10)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$h_t = 0.125 + 0.15625$$

Resultando lo siguiente:

$$h_t = 0.28125 \text{ in}$$

## 6. Espesor del diente

$$t = \frac{\pi}{2P_D} \quad (11)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$t = \frac{\pi}{2(8)}$$

Resultando lo siguiente:

$$t = 0.19634654 \text{ in}$$

## 7. Diámetro exterior

$$D_e = D + 2a \quad (12)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D_e = 1.25 + 2(0.125)$$

Resultando lo siguiente:

$$D_e = 1.5 \text{ in}$$

## 8. Diámetro interior

$$D_i = D - 2a \quad (13)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D_i = 1.25 - 2(0.125)$$

Resultando lo siguiente:

$$D_i = 1 \text{ in}$$

## Engranaje 4 (30 dientes)

1. Diámetro de paso

$$D = \frac{N_D}{P_D} \quad (6)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D = \frac{30}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$D = 3.75 \text{ in}$$

2. Paso circular

$$P = \frac{\pi D}{N_D} \quad (7)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$P = \frac{\pi 3.75}{30}$$

Resultando lo siguiente:

$$P = 0.39269 \text{ in}$$

### 3. Módulo

$$a = \frac{1}{P_D} \quad (8)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$a = \frac{1}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$a = 0.125 \text{ in}$$

### 4. Pie de diente

$$b < 20 \quad b = \frac{1.25}{P_D} \quad (9)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$b < 20 \quad b = \frac{1.25}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$b = 0.15625 \text{ in}$$

### 5. Altura de diente

$$h_t = a + b \quad (10)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$h_t = 0.125 + 0.15625$$

Resultando lo siguiente:

$$h_t = 0.28125 \text{ in}$$

## 6. Espesor del diente

$$t = \frac{\pi}{2P_D} \quad (11)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$t = \frac{\pi}{2(8)}$$

Resultando lo siguiente:

$$t = 0.19634654 \text{ in}$$

## 7. Diámetro exterior

$$D_e = D + 2a \quad (12)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D_e = 3.75 + 2(0.125)$$

Resultando lo siguiente:

$$D_e = 4 \text{ in}$$

## 8. Diámetro interior

$$D_i = D - 2a \quad (13)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D_i = 3.75 - 2(0.125)$$

Resultando lo siguiente:

$$D_i = 3.5 \text{ in}$$

## Engranaje 5 (12 dientes)

1. Diámetro de paso

$$D = \frac{N_D}{P_D} \quad (6)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D = \frac{12}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$D = 1.5 \text{ in}$$

2. Paso circular

$$P = \frac{\pi D}{N_D} \quad (7)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$P = \frac{\pi 1.5}{12}$$

Resultando lo siguiente:

$$P = 0.39269 \text{ in}$$

### 3. Módulo

$$a = \frac{1}{P_D} \quad (8)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$a = \frac{1}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$a = 0.125 \text{ in}$$

### 4. Pie de diente

$$b < 20 \quad b = \frac{1.25}{P_D} \quad (9)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$b < 20 \quad b = \frac{1.25}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$b = 0.15625 \text{ in}$$

### 5. Altura de diente

$$h_t = a + b \quad (10)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$h_t = 0.125 + 0.15625$$

Resultando lo siguiente:

$$h_t = 0.28125 \text{ in}$$

## 6. Espesor del diente

$$t = \frac{\pi}{2P_D} \quad (11)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$t = \frac{\pi}{2(8)}$$

Resultando lo siguiente:

$$t = 0.19634654 \text{ in}$$

## 7. Diámetro exterior

$$D_e = D + 2a \quad (12)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D_e = 1.5 + 2(0.125)$$

Resultando lo siguiente:

$$D_e = 1.75 \text{ in}$$

## 8. Diámetro interior

$$D_i = D - 2a \quad (13)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D_i = 1.5 - 2(0.125)$$

Resultando lo siguiente:

$$D_i = 1.25 \text{ in}$$

## Engranaje 6 (14 dientes)

1. Diámetro de paso

$$D = \frac{N_D}{P_D} \quad (6)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D = \frac{14}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$D = 1.75 \text{ in}$$

2. Paso circular

$$P = \frac{\pi D}{N_D} \quad (7)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$P = \frac{\pi 1.75}{14}$$

Resultando lo siguiente:

$$P = 0.39269 \text{ in}$$

### 3. Módulo

$$a = \frac{1}{P_D} \quad (8)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$a = \frac{1}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$a = 0.125 \text{ in}$$

### 4. Pie de diente

$$b < 20 \quad b = \frac{1.25}{P_D} \quad (9)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$b < 20 \quad b = \frac{1.25}{8}$$

Resultando lo siguiente:

$$b = 0.15625 \text{ in}$$

### 5. Altura de diente

$$h_t = a + b \quad (10)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$h_t = 0.125 + 0.15625$$

Resultando lo siguiente:

$$h_t = 0.28125 \text{ in}$$

## 6. Espesor del diente

$$t = \frac{\pi}{2P_D} \quad (11)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$t = \frac{\pi}{2(8)}$$

Resultando lo siguiente:

$$t = 0.19634654 \text{ in}$$

## 7. Diámetro exterior

$$D_e = D + 2a \quad (12)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$D_e = 1.75 + 2(0.125)$$

Resultando lo siguiente:

$$D_e = 2 \text{ in}$$

## 8. Diámetro interior

$$D_i = D - 2a \quad (13)$$

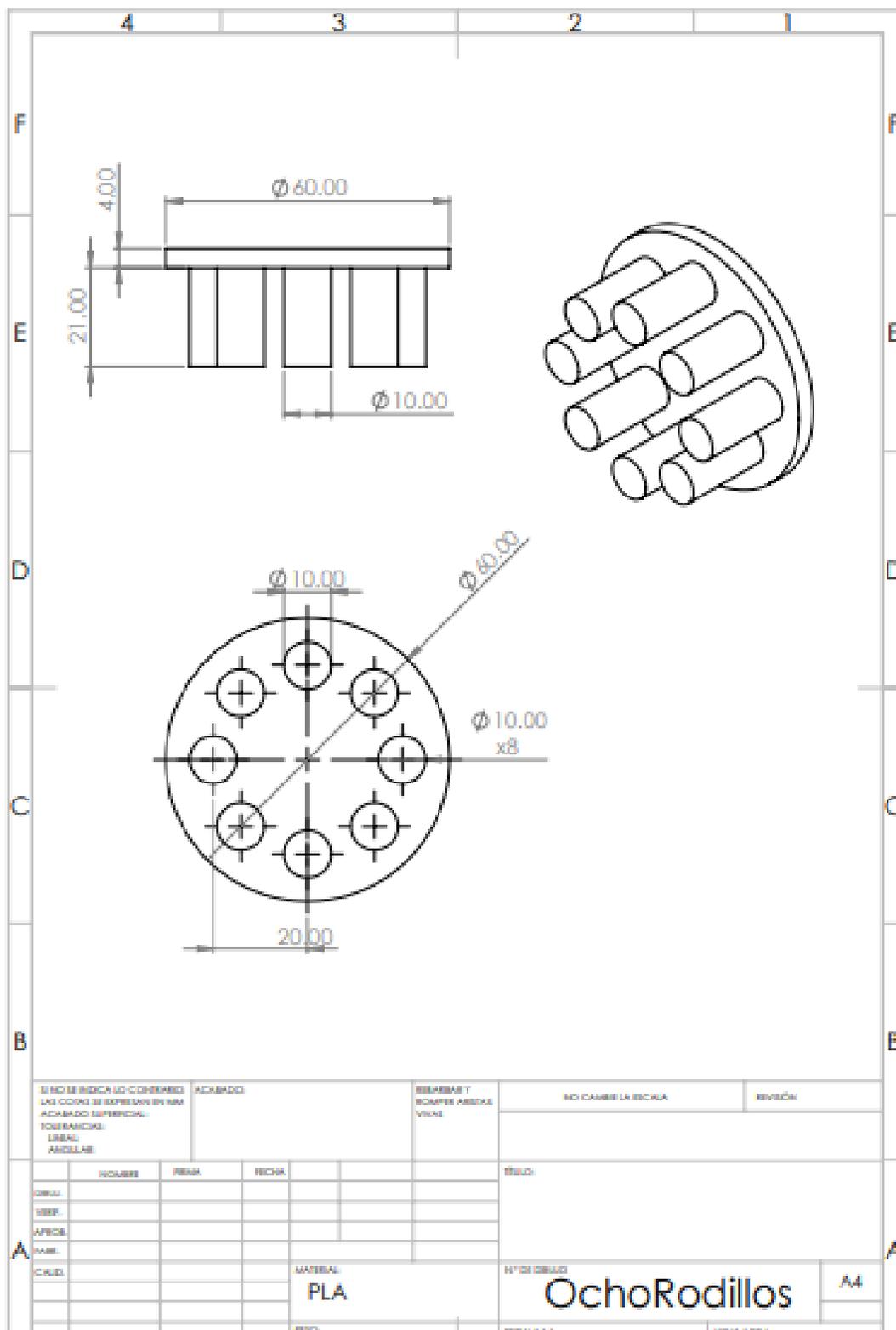
Sustituyendo la ecuación:

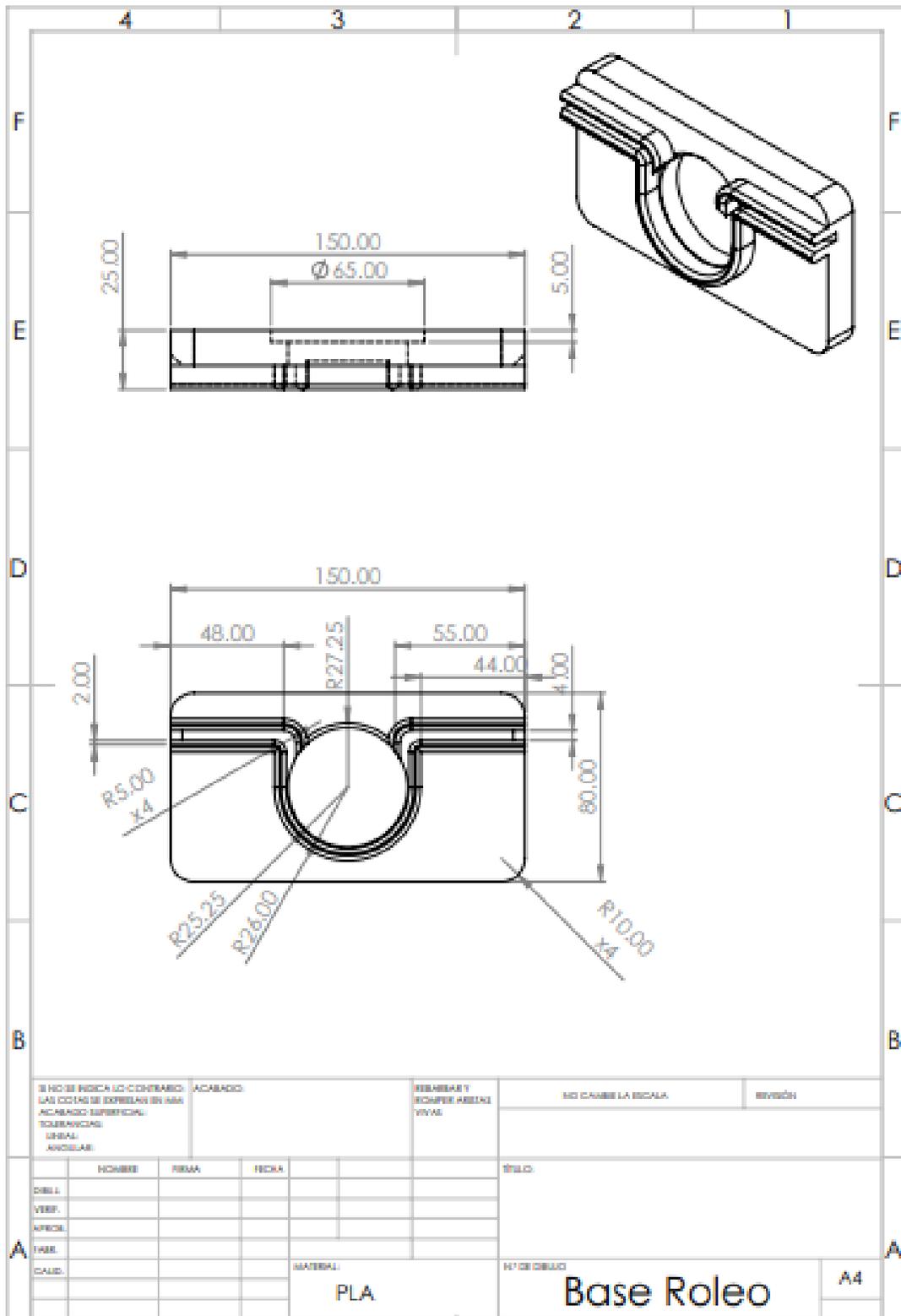
$$D_i = 1.75 - 2(0.125)$$

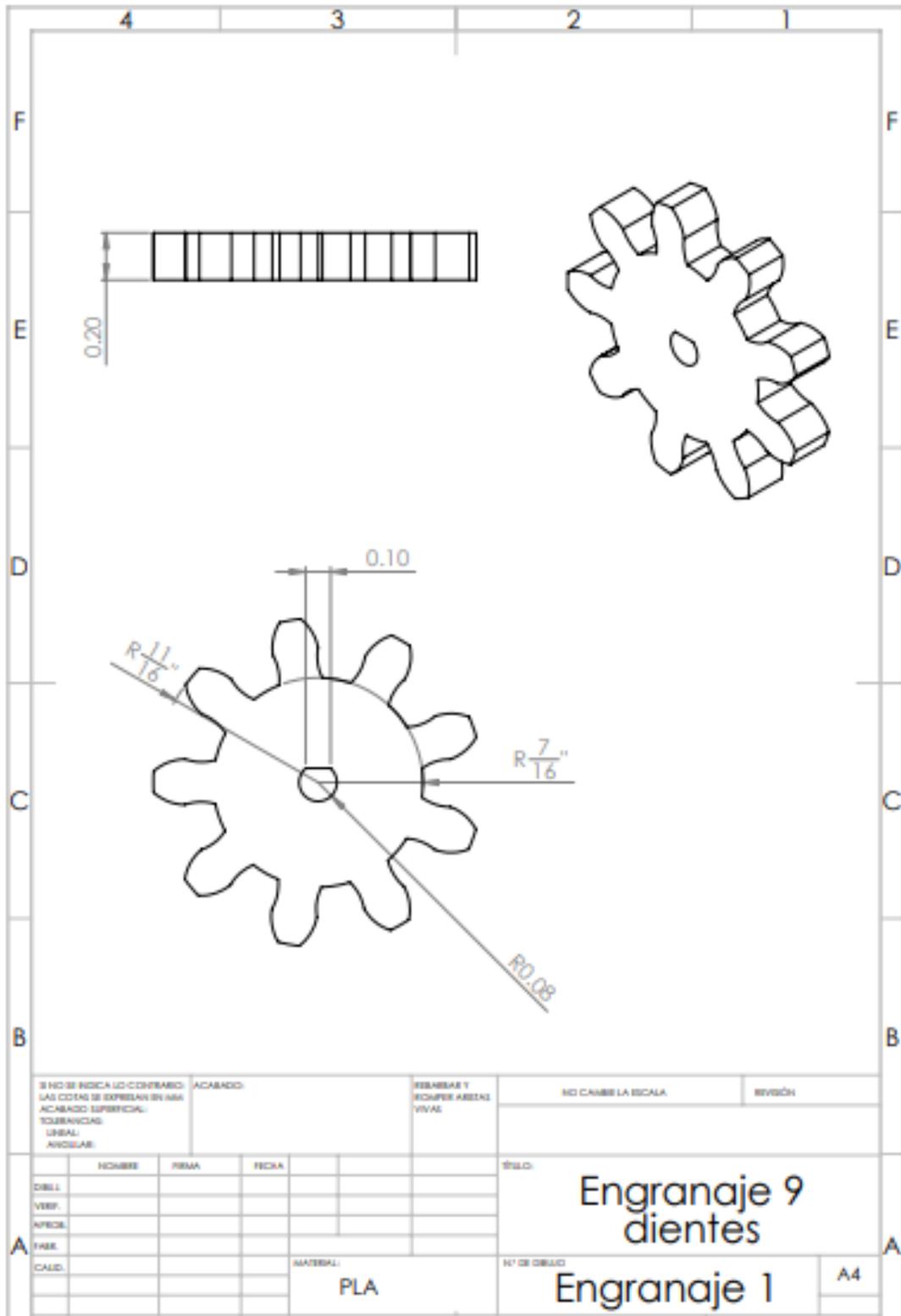
Resultando lo siguiente:

$$D_i = 1.5 \text{ in}$$

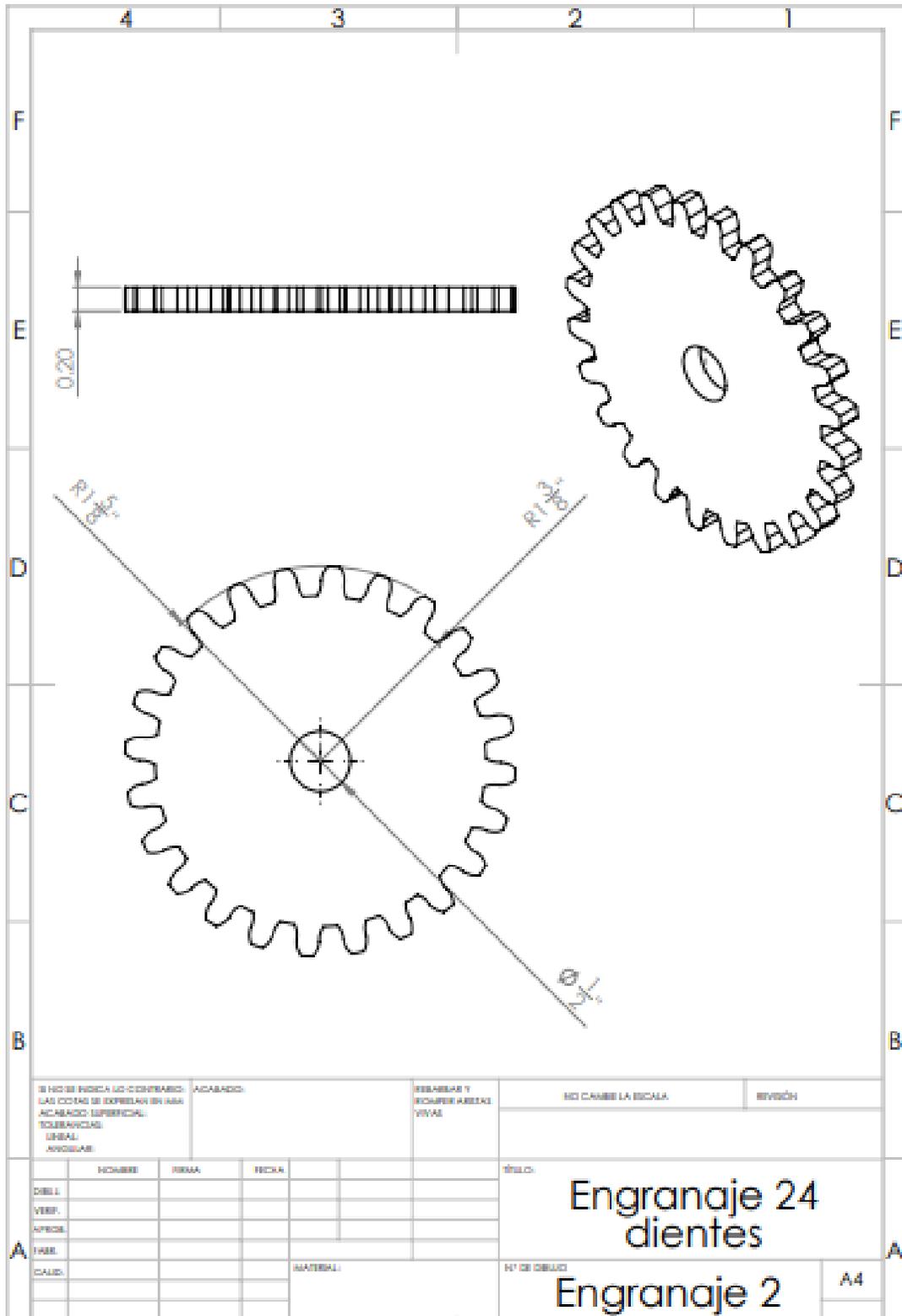
## Anexo 2: Dibujos de las piezas



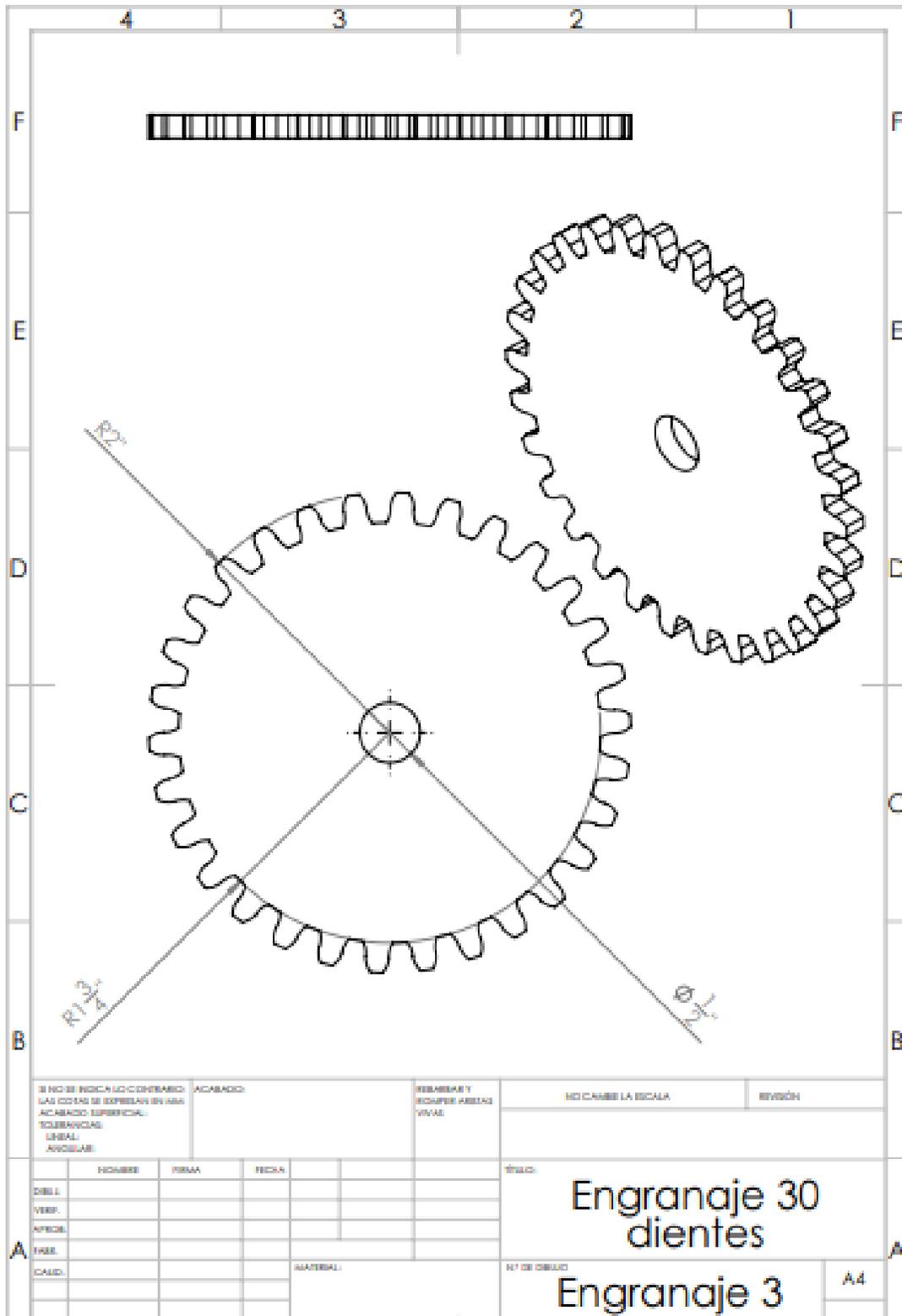




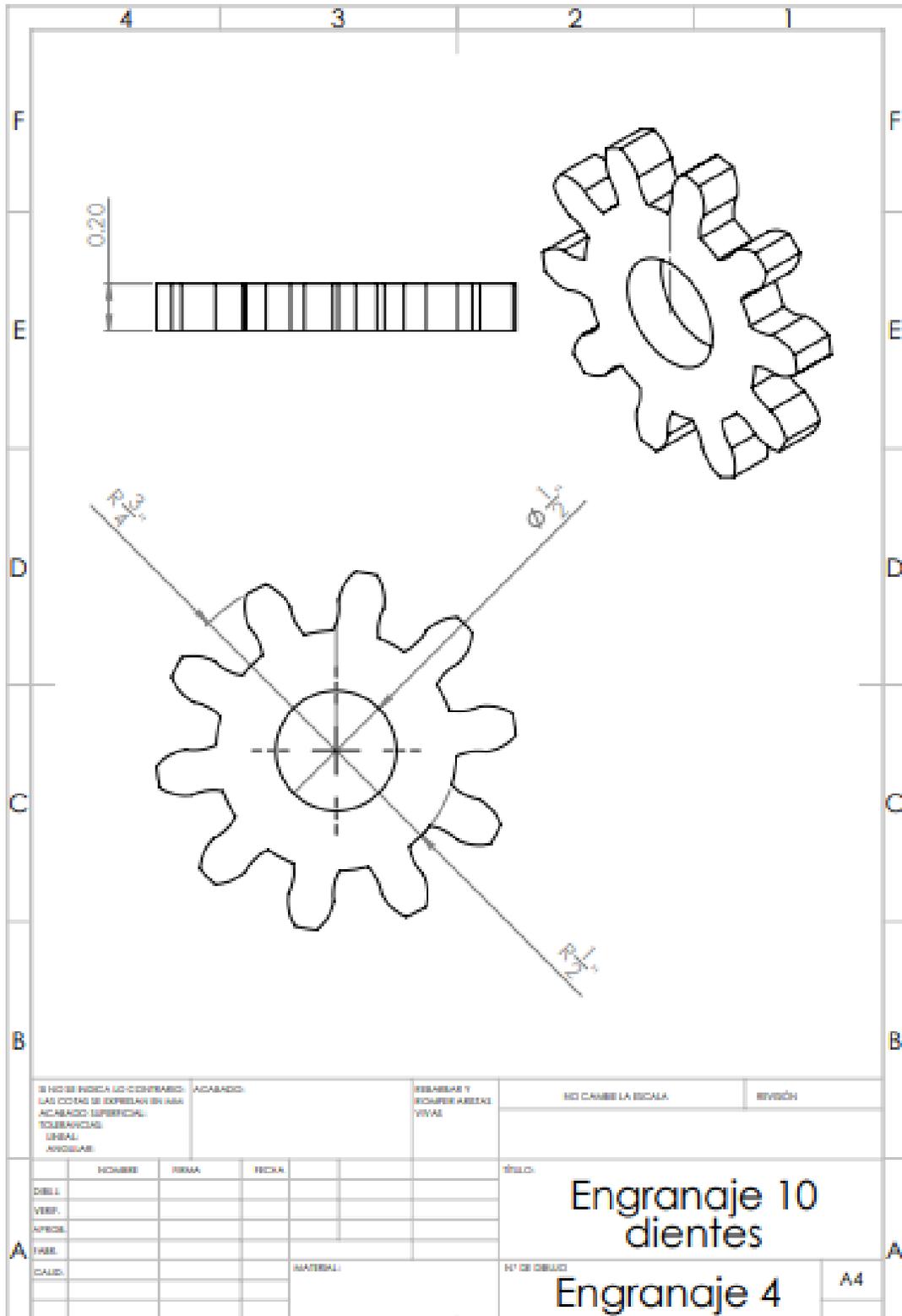
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y QUILPEO ARENAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE: _____ DISEÑO: _____ VERIF.: _____ APROB.: _____ FECHA: _____ CALIF.: _____			FECHA: _____		TÍTULO: <h2 style="text-align: center;">Engranaje 9 dientes</h2>	
			MATERIAL: <b>PLA</b>	N° DE DIBUJO: <h2 style="text-align: center;">Engranaje 1</h2>		A4

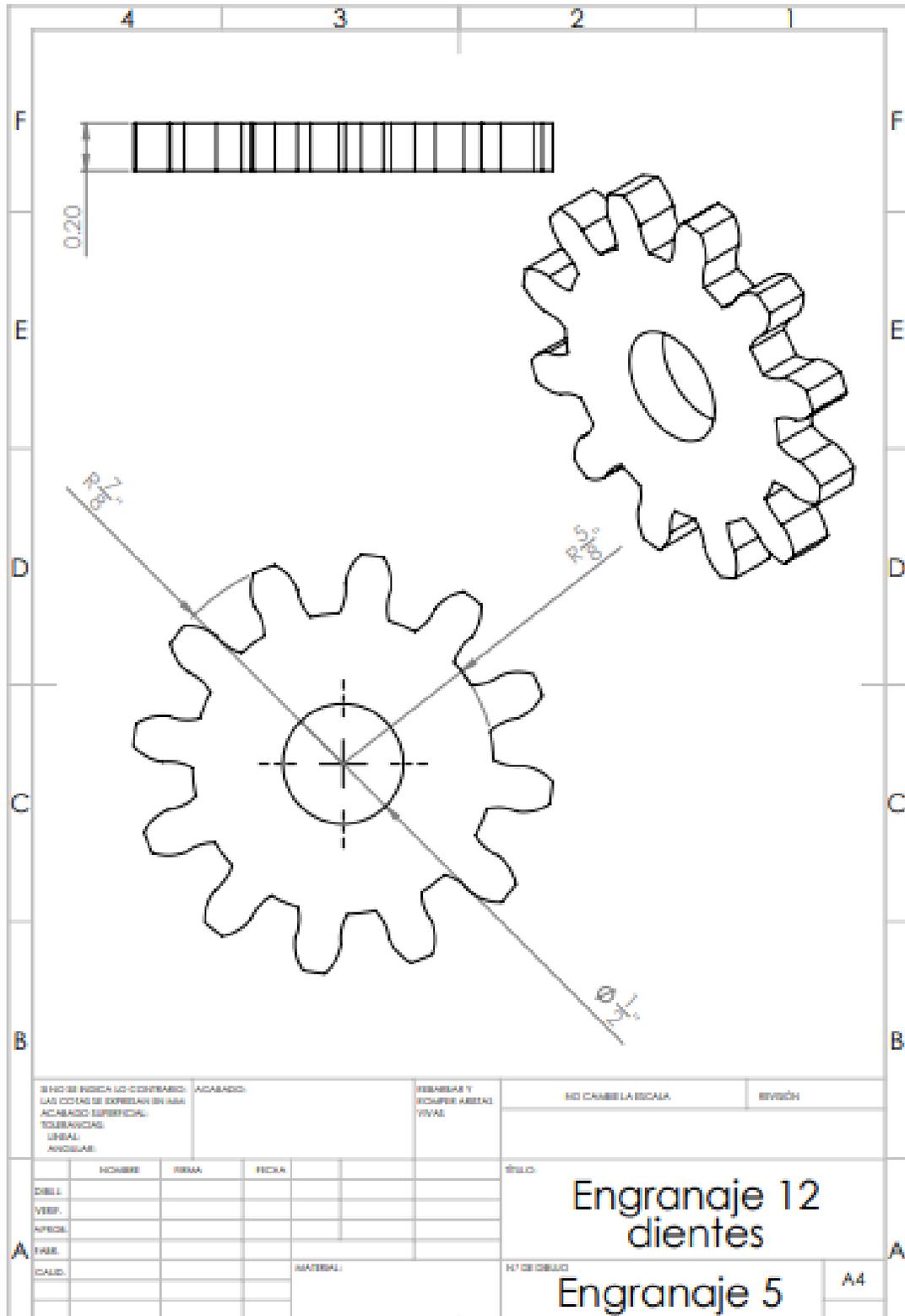


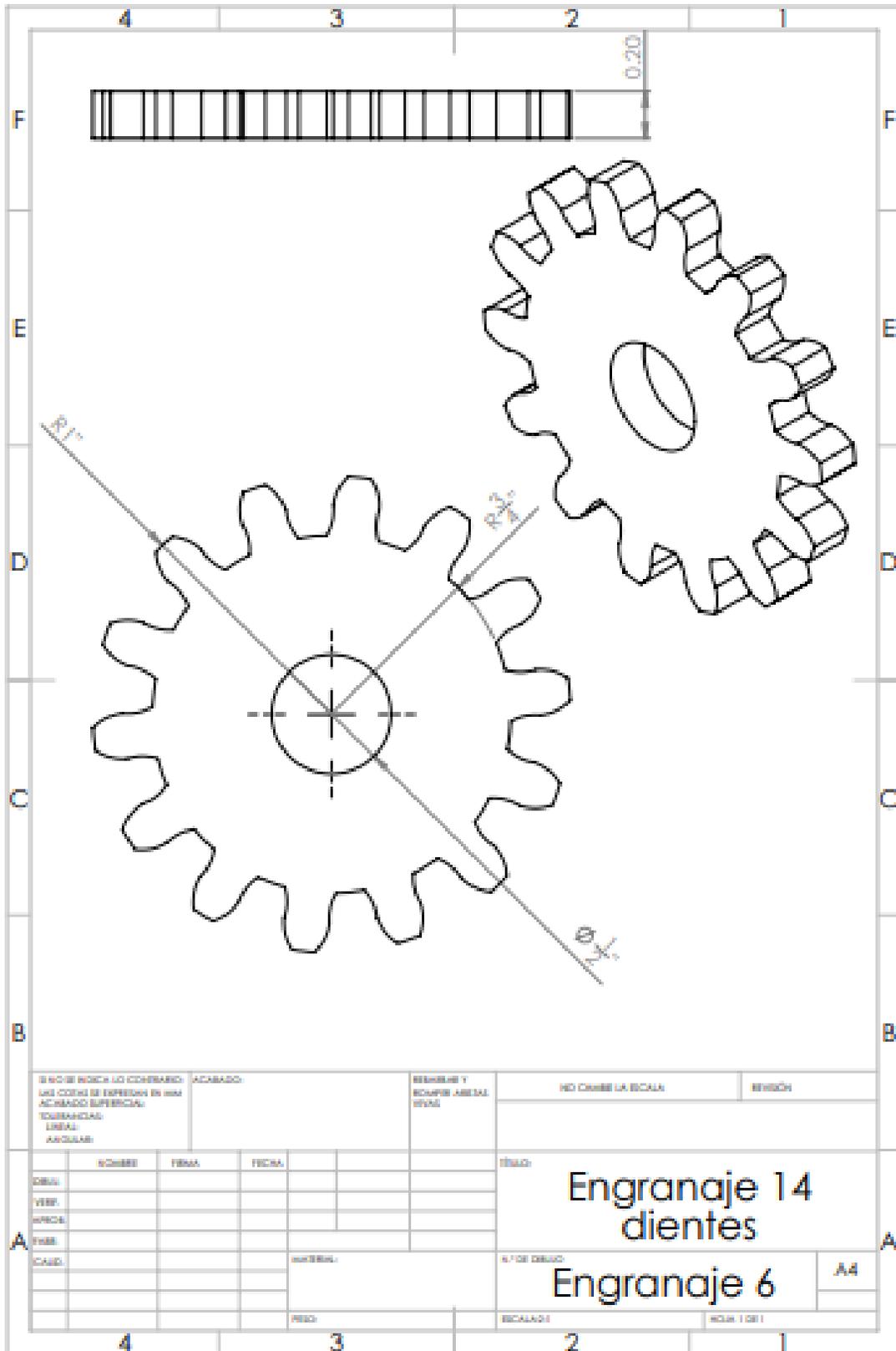
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO: SUPERFICIAL TOLERANCIAS: LINEAL ANGULAR		ACABADO:		ESBARRAR Y ROMPER ARELAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ. VERIF. APROB. FECH. CALIF.		NOMBRE		FECHA		TÍTULO		Nº DE DIBUJO	
						Engranaje 24 dientes		Engranaje 2	
				MATERIAL				A4	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO: ESFERICAL TORNO: UNIFORME ANILAS:		ACABADO:	REBARBOS Y ESCOPIAS: ANILAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ. VERIF. APROB. FASE. CALIF.		NOMBRE FECHA ESCALA	TÍTULO: <h2 style="text-align: center;">Engranaje 30 dientes</h2>		N° DE DIBUJO: <h2 style="text-align: center;">Engranaje 3</h2>	
		MATERIAL:		A4		







EN UNO DE BOSQUE LO CONTRIBUYO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TORNEADO: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	RESUMEN Y COMPARTE AREAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DISEÑO: VERIF. APROB. FECH. CADEN.	NOMBRE: FECHA: FECHA: FECHA:	FECHA: FECHA: FECHA:	TÍTULO: <h2 style="text-align: center;">Engranaje 14 dientes</h2> <h2 style="text-align: center;">Engranaje 6</h2>		ESCALA: ESCALA 01 ESCALA 01	N.º DE DIBUJO: N.º DE DIBUJO N.º DE DIBUJO
MATERIAL: MATERIAL: MATERIAL:			A4		HOJA 1 DE 1	

# Anexo 3: Dictamen



Instituto Tecnológico Superior  
de Teziutlán

Asunto: **Asignación de Asesor(a), Comisión Revisora, Entrega de Trabajo Profesional y Dictamen**

Teziutlán, Puebla, **06/enero/2024**

Asesor(a): **LUIS MANUEL GARCIA MARTINEZ**  
Integrante de Comisión Revisora: **JESUS JOAQUIN SALAS**  
Integrante de Comisión Revisora: **ALFREDO CARRASCO ARAOZ**  
Presentes

Por este medio me permito informar que ha sido asignado como asesor(a) y comisión revisora del trabajo profesional que se convertirá en Tesis de:

Alumno(a): **MARTINEZ OSORIO PEDRO ISAAC**  
Apellido paterno/materno/hombre (s)  
Número de Control: **19TE0399** Licenciatura o Posgrado: **INGENIERIA MECATRONICA**  
Plan: **2010** Correo Electrónico: **L19TE0399@TEZIUTLAN.TECNM.MX**

Cuyo tema es: **DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRONICO PARA MEJORAR LA INFUSION DE MEDICAMENTOS POR VIA INTRAVENOSA EN CENTROS DE SALUD**

25 palabras (máximo)

Se ha enviado a su correo institucional el trabajo profesional o de grado, por lo cual la comisión revisora tendrá 5 días hábiles para realizar las observaciones al alumnado, el(la) interesado(a) tendrá igualmente 5 días para corregir y las enviará al correo electrónico institucional de la comisión revisora, agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de licenciatura o de posgrado de nuestro alumnado egresado.

**Dictamen de Comisión Revisora, Aprobación de Impresión o Grabación y Autorización para subirla al Repositorio del TecNM**

Siendo el día: 18 de febrero de 2024 se reunieron los miembros de la comisión para revisar el trabajo asignado y una vez analizado se decidió liberarlo y aprobarlo para su grabación y programación de examen profesional.

**LUIS MANUEL GARCIA MARTINEZ**  
Nombre y Firma del(a) Asesor(a)

**ALFREDO CARRASCO ARAOZ**  
Nombre y Firma de integrante de la Comisión Revisora

**JESUS JOAQUIN SALAS**  
Firma de integrante de la Comisión Revisora  
**MYRIAM SANCHEZ PEREZ**  
Subdirectora Académica

R08/06/2023  
Folio:22

INSTITUTO TECNOLÓGICO  
SUPERIOR DE TEZIUTLÁN  
SUBDIRECCIÓN  
ACADÉMICA

F-SAC-18



Fracción I y II s/n Aire Libre, Teziutlán, Puebla, C.P. 73360 Tels. 231 311 4000 / 4001 / 4002 / 4003  
e-mail: itsteziutlan@hotmail.com | www.teziutlan.tecnm.mx



**2024**  
**Felipe Carrillo**  
**PUERTO**  
PRESIDENTE DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

## Anexo 3: Carta de autorización

Tecnológico Nacional de México  
Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

### **CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL(LA) AUTOR(A) PARA LA CONSULTA Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

El que suscribe:

**PEDRO ISAAC**

**MARTÍNEZ**

**OSORIO**

Con Número de  
Control **19TE0399**

Pertenece al  
Programa **INGENIERÍA MECATRÓNICA**  
Educativo

Por este conducto me permito informar que he dado mi autorización para la consulta y publicación electrónica del trabajo de investigación en los repositorios académicos.

Registrado con el  
producto: **TESIS**

Cuyo Tema es:

**DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA MEJORAR LA INFUSIÓN DE MEDICAMENTOS  
POR VÍA INTRAVENOSA EN CENTROS DE SALUD**

Correspondiente al periodo:

**AGOSTO-DICIEMBRE 2023**

Y cuyo(a) director(a) de tesis es:

**M.I.M. LUIS MANUEL GARCÍA MARTÍNEZ**

ATENTAMENTE

PEDRO ISAAC MARTÍNEZ OSORIO

Nombre y firma

Fecha de emisión: **07/02/2024**  
c.c.p. Subdirección Académica

## Anexo 4: Licencia de uso

LICENCIA DE USO OTORGADA POR Pedro Isaac Martínez Osorio, de nacionalidad mexicana, mayor de edad, con domicilio ubicado en la calle Del Niño 4, Colonia San Francisco en el municipio de Xiutetelco, Puebla, en mi calidad de titular de los derechos patrimoniales y morales y autor(a) de la tesis denominada “Diseño de un sistema mecatrónico para mejorar la infusión de medicamentos por vía intravenosa en centros de salud” en adelante “LA OBRA” quien para todos los fines del presente documento se denominará “EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR”, a favor del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán del Tecnológico Nacional de México, la cual se registrará por las cláusulas siguientes:

PRIMERA –OBJETO: “EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR”, mediante el presente documento otorga al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán del Tecnológico Nacional de México, licencia de uso gratuita e indefinida respecto de “LA OBRA”, para almacenar, preservar, publicar, reproducir y/o divulgar la misma, con fines académicos, por cualquier medio en forma física y a través del repositorio institucional y del repositorio nacional, éste último consultable en la página: (<https://www.repositorionacionalcti.mx/>).

SEGUNDA - TERRITORIO: La presente licencia se otorga, de manera no exclusiva, sin limitación geográfica o territorial alguna, de manera gratuita e indefinida.

TERCERA -ALCANCE: La presente licencia contempla la autorización para formato uso de “LA OBRA” en cualquier formato o soporte material y se extiende a la utilización, de manera enunciativa más no limitativa a los siguientes medios: óptico, magnético, electrónico, virtual (en red), mensaje de datos o similar, conocido o por conocerse.

CUARTA – EXCLUSIVIDAD: La presente licencia de uso aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán; por lo tanto, “EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR” conserva los derechos patrimoniales y morales de “LA OBRA”, objeto del presente documento.

QUINTA – CRÉDITOS: El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y/o el Tecnológico Nacional de México reconoce que “EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR” es el(la) único(a), primigenio(a) y perpetuo(a) titular de los derechos morales sobre “LA OBRA”; por lo tanto, siempre deberá otorgarle los créditos correspondientes por la autoría de la misma.

SEXTA – AUTORÍA: “EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR” manifiesta ser el(la) único(a) titular de los derechos de autor que derivan de “LA OBRA” y declara que el material objeto del presente fue realizado por él(ella), sin violentar o usurpar derechos de propiedad intelectual de terceros; por lo tanto, en caso de controversia sobre los mismos, se obliga a ser el(la) único(a) responsable. Dado en la Ciudad de Teziutlán, Puebla, a los veinte días del mes de febrero de dos mil veinticuatro.

“EL(LA) AUTOR(A) Y/O  
EL(LA) TITULAR”,

Pedro Isaac Martínez Osorio  
Nombre y Firma

“EL INSTITUTO TECNOLÓGICO  
SUPERIOR DE TEZIUTLÁN”

Arminda Juárez Arroyo  
Directora General  
Nombre, Firma y Sello

## Índice de figuras

Figura 4.1.....	37
Figura 4.2.....	37
Figura 4.3.....	38
Figura 4.4.....	39
Figura 4.5.....	40
Figura 4.6.....	42
Figura 4.7.....	43
Figura 4.8.....	46
Figura 4.9.....	62
Figura 4.10.....	62
Figura 4.11.....	63
Figura 4.12.....	64
Figura 4.13.....	65
Figura 5.1.....	67
Figura 5.2.....	68
Figura 5.3.....	69
Figura 5.4.....	70
Figura 5.6.....	71
Figura 5.7.....	72
Figura 5.8.....	73
Figura 5.9.....	74

Figura 5.10.....	75
Figura 5.11.....	76
Figura 5.12.....	77
Figura 5.13.....	78
Figura 5.14.....	79
Figura 5.15.....	80