



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**DISEÑO Y MANUFACTURA POR ADICIÓN DE  
MATERIAL DE UNA BOMBA PERISTÁLTICA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :**

**CARLOS ALBERTO DE PRADA LUGO**

**DIRECTOR DE TESIS:  
M. EN. I. ARMANDO MORALES**

**Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2020**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
Cuaautitlán.  
EXÁMENES PROFESIONALES

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

“Diseño y manufactura por adición de material de una bomba peristáltica”

Que presenta el pasante: CARLOS ALBERTO DE PRADA LUGO

Con número de cuenta: 41200363-5 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cuaautitlán Izcalli, Méx. a 27 de Septiembre de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez	
<b>VOCAL</b>	M. en I. Armando Morales	
<b>SECRETARIO</b>	M. en D. A. Ricardo Alberto Delgadillo Torres	
<b>1er. SUPLENTE</b>	Ing. Raymundo Morales Márquez	
<b>2do. SUPLENTE</b>	Ing. Carlos Gómez Bustillos	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

## AGRADECIMIENTOS

***A mi madre:** Mi dadora de vida, quien ha sido mi mas grande maestra, por el apoyo que me ha brindado no solo para finalizar este trabajo, sino para cualquier decisión que tome. Agradezco tus enseñanzas, tu paciencia y amor incondicional, pasaré el resto de mi vida intentando ser, aunque sea una pequeña parte de lo grandiosa que eres.*

***A mi tío Omar Lugo:** El mejor ingeniero que conozco, gracias por el apoyo brindado para finalizar este proyecto.*

***A mi hermana:** Seguiré tus pasos a donde vayas.*

***A mi persona favorita en el mundo:** Por dedicar tiempo de su vida a conocerme, escucharme y apoyarme en cada decisión que tomo.*

***A mis amigos:** Enrique, David e Isaac, por transitar este camino a mi lado y no enloquecer en el intento.*

***A mis amigos:** Esteban, Iván, Christian, Daniel y Benjamín: Por su interés y apoyo para no dejar que me rindiera en este camino.*

***Al Ing. Armando Morales:** Por enseñarme que la UNAM no es un centro vacacional y que el trabajo duro rinde gratificaciones.*

***Por último, a la Universidad Nacional Autónoma de México:** Mi segunda casa durante este periodo de mi vida, de la cual estoy orgulloso por pertenecer y formarme profesionalmente.*

# CONTENIDO

<b>Lista de figuras</b> .....	<b>i</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>ii</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Objetivo</b> .....	<b>2</b>
<b>I. Antecedentes</b> .....	<b>3</b>
I.1 Definición de bomba .....	4
I.2 Principio de desplazamiento positivo .....	5
I.3 Bombas rotatorias .....	6
I.4 Bomba peristáltica.....	9
I.5 Caudal de la bomba.....	10
I.6 Cálculo del caudal teórico de la bomba .....	10
I.7 Rendimiento volumétrico de la bomba y su cálculo .....	11
<b>II. Mecanismos</b> .....	<b>13</b>
II.1 Definición de mecanismo .....	14
II.2 Engranaje.....	14
II.3 Paso diametral.....	15
II.4 Módulo .....	15
II.5 Relación de transmisión .....	15
II.6 Trenes de engranes .....	16
II.7 Trenes de engranes epicicloidales (planetarios) .....	18
II.8 Leyes de engranes planetarios .....	18
II.9 Análisis de velocidades.....	20
<b>III. Impresión 3D</b> .....	<b>23</b>
III.1 Generalidades .....	24
III.2 Proceso para la impresión 3D.....	24
III.3 Tecnologías para impresión 3D .....	25
III.4 Materiales.....	26
III.5 Filamento ABS .....	26
<b>IV. Diseño y manufactura de la bomba peristáltica</b> .....	<b>28</b>
IV.1 Introducción .....	29
IV.2 Requerimientos del proyecto.....	29
IV.3 Diseño (Primera iteración) .....	29

IV.4 Manufactura (Primera iteración) .....	33
IV.5 Pruebas (Primera iteración) .....	34
IV.6 Diseño (Segunda iteración) .....	35
IV.7 Manufactura (Segunda iteración) .....	37
IV.8 Pruebas (Segunda iteración) .....	39
IV.9 Medición del caudal real .....	39
IV.10 Análisis de velocidades del mecanismo .....	40
IV.11 Calculo del caudal teórico de la bomba peristáltica .....	43
IV.12 Calculo del rendimiento volumétrico de la bomba.....	44
<b>Conclusiones .....</b>	<b>45</b>
<b>Apéndice A.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>52</b>

# LISTA DE FIGURAS

Figura I.1 Clasificación general de las bombas .....	4
Figura I.2 Cilindro de una Bomba de Desplazamiento Positivo .....	6
Figura I.3 Clasificación de las bombas rotatorias según el Instituto de Hidráulica de Estados Unidos.....	8
Figura I.4 Ciclo de funcionamiento de una bomba peristáltica .....	10
Figura II.1 Piñón y corona .....	14
Figura II.2 Tren de engranes ordinario .....	17
Figura II.3 Tren de engranes planetarios .....	17
Figura II.4 Partes de un tren de engranes planetarios .....	18
Figura II.5 Tren de engranajes planetarios: Radios de los engranajes.....	19
Figura II.6 Tren de engranajes planetarios: Velocidades de los engranajes .....	20
Figura III.1 Funcionamiento del Modelado por Deposición Fundida.....	25
Figura IV.1 Plano del prototipo de la bomba peristáltica .....	30
Figura IV.2 Modelado 3D de tren de engranes planetarios para bomba peristáltica .....	32
Figura IV.3 Vista lateral del tren de engranes planetarios .....	33
Figura IV.4 Acercamiento al tren de engranes planetarios .....	33
Figura IV.5 Tren de engranes planetarios en etapa final de impresión.....	33
Figura IV.6 Dibujo de placas de cristal.....	35
Figura IV.7 Vista frontal del mueble.....	36
Figura IV.8 Vista lateral del mueble .....	36
Figura IV.9 Vista superior del mueble .....	36
Figura IV.10 Vista isométrica del mueble .....	36
Figura IV.11 Proceso de corte de MDF .....	37
Figura IV.12 Taladro presentado en su ubicación .....	38
Figura IV.13 Vista posterior de la bomba peristáltica .....	38
Figura IV.14 Vista lateral de la bomba peristáltica .....	38
Figura IV.15 Vista superior de la bomba peristáltica .....	39
Figura IV.16 Vista frontal de la bomba peristáltica.....	39

# LISTA DE TABLAS

## TABLAS

Tabla IV.1 Requerimientos del proyecto .....	29
Tabla IV.2 Dimensiones del proyecto.....	30

# INTRODUCCIÓN

Hoy en día las bombas hidráulicas están presentes en un extenso campo de aplicaciones, desde usos domésticos hasta usos industriales pasando por áreas farmacéuticas. Esto se debe a la necesidad de desplazar fluidos de un punto a otro.

Existen diferentes tipos de bombas entre las cuales se pueden encontrar las bombas centrífugas, de engranes, peristálticas, etc. Más adelante se mencionará la forma en que se clasifican, así como su principio de funcionamiento básico.

El siguiente proyecto de fin de carrera tiene como finalidad el diseño y la construcción de una bomba que siga el principio de funcionamiento peristáltico el cual es una variante del principio de desplazamiento positivo. Dicha bomba será diseñada utilizando, también, un mecanismo de engranes epicicloidales y será manufacturada a partir de un prototipo diseñado con software de dibujo utilizando un proceso de adición de material también llamado: impresión 3D.

En el capítulo primero se presentarán los conceptos necesarios para comprender el funcionamiento de la bomba peristáltica. En el capítulo segundo se presentarán los conceptos para comprender el funcionamiento del mecanismo de engranes epicicloidales también llamados planetarios. En el tercer capítulo se presentarán los conceptos que comprenden el proceso de impresión 3D. Finalmente, en el capítulo cuarto se detallará la metodología del diseño y manufactura del prototipo de la bomba y finalmente se presentará información acerca de las pruebas que se realizaron al prototipo, así como las demostraciones matemáticas de los conceptos explicados a lo largo de este documento.

Esta tesis está motivada por la necesidad de plasmar en un documento el trabajo realizado durante mi estancia en la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México, siendo además un dispositivo que pretende integrar las aplicaciones de los engranes planetarios y la impresión 3D dentro del área de la hidráulica.

# OBJETIVO

Diseñar una bomba peristáltica conformada por un tren de engranes epicicloïdales que pueda ser manufacturada por medio de adición de material.

## **Objetivos particulares**

- Generar los planos para la manufactura del tren de engranes epicicloïdales.
- Generar los planos para la manufactura de la carcasa de la bomba.
- Diseñar y realizar las pruebas para la caracterización de la bomba.
- Analizar la relación entre el caudal de la bomba y el análisis de velocidades del tren de engranes.

**CAPÍTULO**  
**I. ANTECEDENTES**

## I.1 DEFINICIÓN DE BOMBA

Una bomba es una maquina usada para mover líquido a través de un sistema de tuberías y para incrementar la presión del líquido. Una bomba puede ser definida además como un dispositivo mecánico usado para mover fluidos de una presión baja a una presión alta mediante la adición de energía al sistema; esta energía mecánica puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc. Las bombas se clasifican en dos grandes grupos, bombas rotodinámicas y bombas de desplazamiento positivo, tal y como se muestra en la figura I.1.<sup>[9][11][15]</sup>

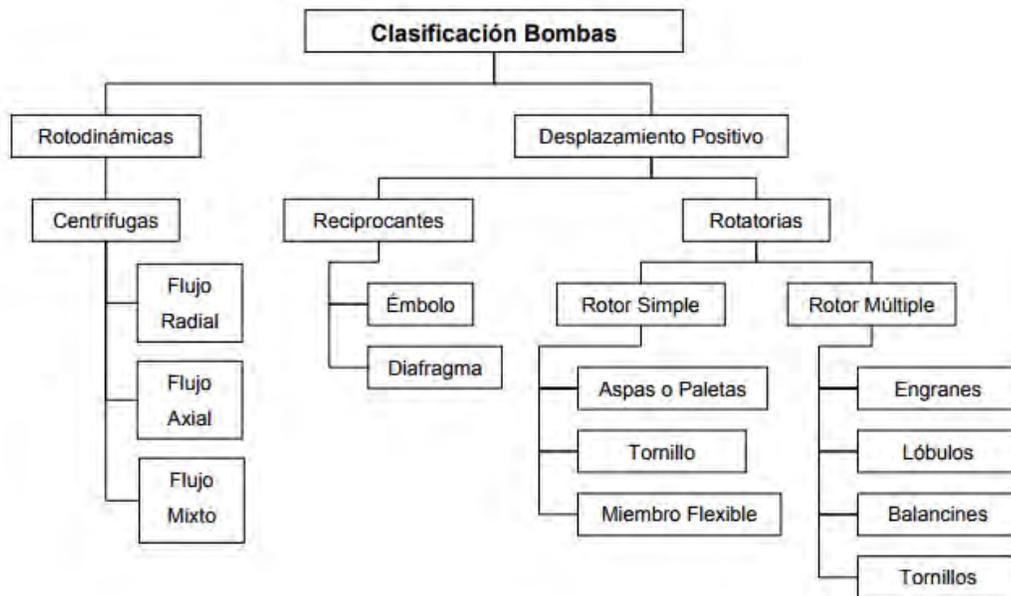


FIG I.1. Clasificación General de las Bombas <sup>[11]</sup>

Las **bombas rotodinámicas** mueven el fluido debido a la transferencia de energía cinética rotacional de un motor, a través de un impulsor o hélice (alabes), en energía potencial (presión del fluido). Por otro lado, en las **bombas de desplazamiento positivo** el fluido que se desplaza siempre está contenido entre el elemento impulsor que puede ser un émbolo, un diente de engrane o un aspa, y la carcasa o el cilindro; de manera que mueva un volumen fijo por revolución excepto por las fugas entre las partes que confinan al fluido.<sup>[11]</sup>

A continuación, se mencionan algunas diferencias existentes entre las bombas rotodinámicas y las bombas de desplazamiento positivo.

En las bombas de desplazamiento positivo el intercambio de energía de fluido se efectúa siempre con variación de presión, mientras que en las bombas rotodinámicas se realiza con intercambio de energía cinética.<sup>[11][15]</sup>

La curva característica QH (Q → gasto volumétrico, H → carga) de una bomba centrífuga revela que ésta puede dar una altura (presión) máxima, que según la ecuación de Euler depende de la forma del rodete. Por el contrario, en una bomba de desplazamiento positivo, el gasto teórico no depende de la carga del sistema, sino que del desplazamiento y de la velocidad. Además, prácticamente la única restricción en la presión que puede alcanzar este tipo de bombas es la robustez de sus componentes.<sup>[9][11][15]</sup>

Dado que el principio de funcionamiento de la bomba peristáltica es de desplazamiento positivo, en lo sucesivo sólo se tratarán las de este tipo.

## I.2 PRINCIPIO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

El nombre de desplazamiento positivo tal vez no es el más adecuado, pero sí el más usual. Proviene de la traducción literal de “Positive Displacement Pumps”.<sup>[15]</sup>

Para explicar el principio de funcionamiento del desplazamiento positivo, consideraremos una bomba de émbolo. En el interior del cilindro de la figura I.2, en el que un émbolo se desliza con movimiento uniforme a una velocidad V, hay un fluido a una presión p. Supondremos que tanto el cilindro como el émbolo son rígidos o indeformables y que el fluido es incompresible.<sup>[11][15]</sup>

El movimiento del émbolo se debe a la fuerza aplicada F. El émbolo al moverse desplaza fluido a través del orificio. Si el émbolo recorre una distancia L hacia la izquierda, el volumen que ocupa el líquido se reducirá con un valor igual a A\*L (donde A es igual al área transversal del émbolo). Como el fluido es incompresible, el volumen de fluido que sale por el orificio también será A\*L. El tiempo t empleado en recorrer la distancia L es:<sup>[11][15]</sup>

$$t = \frac{L}{V} \dots\dots\dots \text{(I.a)}$$

El gasto Q, o volumen desplazado por unidad de tiempo será:

$$Q = \frac{AL}{t} = AV \dots\dots\dots \text{(I.b)}$$

Si no hay fricción, la potencia comunicada al fluido será:

$$P = FV \dots\dots\dots \text{(I.c)}$$

Pero se sabe que: F= pA

$$P = FV = pAV = Qp \dots\dots\dots \text{(I.d)}$$

Es evidente que el principio de desplazamiento positivo consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución de volumen de una cámara. En consecuencia, en una máquina de desplazamiento positivo el elemento que origina el intercambio de energía no tiene necesariamente movimiento alternativo (émbolo), sino que puede tener movimiento rotatorio (rotor).<sup>[11][15]</sup>

Sin embargo, en las máquinas de desplazamiento positivo, tanto reciprocantes (movimiento alternativo) como rotatorias, siempre hay una o más cámaras que aumentan de volumen (succión) y disminuyen de volumen (descarga). Es por lo anterior que estas máquinas son llamadas también volumétricas”.<sup>[9][15]</sup>

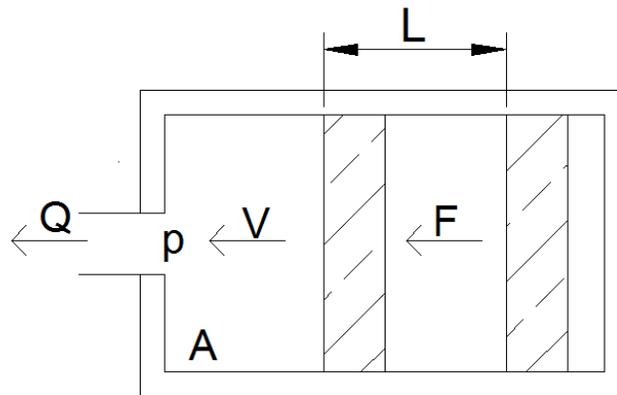


FIG I.2. Cilindro de una Bomba de Desplazamiento Positivo<sup>[9][15]</sup>

### I.3 BOMBAS ROTATORIAS

Como su nombre lo indica, las bombas rotatorias se caracterizan por poseer un elemento giratorio llamado rotor; es precisamente este elemento el que toma la energía del motor y la transmite hacia el fluido que se desea desplazar.<sup>[11]</sup> El campo de aplicación de estas bombas es muy extenso. Se usan para manejar gran variedad de líquidos; las hay en un amplio rango de capacidades, y para distintas presiones, viscosidades y temperaturas. Este tipo de bombas tienen grandes ventajas, así como restricciones entre las cuales se encuentran las siguientes:<sup>[15]</sup>

Ventajas:

- Combinan características de flujo constante o casi constante de las bombas centrífugas con el efecto positivo de las bombas reciprocantes.
- Pueden manejar líquidos altamente viscosos, lo que no es posible con una bomba rotodinámica.

- Pueden manejar líquidos que contengan aire o vapor.
- Comúnmente no tienen válvulas.

Restricciones:

- Los líquidos que contienen sustancias abrasivas o corrosivas pueden causar un desgaste prematuro en las partes con tolerancias muy pequeñas.
- Estas bombas no se deben utilizar en instalaciones donde pudieran quedarse girando en seco.

Es necesario tomar en cuenta distintos factores antes de seleccionar los materiales para manufacturar este tipo de bombas. La selección y determinación de materiales se tiene que llevar a cabo en función del servicio para el cual la bomba sea requerida. A continuación, se estudiarán algunos aspectos a tomar en cuenta para la selección de los materiales de las bombas rotatorias.<sup>[14]</sup>

- **Elementos sometidos a fricción:** Se debe de tomar en cuenta que algunos de los elementos mecánicos de la bomba estarán sujetos a fricción durante la operación de la misma, y esto puede causar el desgaste o en algunos casos, la adherencia de dichos elementos mecánicos.<sup>[14]</sup>

- **Temperatura del fluido:** Es importante conocer la temperatura del fluido que se va a desplazar con la bomba ya que ésta podría provocar que alguno de los materiales de la bomba se dilatare, o sufriera desgaste dando por resultado un funcionamiento deficiente de la misma. En ciertos casos, para los elementos que giran se debe tener cuidado de no seleccionar materiales con coeficientes de dilatación mayores que el de la carcasa.<sup>[14]</sup>

- **Propiedades del fluido:** Es necesario conocer las propiedades del fluido que moverá la bomba, ya que éste podría reaccionar con alguno de los materiales utilizados en la bomba y desde luego, la viscosidad es una propiedad determinante en la selección o diseño de una bomba.<sup>[14]</sup>

El principio de funcionamiento de estas bombas es el anteriormente explicado funcionamiento de desplazamiento positivo. Por tanto, aunque tienen movimiento rotativo, el principio hidráulico de funcionamiento es el mismo que el de una bomba de émbolo, y su funcionamiento no se basa en la ecuación de Euler.<sup>[9]</sup>

Se le conoce como desplazamiento de estas bombas a la cantidad de líquido que teóricamente puede ser movido por los elementos giratorios por revolución sin carga o presión. El motivo de que esta cantidad de líquido desplazado sea teórica es debido a un fenómeno llamado deslizamiento o retorno, que consiste en un cambio volumétrico de la cámara o cámaras de bombeo y no toma en cuenta que existe una cantidad de líquido que regresa a la succión debido a fugas internas a través de los claros existentes entre los elementos que confinan a la cámara.<sup>[3][9][15]</sup>

El retorno de la bomba es directamente proporcional a la presión de descarga e inversamente proporcional a la viscosidad del líquido; vale la pena mencionar que el retorno no depende de la velocidad de la bomba.<sup>[3][14]</sup>

En la figura I.3 se puede apreciar la manera en que se clasifican las bombas rotatorias; en esta figura se muestra el tipo de bombas al que pertenece la bomba peristáltica. Es importante mencionar que esta bomba es llamada por algunos autores y en algunas regiones como “bomba de tubo flexible”.

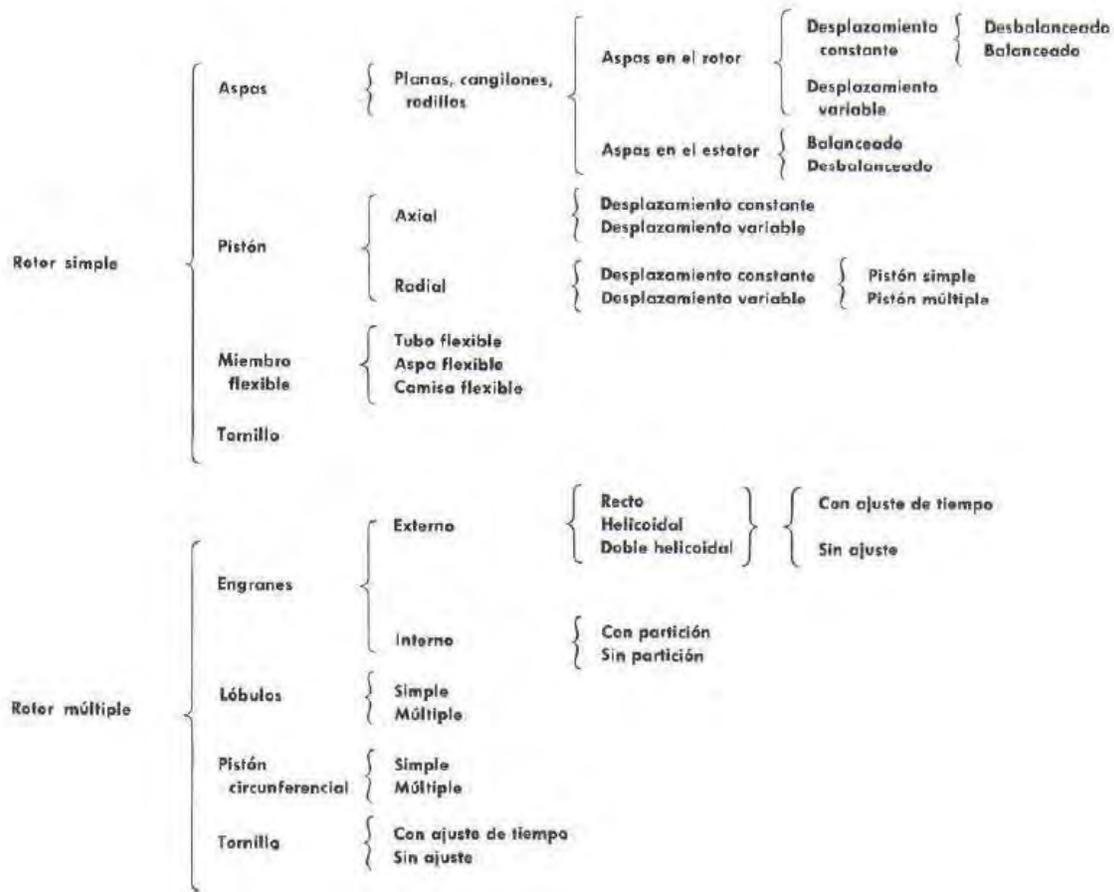


FIG I.3 Clasificación de las bombas rotatorias según el Instituto de Hidráulica de Estados Unidos<sup>[15]</sup>

## I.4 BOMBA PERISTÁLTICA

La función de las bombas peristálticas imita el sistema de digestión humana conocido como movimiento “peristáltico” consistente en la contracción y sucesiva relajación de un músculo alrededor de un tubo que así mueve su contenido.<sup>[5]</sup>

Las bombas peristálticas operan de forma similar a la estrategia que utilizan los cuerpos de los seres vivos para desplazar líquidos en su interior. Se comprime un conducto flexible en forma progresiva desplazando el contenido a medida que la compresión va avanzando por el conducto.<sup>[5]</sup>

Para emular el movimiento muscular progresivo, el mecanismo más utilizado está compuesto de 2 o 3 rodillos que giran en un compartimiento circular comprimiendo en forma progresiva una manguera especial o tubo flexible. Los rodillos son solidarios a través de un mecanismo con el eje de un motor, de manera que al girar el mismo, los rodillos presionan la manguera en forma progresiva y hacen avanzar el contenido dentro de la misma. Es importante señalar que en este tipo de bombas el fluido que se desplaza jamás entra en contacto con las partes móviles del mecanismo, sino que únicamente estará en contacto con el interior del conducto. Esto último resulta en una ventaja para las bombas peristálticas al mantener los elementos mecánicos protegidos de las indeseadas propiedades de los fluidos como lo son sustancias abrasivas o impurezas en el fluido desplazado.<sup>[1][3][5]</sup>

En la figura I.4 se muestra un ejemplo de una bomba peristáltica con un sistema de tres rodillos.

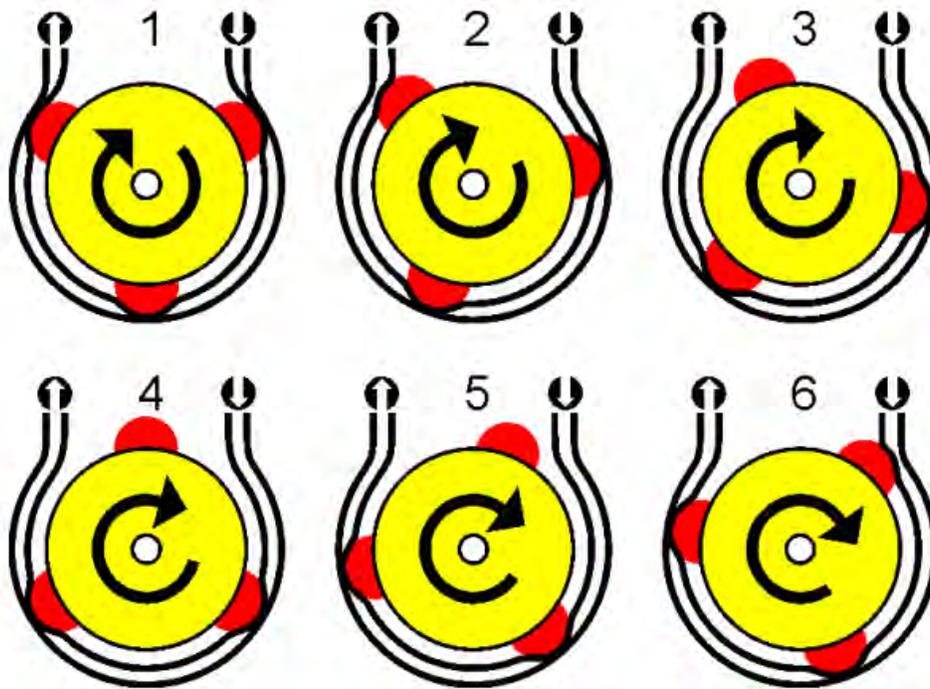


FIG I.4 Ciclo de funcionamiento de una bomba peristáltica.

Hay que notar que en ningún momento los rodillos dejan de presionar la manguera en al menos en un punto. Esto es importante ya que, si en algún momento los cilindros dejan de presionar el conducto, el líquido podría retroceder. El sentido de rotación del motor determina la dirección del flujo del contenido.<sup>[1][3]</sup>

El volumen de contenido desplazado por la bomba en cada vuelta, dependerá del diámetro interior del conducto utilizado y del aplastamiento sufrido en el mismo por los rodillos. Esto implica que a medida que se desgaste la manguera y pierda su flexibilidad, deberá recalcularse el volumen desplazado por la bomba. El tiempo en el que ocurra ese desgaste dependerá del material utilizado para el conducto y el espesor de las paredes del mismo.<sup>[3]</sup>

Los rendimientos de las bombas peristálticas son de tipo mediano a bajo, puede manejar caudales de hasta 80m<sup>3</sup>/h y presiones de hasta 16 bares, precisándose potencias relativamente elevadas entre 5 a 20 CV.<sup>[5]</sup>

Debido a su higiene y precisión es muy utilizada en medicina y en el sector alimenticio, aunque requiere mantenimiento frecuente.

## **I.5 CAUDAL DE LA BOMBA**

En mecánica de fluidos, y cuando se habla de bombas, el caudal puede ser definido como la cantidad de volumen de fluido que es desplazado por la bomba por unidad de tiempo, el fluido es desplazado por la bomba a través de un ducto, tubería, manguera, etc..., y será medido en unidades de volumen sobre unidad de tiempo (m<sup>3</sup>/s, litros/s, cm<sup>3</sup>/min, etc...) <sup>[3][9]</sup>

Una desventaja que podemos encontrar en este tipo de bombas (peristálticas) es el carácter pulsátil del caudal. El volumen de fluido albergado entre dos rodillos avanza al girar el rotor, de manera que a la salida el caudal no es continuo, sino que puede observarse una pulsación. Esta pulsación es menor cuanto mayor es el número de rodillos. Esta pulsación no resulta un inconveniente para la mayoría de casos, sobre todo en bombas que precisan de un alto número de revoluciones del rotor.<sup>[3]</sup> La vida de la manguera también es una variable dependiente de las propiedades del material del tubo y el funcionamiento de la bomba, por lo general esto puede resultar desventajoso sobre todo cuando se requiere una elevada velocidad de rotación.

## **I.6 CÁLCULO DEL CAUDAL TEORICO DE LA BOMBA**

El caudal teórico es aquel que se obtendría de la bomba en el supuesto caso de que esta fuera ideal, esto es, que no tuviera fugas ni pérdidas, solo depende de la velocidad de rotación de la bomba ( $\omega$ ) y del volumen de desplazamiento (V) capturado por ésta. De esta manera, podemos calcular el caudal teórico a partir de estas dos magnitudes:<sup>[9][11][15]</sup>

$$Q_t = V \cdot \omega \quad \text{..... (I.e)}$$

Donde:

$Q_t$  = Caudal teórico de la bomba en  $m^3/s$ , litros/s,  $cm^3/min$ , etc...

$V$  = Volumen de desplazamiento, cantidad de fluido capturado por la bomba y transportado por esta en una vuelta o ciclo de trabajo según el principio de desplazamiento positivo.

$\omega$  = Velocidad angular de giro de la bomba, en rad/s o en rpm

## 1.7 RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO DE LA BOMBA Y SU CÁLCULO

El rendimiento volumétrico es el porcentaje de flujo que se tiene disponible para realizar un trabajo, respecto al flujo teórico que por construcción dicha bomba debería suministrar. En otras palabras, es una medida de las pérdidas en volumen debidas a fugas internas de la bomba hidráulica y se calcula dividiendo el caudal actual que entrega la bomba, entre el caudal teórico que por construcción la bomba debería de entregar y se expresa en porcentaje. El caudal de la bomba se mide utilizando un medidor de flujo o bien vaciando la entrega de la bomba en un recipiente y midiendo el tiempo de llenado y el volumen correspondiente.<sup>[9]</sup>

Conforme una bomba hidráulica se va desgastando por estar en servicio, se incrementan las fugas internas y por lo tanto la cantidad de flujo útil disponible para realizar un trabajo, disminuye. Si el valor de eficiencia volumétrica disminuye por debajo de un valor considerado como aceptable, deberá hacerse una revisión completa de los componentes de la bomba.<sup>[9]</sup>

La fórmula para calcular el rendimiento volumétrico de la bomba es la siguiente:

$$\eta_v = \frac{Q_r}{Q_t} \times 100 \quad \text{..... (1.f)}$$

Donde:

$\eta_v$  = Rendimiento volumétrico expresado como porcentaje.

$Q_r$  = Caudal real de la bomba medido mediante el vaciado de la entrega de la bomba midiendo el tiempo, expresado en: ml/min.

$Q_t$  = Caudal teórico de la bomba.

**CAPITULO**  
**II. MECANISMOS**

## II.1 DEFINICIÓN DE MECANISMO

Un *mecanismo* es una parte mecánica de una máquina, cuya función es transmitir movimiento y fuerza de una fuente de potencia a una salida,<sup>[10]</sup> en una bomba peristáltica, el mecanismo toma la potencia de un motor y la suministra en el rotor de la bomba para hacer girar los rodillos que presionarán el tubo flexible para lograr el desplazamiento del fluido a través de este.

Se considera como mecanismo a las partes rígidas que están configuradas y conectadas de modo que producen el movimiento que se desea en una máquina.<sup>[10]</sup>

## II.2 ENGRANAJE

Se denomina engranaje al mecanismo utilizado para transmitir potencia mecánica entre las distintas partes de una máquina. Los engranajes están formados por dos ruedas dentadas, de las cuales a la mayor se le denomina engrane y, al menor piñón. Un engranaje sirve para transmitir movimiento circular mediante contacto de ruedas dentadas. Una de las aplicaciones más importantes de los engranajes es la transmisión del movimiento desde el eje de una fuente de energía, como puede ser un motor de combustión interna o un motor eléctrico, hasta otro eje situado a cierta distancia y que ha de realizar un trabajo. De manera que una de las ruedas está conectada por la fuente de energía y es conocido como engranaje motor y la otra está conectada al eje que debe recibir el movimiento del eje motor y que se denomina engranaje conducido. Si el sistema está compuesto de más de un par de ruedas dentadas, se denomina tren de engranajes.<sup>[7]</sup>

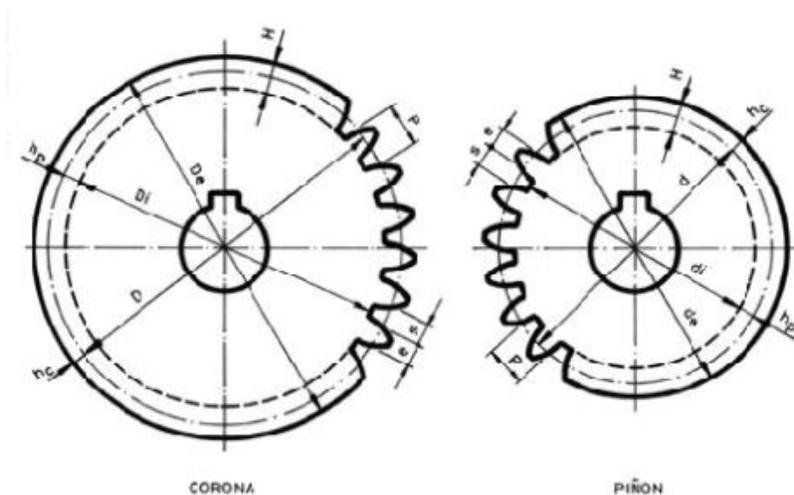


FIG II.1 Piñón y corona

### II.3 PASO DIAMETRAL

El paso diametral se define como el número de dientes que tienen un engrane para cada unidad de diámetro primitivo <sup>[6]</sup>. Esta razón puede ser definida con la fórmula:

$$P = \frac{Z}{D} \dots\dots\dots (\text{II.a})$$

Donde:

$Z$  : Número de dientes del engrane

$D$  : Diámetro del engrane

Es importante mencionar que para que dos engranes puedan trabajar efectivamente, ambos deben tener el mismo paso diametral,<sup>[6]</sup> esto es: que un engrane con paso diametral de 8 deberá trabajar junto con otro engrane con paso diametral igual a 8.

### II.4 MÓDULO

Es la forma de medir la distancia y el tamaño de los dientes de un engrane en el sistema métrico.<sup>[6]</sup> En otras palabras, es la razón entre el número de dientes y el diámetro de paso <sup>[10]</sup> y puede ser definida con la formula siguiente:

$$m = \frac{D}{Z} \dots\dots\dots (\text{II.b})$$

Donde:

$Z$  : Número de dientes del engrane

$D$  : Diámetro del engrane

Como puede observarse, el modulo y el paso diametral son valores inversos entre sí.

### II.5 RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

La relación de transmisión (RT) es una relación entre las velocidades de rotación de dos engranajes conectados entre sí, donde uno de ellos ejerce fuerza sobre el otro. Esta relación se debe a la diferencia de diámetros de las dos ruedas, que implica una diferencia entre las velocidades de rotación de ambos ejes, esto se puede verificar mediante el concepto de velocidad angular. En otras palabras, es la relación que existe entre la velocidad angular del

piñón y la velocidad angular del engrane, pero también es una relación entre diámetros o número de dientes.<sup>[6][8][10]</sup>

Esta relación puede ser representada con la fórmula:

$$RT = \frac{\omega_p}{\omega_e} = \frac{D_e}{D_p} = \frac{Z_e}{Z_p} \dots\dots\dots \text{(II.c)}$$

Donde:

$\omega_p$  : Velocidad angular del piñón

$\omega_e$  : Velocidad angular del engrane

$D_e$  : Diámetro del engrane

$D_p$  : Diámetro del piñón

$Z_e$  : Número de dientes del engrane

$Z_p$  : Número de dientes del piñón

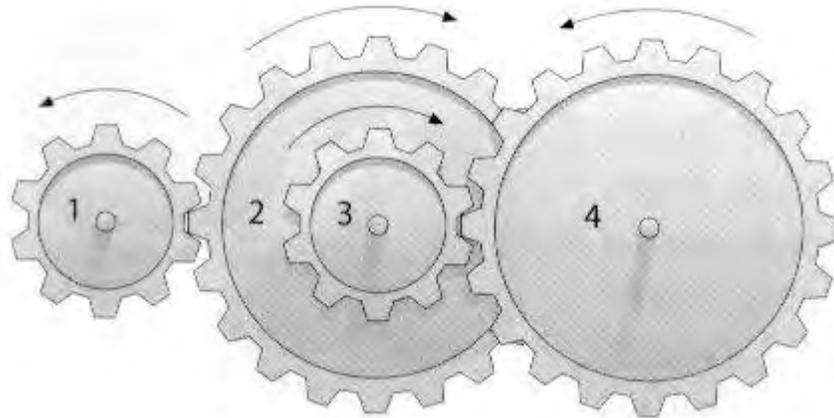
## II.6 TRENES DE ENGRANES

Un tren de engranajes es un mecanismo formado por varios pares de engranajes acoplados de tal forma que el elemento conducido de uno de ellos es el conductor del siguiente. Suele denominarse como la cadena cinemática formada por varias ruedas que ruedan sin deslizar entre sí; o bien como cualquier sistema de ejes y ruedas dentadas que incluya más de dos ruedas o tándem de ejes y ruedas dentadas. Generalmente se recurre a ellos porque no es posible establecer una determinada relación de transmisión entre dos ejes mediante un solo par de ruedas dentadas; o también porque se desea obtener un mecanismo con relación de transmisión variable, lo que tampoco es posible con un solo par de ruedas convencional.<sup>[12]</sup>

Los trenes de engranes se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Trenes ordinarios
  - a. Trenes ordinarios simples
  - b. Trenes ordinarios compuestos
- Trenes epicicloidales
  - a. Trenes epicicloidales simples
  - b. Trenes epicicloidales diferenciales
- Trenes mixtos: Corresponden a una combinación de los trenes ordinarios y los trenes epicicloidales.

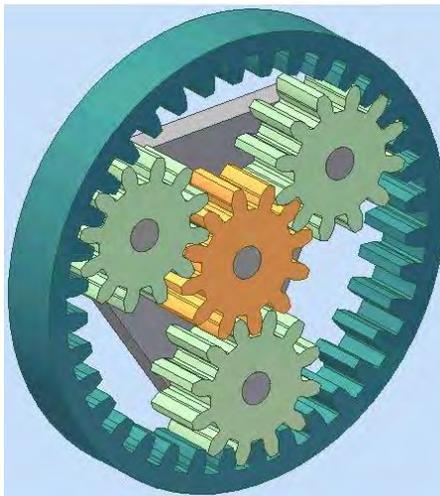
En la figura II.2 se puede observar un ejemplo de un tren de engranes ordinarios y la manera en que transmiten movimiento entre sí.



**FIG II.2 Tren de engranes ordinario**

Existen algunas diferencias entre estos tipos de trenes de engranajes. La diferencia en los trenes ordinarios reside en que el único movimiento que pueden tener los ejes es el de giro sobre sí mismos; mientras que los trenes epicicloidales poseen algún eje que tiene movimiento relativo respecto de los demás.<sup>[12]</sup> Estos últimos también pueden ser llamados *tren de engranes planetarios*, se puede ver una representación gráfica de estos en la fig. II.3.

Dado que la bomba peristáltica que se desarrolló para este trabajo utiliza un tren de engranes planetarios como mecanismo para transmitir movimiento al fluido, solo se estudiarán estos a continuación.



**FIG II.3 Tren de engranes planetarios**

## II.7 TRENES DE ENGRANES EPICICLOIDALES (PLANETARIOS)

El tren de engranes epicicloidales es también llamado “*tren de engranes planetarios*” debido a la semejanza que tiene este sistema con la manera en la que giran los planetas alrededor del sol en nuestro sistema solar. Los engranes que giran alrededor del engrane solar se conocen como planetas. Un transportador mantiene a los engranes planetarios en órbita alrededor del Sol. Por último, el tren suele estar encerrado en un engrane interno llamado engrane anular o corona.<sup>[10]</sup>

En la Figura II.4 se muestra un tren epicicloidal. Los trenes epicicloidales son aquellos trenes de engranajes en los cuales alguna rueda gira en torno a un eje que no es fijo, sino que gira en el espacio. Al elemento (3) que gira se le llama porta planetas o porta satélites. Para el caso del tren de engranes utilizado para la bomba de este trabajo, el porta satélites no está presente en el sistema, sin embargo se utilizara el subíndice 3 dentro de las ecuaciones para referirse al distancia entre centros de los engranes solar y planetarios en lugar de referirse al porta satélites. A la rueda (2) que gira alrededor de dicho eje se la denomina satélite o planeta. El sistema, de esta manera, tiene dos grados de libertad que se restringen a uno haciendo girar al satélite alrededor de una rueda fija o central llamada engrane solar o engrane sol (1). La rueda (4) llamada corona puede o no tener movimiento alrededor de su propio eje, provocado por el movimiento de los engranes planetas, para el caso de nuestra bomba la corona estará fija, por lo que su velocidad angular será igual a cero.<sup>[12]</sup>

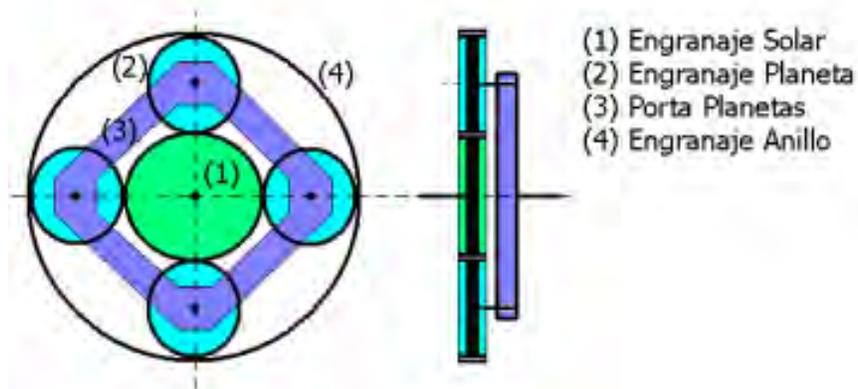


FIG II.4 Partes de un tren de engranes planetarios <sup>[12]</sup>

## II.8 LEYES DE ENGRANES PLANETARIOS

Para resolver el problema cinemático de los engranajes planetarios se debe tener en cuenta la geometría de los engranajes internos y externos. Así pues, la distancia entre los centros del engranaje solar y de los engranajes planeta se puede calcular en función de los radios de paso circular (ver Figura II.5) y número de dientes de cada engranaje.<sup>[12]</sup>

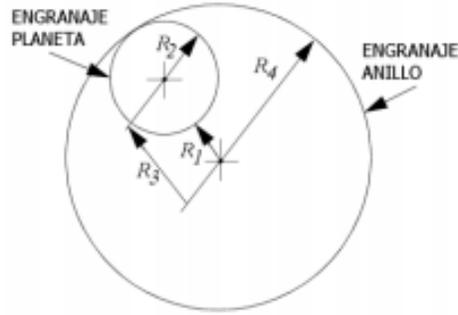


FIG II.5 Tren de engranajes planetarios: Radios de los engranajes

$$R_3 = R_1 + R_2 = \frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{Z_1 + Z_2}{2P_d} = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2} \dots\dots\dots \text{(II.d)}$$

$$R_3 = R_4 - R_2 = \frac{D_4 - D_2}{2} = \frac{Z_4 - Z_2}{2P_d} = \frac{m(Z_4 - Z_2)}{2} \dots\dots\dots \text{(II.e)}$$

Estas dos expresiones conducen a la Primera ley de los engranajes planetarios:

$$\frac{Z_1 + Z_2}{2P_d} = \frac{Z_4 - Z_2}{2P_d} \Rightarrow Z_4 = Z_1 + 2Z_2 \dots\dots\dots \text{(II.f)}$$

Tener presente que  $P_d$  y  $m$  son el paso diametral y el módulo respectivamente y  $Z_1$ ,  $Z_2$  y  $Z_4$  el número de dientes de los engranajes, solar, planetario y anillo respectivamente.

Para que los engranajes planetarios puedan engranar en forma simultánea, se debe verificar la Segunda ley de los engranajes planetarios, que se define según la siguiente expresión:<sup>[12]</sup>

$$\frac{Z_1 + Z_4}{Np} = n_1 \forall n_1 \in N^+ \dots\dots\dots \text{(II.g)}$$

Siendo  $Np$  el número de engranajes planetarios (por lo general 3 o 4). La expresión (II.g) significa que  $n_1$  debe ser un número entero y positivo. Debe recalarse que la ecuación (II.g) no es una ley estricta e inalterable, y existen casos en los cuales no se cumple. Si bien no es estrictamente necesario que los engranes planetarios engranen en forma simultánea, si no lo hacen puede existir un desbalance en las fuerzas actuantes que puede conducir a una mala estimación de las tensiones que resisten los dientes de los engranajes.<sup>[12]</sup>

## II.9 ANÁLISIS DE VELOCIDADES

Para el análisis de velocidades y de las relaciones de transmisión en un tren de engranajes planetarios, lo más sencillo es idealizar el movimiento como si se tratara de ruedas de contacto que rotan sin deslizar. El engrane solar sirve como elemento de entrada y los engranes planetas están condicionados a moverse entre el engranaje solar y el engranaje anillo y son en definitiva el movimiento de salida. El engrane anillo puede estar fijo o girando o siendo conducido a una velocidad dada. La Figura 9.54 describe las velocidades de rotación de los engranajes en conjunto, a su vez muestra, separados del conjunto, los engranajes solar y planeta con sus respectivas identificaciones de velocidades de rotación y tangenciales. Se empleará un sistema de referencia cilíndrico con vectores unitarios  $\{\hat{i}_r, \hat{i}_t, \hat{i}_z\}$  o sea radial, tangencial y vertical, respectivamente.

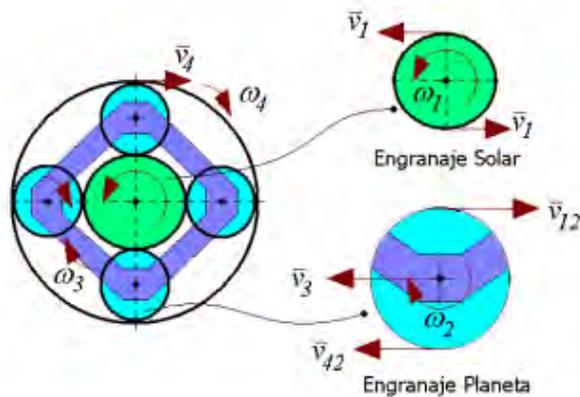


FIG II.6 Tren de engranajes planetarios: Velocidades de los engranajes

La velocidad de rotación de los engranajes planetas es un poco complicada de obtener pues se trata de un movimiento de rotación alrededor de su propio eje y de traslación sobre una órbita circular de radio  $R_3$  (ver Figuras II.6). Si el cuerpo porta-planetas, rota a una velocidad  $\omega_3$ , entonces la velocidad tangencial de uno o cualquiera de los centros de los engranajes planeta viene dada por:<sup>[12]</sup>

$$\bar{v}_3 = (-\omega_3 \hat{i}_z) \times (R_3 \hat{i}_r) = -\frac{(Z_1 + Z_2)\omega_3}{2Pd} \hat{i}_t \quad \dots\dots\dots \text{(II.h)}$$

El signo de la ecuación precedente está asociado al sentido de giro de la circunferencia respectiva (ver Figura II.6).

Recordar que para el caso del tren de engranes planetarios de la bomba peristáltica, el elemento porta-planetas no está presente, sin embargo la distancia entre los centros de los engranes solar y planetarios forman una circunferencia que actúa como trayectoria de

desplazamiento de los engranes planetas y dicha distancia nos es útil para fines de cálculos de las velocidades tangenciales de los engranes planeta, tomando como referencia la velocidad angular que se tendría en el cuerpo porta-planetas.

Ahora bien, la velocidad tangencial en el punto de contacto de las circunferencias de paso debe ser la misma tanto para el par Solar/Planetas ( $\bar{v}_1$ ) como para el par Planetas/Anillo ( $\bar{v}_4$ ). Esto se debe a la continuidad del movimiento de rotación y roto-translación. Entonces los módulos de las velocidades tangenciales vienen dados por:<sup>[12]</sup>

$$|\bar{v}_1| = \frac{Z_1\omega_1}{2Pd} = \frac{(Z_1 + Z_2)\omega_3}{2Pd} - \frac{Z_2\omega_2}{2Pd} \Rightarrow Z_1\omega_1 = (Z_1 + Z_2)\omega_3 - Z_2\omega_2 \dots\dots\dots \text{(II.i)}$$

$$|\bar{v}_4| = \frac{Z_4\omega_4}{2Pd} = \frac{(Z_1 + Z_2)\omega_3}{2Pd} + \frac{Z_2\omega_2}{2Pd} \Rightarrow Z_4\omega_4 = (Z_1 + Z_2)\omega_3 + Z_2\omega_2 \dots\dots\dots \text{(II.j)}$$

Si se elimina  $\omega_2$  de entre las dos ecuaciones anteriores se tiene:

$$Z_4\omega_4 + Z_1\omega_1 = 2(Z_1 + Z_2)\omega_3 \dots\dots\dots \text{(II.k)}$$

Teniendo presente la condición (II.f), la ecuación (II.k) se transforma en:

$$Z_4\omega_4 + Z_1\omega_1 = 2(Z_1 + Z_4)\omega_3 \dots\dots\dots \text{(II.l)}$$

Las ecuaciones (II.k) y (II.l) son las expresiones genéricas de la relación de velocidades de rotación del tren de engranajes planetarios.

Ahora bien, se pueden presentar los siguientes casos particulares:

- a) El engrane anillo esta fijo ( $\omega_4 = 0$ )
- b) El engrane solar esta fijo ( $\omega_1 = 0$ )
- c) El porta-planetas esta fijo ( $\omega_3 = 0$ )
- d) Que se pueda fijar una relación entre las velocidades del engranaje solar y del engranaje anillo ( $\omega_4 = \kappa \omega_1$ )

El caso que se presenta para la bomba peristáltica será un sistema que trabaja bajo las condiciones del caso a), en el cual la corona está fija y por lo tanto no tiene movimiento de salida. De esta forma se puede obtener las fórmulas para determinar las relaciones de velocidades angulares del tren con el fin de calcular la velocidad angular teórica de la circunferencia que recorrerán los engranes planetas y poder, después obtener su velocidad tangencial.

Empleando entonces las ecuaciones (II.k) y (II.l) se obtiene:

$$\frac{\omega_1}{\omega_3} = 2\left(1 + \frac{Z_2}{Z_1}\right) \quad \text{ó} \quad \frac{\omega_1}{\omega_3} = \left(1 + \frac{Z_4}{Z_1}\right) \dots\dots\dots(\text{II.m})$$

CAPITULO  
III. IMPRESIÓN 3D

### III.1 GENERALIDADES

La impresión 3D, o manufactura aditiva, es un grupo de tecnologías de fabricación que, partiendo de un modelo digital, permiten manipular de manera automática distintos materiales y agregarlos capa a capa de forma muy precisa para construir un objeto en tres dimensiones. Las impresoras 3D son por lo general más rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías de fabricación por adición, aunque como cualquier proceso industrial, estarán sometidas a un compromiso entre su precio de adquisición y la tolerancia en las medidas de los objetos producidos. Las impresoras 3D ofrecen a los desarrolladores del producto, la capacidad para imprimir partes y montajes hechos de diferentes materiales con diferentes propiedades físicas y mecánicas, a menudo con un simple proceso de ensamble. Las tecnologías avanzadas de impresión 3D, pueden incluso ofrecer modelos que pueden servir como prototipos de producto.<sup>[2][4]</sup>

El inicio de la impresión 3D se remonta a 1976, cuando se inventó la impresora de inyección de tinta. Desde entonces, la tecnología ha evolucionado para pasar de la impresión con tinta a la impresión con materiales, y la impresión 3D ha sufrido cambios durante décadas en diferentes ramas de la industria.<sup>[2]</sup>

### III.2 PROCESO PARA LA IMPRESIÓN 3D

Para poder realizar el manufacturado de un objeto sólido en 3D a partir de impresión por adición de material es necesario llevar a cabo una lista de acciones para asegurar un correcto resultado final. Estos pasos se estudiarán a continuación.<sup>[2][4]</sup>

**Modelado:** El modelado se realiza creando un modelo 3D de una idea que se tenga en mente. Esto se realiza plasmando el modelo digitalmente con la ayuda de un software especializado tipo CAD (Diseño Asistido por Computadora).<sup>[2]</sup>

**Exportación del sólido:** Cuando el modelo digital en 3D se ha finalizado, este debe de ser exportado en un formato correcto (por lo general “STL”) que contenga toda la información geométrica necesaria para representar el modelo digital.<sup>[2]</sup>

**Rebanado:** Convertir el modelo digital (técnicamente una representación tridimensional de una superficie hermética subdividida en una malla triangular) en una lista de comandos que la impresora 3D pueda entender y ejecutar, generalmente llamados códigos g/g-code.<sup>[2]</sup>

**Conexión:** Dar la lista de instrucciones a la impresora ya sea a través de una conexión USB a una PC o guardando el archivo en una tarjeta de memoria que puede ser leído directamente por la propia impresora.<sup>[2]</sup>

**Impresión:** Preparar la impresora 3D y comenzar la impresión. Esperar el resultado.<sup>[2]</sup>

**Acabado:** Quitar de la plataforma de impresión el objeto recién creado y eliminar las partes adicionales, si están presentes para limpiar su superficie.<sup>[2]</sup>

### III.3 TECNOLOGÍAS PARA IMPRESIÓN 3D

Existe una gran diversidad de métodos disponibles para la impresión 3D. Sus principales diferencias se encuentran en la forma en la que se usan las diferentes capas para crear piezas. A continuación, se mostrarán algunos de estos métodos, y entre ellos se estudiará el método de modelación por deposición fundida (FDM), el cual fue utilizado para realizar la impresión del prototipo de la bomba peristáltica.<sup>[2][4]</sup>

#### Modelado por deposición fundida (FDM)

Consiste en depositar polímero fundido sobre una base plana, capa a capa. El material, que inicialmente se encuentra en estado sólido almacenado en rollos, se funde y es expulsado por una boquilla en minúsculos hilos que se van solidificando conforme van tomando la forma de cada capa. En la figura III.1 Es posible apreciar cómo funciona esta tecnología.<sup>[2][4]</sup>

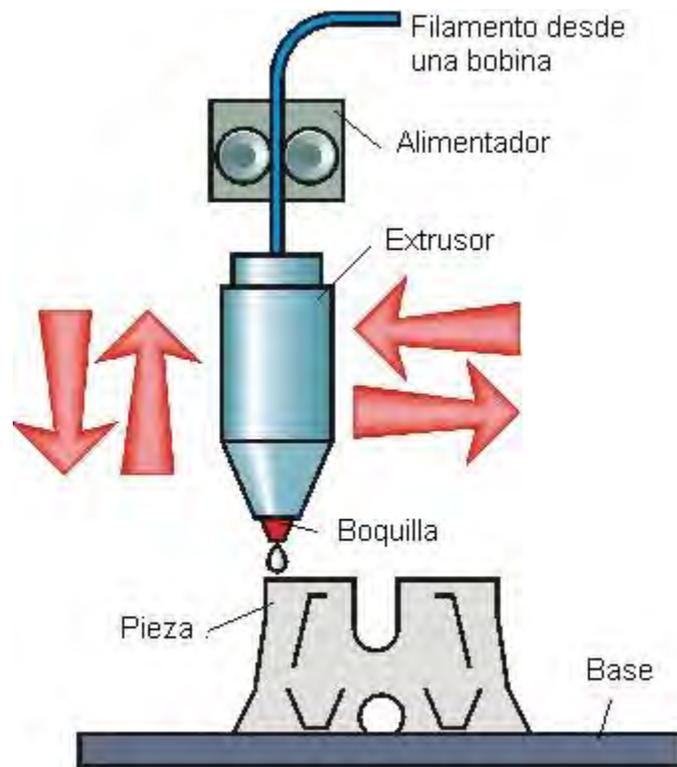


FIG III.1 Funcionamiento del Modelado por Deposición Fundida

#### Sinterizado selectivo por láser (SLS)

Consiste en la colocación de una fina capa de material en polvo en un recipiente a una temperatura ligeramente inferior a la de fusión del material. Un láser sinteriza las áreas seleccionadas causando que las partículas se fusionen y solidifiquen. Se van añadiendo y

sintetizando sucesivas capas de material hasta obtener el prototipo deseado. El polvo no solidificado actúa de material de soporte y puede ser reciclado para posteriores trabajos.<sup>[2]</sup>

### **Estereolitografía (SLA)**

Consiste en la aplicación de un haz de luz ultravioleta a una resina líquida (contenida en un cubo) sensible a la luz. La luz ultravioleta va solidificando la resina capa por capa. La base que soporta la estructura se desplaza hacia abajo para que la luz vuelva a ejercer su acción sobre el nuevo baño, así hasta que el objeto alcance la forma deseada.<sup>[2]</sup>

### **III.4 MATERIALES**

Las impresoras 3D no pueden utilizar cualquier material, hay una gran variedad para su impresión, como: transparentes, de colores, opacos, flexibles, rígidos, de alta temperatura y resistencia. Este tipo de materiales satisfacen necesidades de manera visual y táctil, además, son muy resistentes y con la fuerza necesaria que los prototipos requieren. El diseño del producto finalizado dará paso a escoger el material que se deba utilizar, la impresora y el proceso por el cual se imprimirá.<sup>[2]</sup>

Dentro de los materiales que más se usan están los que simulan plásticos de ingeniería, llamados filamentos, como PLA y ABS. El filamento PLA es un ácido poliláctico, biodegradable y está derivado del maíz. Tiene múltiples colores incluyendo su color natural, dentro de ellos existen colores translucidos y limitados. El ABS es barato y con buena terminación, el material adecuado para prototipado, que requieren una alta resistencia al impacto y golpes demasiado fuertes, este filamento también incluye una amplia variedad de colores. Los materiales ABS, pueden encontrarse diversos colores como rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, morado, blanco, gris, negro, color natural del filamento, entre otros.<sup>[2]</sup>

Otro material es la Resina. Ofrece una mayor resolución que ABS, simulan plásticos estándar que están hechos de polipropileno y son perfectos para modelos que necesiten de dureza, flexibilidad y resistencia, como: juguetes, cajas de batería, piezas de automóvil y contenedores.<sup>[2]</sup>

### **III.5 FILAMENTO ABS**

El filamento ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) es un termoplástico derivado del petróleo muy resistente al impacto, se trata de un plástico duro y rígido con resistencia a la abrasión. El ABS se puede mecanizar, pulir, lijar, agujerear, pintar, pegar y ensamblar, hay tratamientos para suavizar la superficie de las capas dando un buen acabado lo que lo hace un excelente material para los procesos de fabricación industrial.<sup>[2]</sup>

#### **Ventajas:**

Muy estable a altas temperaturas (Apróx. 80 °C – 90 °C).

Conserva la tenacidad a temperaturas extremas (-40 °C hasta 90 °C). La mayoría de los plásticos no tienen esta capacidad.

Alta capacidad de mecanizado: se puede lijar, perforar...

Resistente a ataques químicos.

Muy resistente a los impactos.

**Desventajas:**

Es necesaria cierta experiencia en impresión 3d.

Dificultad de impresión media “dependiendo del objeto que se trate”.

Contracción entre capas más rápida que el PLA, pudiendo resquebrajarse la pieza si las condiciones del entorno son demasiadas frías.

**CAPITULO**  
**IV. DISEÑO Y MANUFACTURA DE LA**  
**BOMBA PERISTÁLTICA**

## IV.1 INTRODUCCIÓN

Antes de comenzar a hablar sobre parámetros de diseño de la llamada bomba peristáltica, es prudente mencionar como nace este proyecto.

El ingeniero Armando Morales solicita como requisito para acreditar la materia de máquinas de desplazamiento positivo un proyecto que vaya de acuerdo con los temas estudiados en la materia. Posteriormente se estudian los temas y se toma la decisión de diseñar una bomba peristáltica.

## IV.2 REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

Antes de comenzar cualquier proceso de diseño es necesario conocer las necesidades del proyecto. En la tabla IV.1 se pueden encontrar dichas necesidades, así como su nivel de importancia asignado.

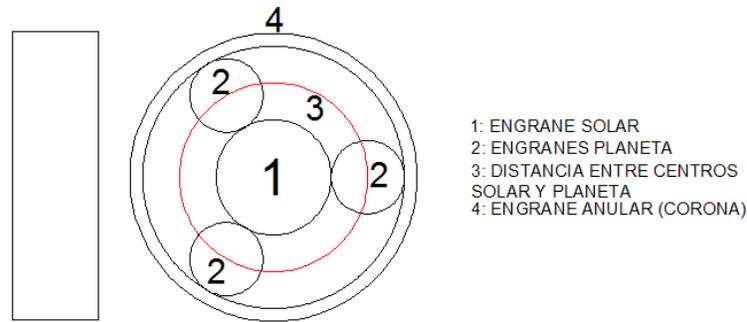
<b>REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO</b>		
<b>Proyecto: Bomba peristáltica</b>		
<b>No.</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Importancia</b>
1	Que la bomba sea funcional y capaz de desplazar agua	Alta
2	Que la bomba sea de tamaño reducido	Media
2	Que la bomba sea de bajo costo	Alta
3	Que la bomba se manufacture con impresión 3D	Alta
4	Que la bomba sea fácil de operar	Media
5	Que la bomba sea fácil de ensamblar	Media
6	Que la bomba sea visualmente estética	Baja

**TABLA IV.1** Requerimientos del proyecto

## IV.3 DISEÑO (PRIMERA ITERACION)

El diseño de la bomba, en su primera iteración parte del dibujo del sistema de los cilindros primitivos que describen el tren de engranes planetarios con el cual funcionará la bomba peristáltica.

Como se puede observar en la figura IV.1, el plano carece de dimensiones concretas, es por esto que el primer paso será dimensionar el prototipo.



**FIG IV.1 Plano del prototipo de la bomba peristáltica**

Primeramente, se dimensionarán los engranes, ya que de éstos dependen las dimensiones de las partes restantes de toda la máquina. Para dimensionar los engranes, se tomarán en cuenta las necesidades principales del proyecto. En la tabla IV.2 se muestran las dimensiones del prototipo del mecanismo.

<b>Dimensión</b>	<b>Valor en el prototipo</b>	<b>Justificación</b>
Número de engranes planeta	3	Obtener un caudal que no se note pulsátil
Número de dientes de corona	25	Obtener un correcto funcionamiento de los engranes
Número de dientes de engrane sol	11	
Número de dientes de engranes planetas	7	
Diámetro exterior de corona	10 cm	Responde el requerimiento número dos del proyecto
Diámetro interior de corona	9.11 cm	
Diámetro de engrane sol	4.01 cm	
Diámetro de engranes planetas	2.55 cm	

**TABLA IV.2 Dimensiones de proyecto**

Para demostrar que el dimensionamiento del mecanismo es viable, se procede a utilizar los valores entregados al prototipo dentro de las ecuaciones (II.a), (II.b), (II.f) y (II.g).

Primero se demuestra que todos los engranes poseen un paso diametral con valores iguales para demostrar que estos podrán trabajar efectivamente entre si cuando se les transmita movimiento.

$$P_{corona} = \frac{Z_{corona}}{D_{corona}} = \frac{25}{9.11} = 2.74$$

$$P_{solar} = \frac{Z_{solar}}{D_{solar}} = \frac{11}{4.01} = 2.74$$

$$P_{planetas} = \frac{Z_{planetas}}{D_{planetas}} = \frac{7}{2.55} = 2.74$$

Como el paso diametral es igual para todos los engranes, se puede aseverar que el tren de engranes epicicloidales trabajará de forma efectiva sin verse sometido a esfuerzos presentes por un mal diseño de los engranes.

Dado que el paso diametral es igual para todos los engranes, se entiende, entonces que el módulo de los engranes será igual para todos debido a que su valor es inverso al valor del paso diametral (ver el apartado II.5). Para demostrar esto, se realizará a continuación la sustitución de los valores para todos los engranes en la ecuación (II.b).

$$M_{corona} = \frac{D_{corona}}{Z_{corona}} = \frac{9.11}{25} = 0.36$$

$$M_{solar} = \frac{D_{solar}}{Z_{solar}} = \frac{4.01}{11} = 0.36$$

$$M_{planetas} = \frac{D_{planetas}}{Z_{planetas}} = \frac{2.55}{7} = 0.36$$

Con los valores del paso diametral y el módulo de cada uno de los engranes obtenidos, se procede a comprobar la primera ley de los trenes planetarios (ecuación II.f) la cual dice que el número de dientes de la corona debe ser igual a la suma del número de dientes del engrane solar más dos veces el número de dientes del engrane planeta.

$$Z_{corona} = Z_{solar} + 2Z_{planeta}$$

Sustituyendo:

$$Z_{corona} = 11 + (2)(7) = 25 \text{dientes}$$

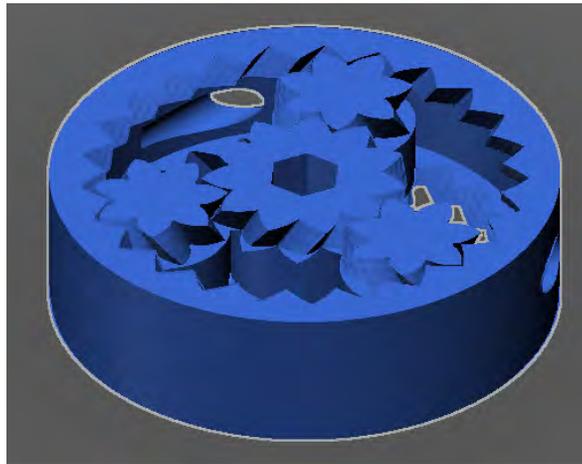
Sabiendo que el diseño del mecanismo cumple con la primera ley de engranes planetarios, se procede a verificar el cumplimiento de la segunda ley para verificar que los engranes planetarios puedan engranar en forma simultánea. Para verificar dicha ley, a continuación, se sustituirán los valores del dimensionamiento previamente establecido en la ecuación (II.g).

$$\frac{Z_{solar} + Z_{corona}}{Np} = n_1 \forall n_1 \in \mathbb{N}^+$$

Sustituyendo tenemos:

$$\frac{11 + 25}{3} = 12$$

Dado que el resultado da un número natural entero positivo, se entiende que la segunda ley de los engranes planetarios se cumple para el caso del mecanismo de la bomba peristáltica, por lo tanto, se procede a realizar un modelo en tres dimensiones del tren de engranes planetarios con el apoyo de un software de diseño en 3d. La imagen IV.2 muestra una vista isométrica del diseño final del tren de engranes tal y como se diseñó para este proyecto.



**FIG IV.2 Modelado 3d de tren de engranes planetarios para bomba peristáltica**

#### IV.4 MANUFACTURA (PRIMERA ITERACION)

Una vez que se terminó el diseño del mecanismo, se realizó la impresión en 3d del prototipo.

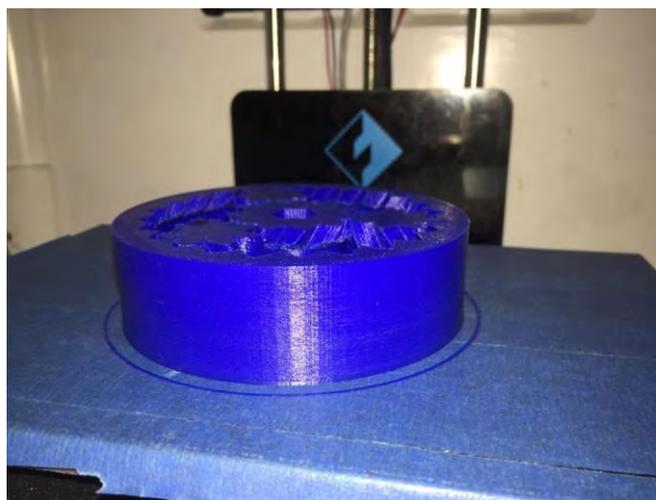
Para la manufactura del mecanismo se contrataron los servicios de una empresa dedicada a realizar impresiones de modelados en tres dimensiones, se decidió que la pieza seria elaborada con plástico ABS, esto debido a la resistencia a los esfuerzos y a la fricción que este material es capaz de soportar. En las figuras IV.2, IV.3 y IV.4 se puede apreciar el mecanismo finalizado.



**FIG IV.3** Vista lateral de tren de engranes planetarios



**FIG IV.4** Acercamiento al tren de engranes planetarios



**FIG IV.5** Tren de engranes planetarios en etapa final de impresión

## IV.5 PRUEBAS (PRIMERA ITERACION)

Una vez que se tenía la pieza impresa, se verificó su funcionamiento mediante una prueba transmitiéndole movimiento al engrane solar, manteniendo fija la corona. Sin embargo, cuando al mecanismo se le hacía la prueba en una posición vertical, los engranes se desplazaban dentro de la corona dando como resultado que los engranes planetas se atascaran. Esto significaba un riesgo para el mecanismo, ya que podría sufrir roturas la corona si se les transmitía potencia a altas velocidades o con o un torque considerable. Dada esta situación, se decidió que el tren de engranes debería trabajar en una posición horizontal, por lo tanto, se debía diseñar un mueble que fuera adecuado para que la máquina funcionara adecuadamente.

Para evitar movimientos indeseados de los engranes, se decidió mantener cubierto el tren de engranes con dos placas, sin embargo, estas no deberían de provocar pérdidas de energía en forma de calor, ni provocar un aumento de carga para el medio de transmisión debido a fricción excesiva de los engranes con las placas.

Antes de llegar a una decisión definitiva, se tomaron en cuenta diferentes materiales para las placas que cubrirían el tren epicicloidal, estos fueron:

- Dos placas de metal. Sin embargo, no se podría ver a través de ellas el funcionamiento del mecanismo, sería de alto costo y la fricción dentro del mecanismo podría generar pérdidas en forma de calor.
- Dos placas de madera. Sin embargo, no se podría ver a través de ellas el funcionamiento del mecanismo y la fricción entre las piezas móviles y la madera podrían generar mucho roce que se traduciría en la necesidad de imprimir más potencia por medio de la transmisión.
- Dos placas de acrílico. Sin embargo; estas podrían no soportar la fricción y se desgastarían más rápido.

Al final se decidió utilizar dos placas de cristal de 6 mm de grosor; esto con la finalidad de poder ver el mecanismo trabajando, aparte de que el cristal se puede lubricar para evitar fricción y no es buen conductor de calor. Entonces se adquirieron dos placas de (11 \* 11 \* 0.6) cm para poder encerrar el mecanismo. Estas placas fueron perforadas en las 4 esquinas para sujetarlas entre sí con tornillos y una de ellas se perforó en el centro para dar paso a la flecha transmisora de potencia.

Luego fue necesario buscar un elemento que fuera posible utilizar como flecha para transmitir la potencia al mecanismo. Era necesario encontrar un elemento que tuviera una forma hexagonal debido a que la entrada para el acoplo del medio de transmisión en el engrane solar posee dicha geometría. Después de un proceso de selección se optó por utilizar un tornillo hexagonal de  $3/16'' * 2 \frac{1}{2}''$ .

Después fue necesario buscar un método de transmisión de potencia. Para esto se tenía pensado utilizar un motor de 12 V c.d. pero, este motor no contaba con el torque necesario para llevar a cabo el trabajo. Así que se optó por utilizar un taladro destornillador SKILL 2355 inalámbrico de torque y velocidad variable.

Para poder utilizar el taladro como fuente de transmisión, se le retiró la batería y se soldaron cables con cautín y soldadura para poder conectarlos a un eliminador, de esta manera fue posible tener conectada la máquina a una toma de corriente de valores nominales y que fueran transformados a 12 Vc.d. con 3 Ac.d. Dicha conexión se complementó con un switch para que no fuera necesario conectar y desconectar la maquina entre usos.

En la segunda iteración de diseño se realizaron las modificaciones y acondicionamientos necesarios para resolver los problemas presentados en la primera iteración de pruebas.

#### IV.6 DISEÑO (SEGUNDA ITERACION)

El primer problema que se solucionó fue el del movimiento indeseado de los engranes dentro del tren. Para darle solución se sellaron los engranes dentro de dos placas de cristal de 6mm de grosor. Las modificaciones de las placas parten del dibujo (figura IV.5) del diseño tentativo de las mismas.

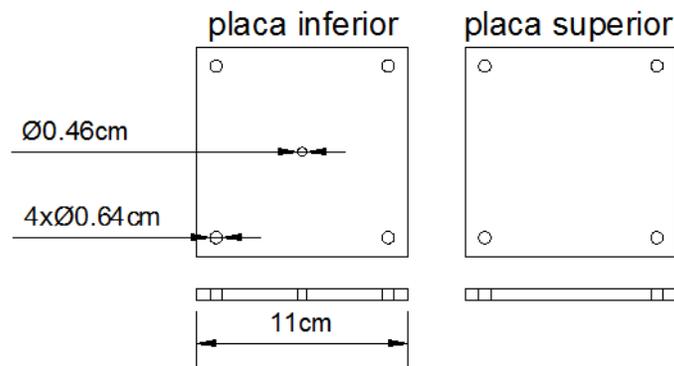


FIG IV.6 Dibujo de placas de cristal

Cuando se tuvo el tren de engranes ajustado entre ambas placas de cristal, solo hacía falta adaptar un mueble que fuera capaz de sostener el tren de engranes el taladro que se utilizaría como medio de transmisión. Para realizarlo, primero se elaboró un dibujo, para asegurar que las dimensiones fueran correctas. Este diseño puede visualizarse en las figuras IV.6, IV.7, IV.8 y IV.9.

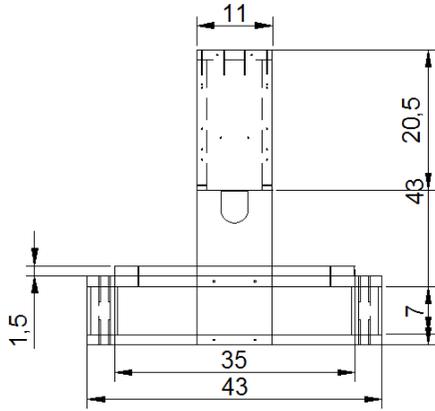


FIG IV.7 Vista frontal del mueble

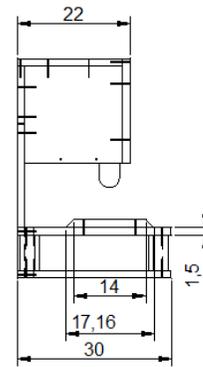


FIG IV.8 Vista lateral del mueble

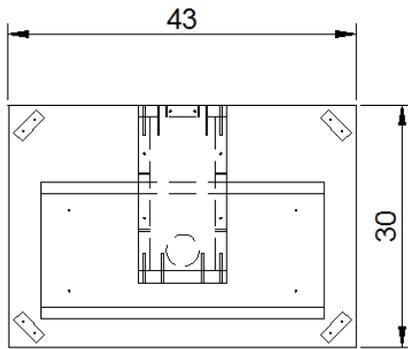


FIG IV.9 Vista superior del mueble

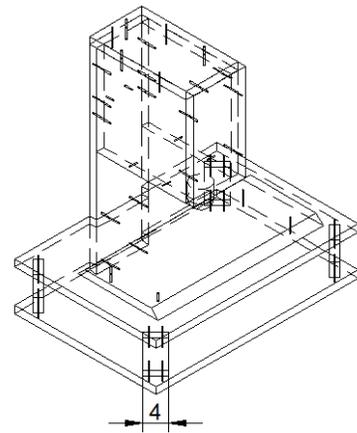


FIG IV.10 Vista isométrica del mueble

Cotas en cm.

#### IV.7 MANUFACTURA (SEGUNDA ITERACION)

Lo siguiente fue manufacturar el mueble que serviría para ensamblar todos los elementos de la máquina. Este diseño contemplaba un soporte para la bomba, y un soporte perpendicular para el taladro que funcionaría como método de transmisión de potencia.

Después se utilizó una tabla de fibra de media densidad (MDF) para realizar el mueble, esto se realizó utilizando una caladora para los cortes pertinentes del diseño de la máquina. En la figura IV.10 se puede apreciar el proceso de corte.



**FIG IV.11 Proceso de corte de MDF**

Una vez que se tuvieron todas las partes cortadas con las dimensiones requeridas por el plano del diseño, se procedió a ensamblarlas con la ayuda de un taladro con una broca de 1/8" para que funcionara como una guía para el paso de las pijas que de utilizarían para ensamblar todo el mueble, estos barrenos se realizaron taladrando con un ángulo que no fuera completamente recto para garantizar una mejor unión de los elementos. Estos barrenos se complementaron con avellanados realizados con una broca de 1/2" para que las pijas se mantuvieran fijas al MDF. Al diseño se le anexaron cuatro topes para puerta de hule que funcionan como patas para el mueble.

Debido a que el taladro cuenta con dos botones para hacer un cambio de sentido del giro, se colocaron dos taquetes de madera de 1/4" para que funcionen como pulsadores externos en el mueble, esto para facilitar la operación de cambio de giro del taladro transmisor. El taladro fue fijado en su posición con cuatro pijas para evitar movimientos indeseados.

Para accionar el taladro una vez que este reciba corriente, se le fijó un tornillo al gatillo y luego se le acopló a la cabeza de dicho tornillo una armella tipo "L" de 3/16" \* 4", esto último para que conforme el tornillo se haga paso a través de su posición, se pudiera realizar el cambio de velocidad del taladro. En la figura IV.11 se puede apreciar la ubicación en la cual fue colocado el taladro.



**FIG IV.12 Taladro presentado en su ubicación**

Por último, se fijó el tren de engranes y se le insertó un tubo flexible de hule látex dentro de las ranuras diseñadas en el mecanismo. La máquina finalizada fue modificada después, únicamente con mejoras estéticas que no afectan la operación. En las figuras IV.12, IV.13, IV.14 y IV.15 se puede observar las vistas de la bomba peristáltica finalizada.



**FIG IV.13 Vista posterior de la bomba peristáltica**



**FIG IV.14 Vista lateral de la bomba peristáltica**



**FIG IV.15 Vista superior de la bomba peristáltica**



**FIG IV.16 Vista frontal de bomba peristáltica**

#### **IV.8 PRUEBAS (SEGUNDA ITERACION)**

Con la bomba fabricada en su totalidad, se realizó una siguiente iteración de pruebas para comprobar que el funcionamiento de esta fuera el correcto y poder medir el caudal real que la bomba es capaz de entregar.

La primer prueba se realizó desplazando agua; sin embargo, debido a la fricción presentada entre los engranes y el tubo flexible, los cuales están compuestos por plástico ABS y un elastómero respectivamente, se obtuvo como resultado, en tres ocasiones, que el tubo flexible se rompiera, lo cual deja el antecedente de que: a pesar de que se logró el objetivo de integrar la tecnología de impresión 3D a la bomba peristáltica, la fricción entre los componentes provoca un desgaste excesivo en el tubo flexible. Este problema se solucionó mediante el uso de grasa lubricante para poder reducir el desgaste por fricción entre los componentes de la bomba; sin embargo, para poder mantener la bomba protegida de desgaste, es necesario repetir la operación de lubricación cada vez que la bomba sea operada, el uso de grasa lubricante derivó en una pérdida de energía por fricción despreciable al mantener 480 rpm de velocidad angular en el engrane sol al trabajar en vacío, al igual que trabajando con carga. Estas revoluciones fueron medidas con el uso de un tacómetro en todas las pruebas realizadas a la bomba.

El área de oportunidad de la fricción entre componentes deja una ventana abierta para aplicar re-ingeniería a la máquina y poder mejorar el mecanismo en futuras iteraciones de diseño que estén orientadas a la mejora de tiempo de vida de las piezas de la bomba.

#### **IV.9 MEDICIÓN DEL CAUDAL REAL**

Seguidamente de que se comprobó que la máquina era capaz de desplazar el agua, se dio lugar a la medición del caudal que la bomba entrega; para realizar las mediciones, se dio

uso a un recipiente graduado y se midió la entrega de líquido en intervalos de sesenta segundos para poder expresar las unidades de entrega de líquido en (ml/min).

Con la realización de pruebas para el cálculo del caudal, se obtuvo una media de **281.23 ml/min**; sin embargo, para fines de cálculo, se redondeará a partir de este punto: considerando el caudal medido con un valor de 281 ml/min.

#### IV.10 ANÁLISIS DE VELOCIDADES DEL MECANISMO

El análisis necesario para comprender los fenómenos que provocan el caudal obtenido con mediciones, es igualmente necesario para utilizar como herramienta si se desea diseñar una máquina similar con dimensiones diferentes. A continuación, se explica paso a paso como es que esta bomba fue diseñada.

Para el análisis partimos de los valores ubicados en la tabla IV.2, teniendo en cuenta que el motor elegido para hacer funcionar la bomba transmite al engrane sol una velocidad de 480 rpm.

Entonces:

Diámetro de engrane solar ( $D_{solar}$ ) = 4.01cm

Diámetro de los engranes planetas ( $D_{planeta}$ ) = 2.55cm

Número de dientes del engrane solar ( $Z_{solar}$ ) = 11

Número de dientes de los engranes planetas ( $Z_{planetas}$ ) = 7

Número de dientes de la corona ( $Z_{corona}$ ) = 25

Velocidad angular del engrane solar ( $\omega_{solar}$ ) = 480rpm

Paso diametral ( $P_d$ ) = 2.74

A partir de estos valores calculamos la velocidad angular existente entre el centro de los engranes planetas con respecto al centro del engrane solar, dicha velocidad angular sería la velocidad angular que tendría el cuerpo porta planetas si este estuviera presente en el sistema de engranes planetarios de la bomba peristáltica. Para calcular la velocidad angular entre centros de los engranes se utiliza la fórmula (II.m)

$$\frac{\omega_1}{\omega_3} = 2\left(1 + \frac{Z_2}{Z_1}\right) \quad \text{ó} \quad \frac{\omega_1}{\omega_3} = \left(1 + \frac{Z_4}{Z_1}\right)$$

Modificando subíndices para caso particular:

$$\frac{\omega_{sol}}{\omega_{centros}} = 2\left(1 + \frac{Z_{planetas}}{Z_{sol}}\right) = \left(1 + \frac{Z_{corona}}{Z_{sol}}\right)$$

Sustituyendo valores para caso de engranes planetas y engrane sol y resolviendo el lado derecho de la ecuación:

$$\frac{480rpm}{\omega_3} = \frac{36}{11}$$

Despejando la velocidad angular de los centros y resolviendo se tiene:

$$\omega_{centros} = 146.66rpm = 15.36 \frac{rad}{seg}$$

Esta cantidad significa que cada minuto transcurrido, cada uno de los engranes planeta girara 146.66 veces alrededor del engrane solar. Para demostrar la veracidad de este cálculo se hará una demostración matemática por medio de un análisis de velocidades de los engranes.

Se comienza por calcular (o medir) el radio de la circunferencia formada por el desplazamiento circular de los centros de los engranes planetas, esto se calcula utilizando las ecuaciones II.d y II.e , cualquiera de las dos proporciona el valor buscado. Para el caso particular utilizaremos la ecuación II.d

$$R_3 = R_1 + R_2 = \frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{Z_1 + Z_2}{2P_d} = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2}$$

Modificando subíndices para caso particular:

$$R_{centros} = R_{sol} + R_{planeta} = \frac{D_{sol} + D_{planeta}}{2} = \frac{Z_{sol} + Z_{planeta}}{2P_d} = \frac{m(Z_{sol} + Z_{planeta})}{2}$$

Sustituyendo valores sin tomar en cuenta los valores de los radios de los engranes:

$$R_{centros} = \frac{4.01 + 2.55}{2} = \frac{11 + 7}{2(2.74)} = \frac{0.365(11 + 7)}{2}$$

Resolviendo para cada uno de los casos:

$$R_{centros} = (3.28 = 3.28 = 3.28) \text{ (cm)}$$

A partir del valor obtenido, se realiza el cálculo del perímetro de la circunferencia que se traza con los centros de los engranes planetas cuando estos giran alrededor del engrane sol.

$$\text{Circunferencia recorrida} = 2\pi R_{centros}$$

Sustituyendo y resolviendo:

$$2\pi R_{centros} = 2\pi(3.28\text{cm}) = 20.60\text{cm}$$

Después se realiza el cálculo de la velocidad tangencial de los engranes planetas, esta velocidad representa el desplazamiento lineal por unidad de tiempo en el recorrido de los engranes planetas a través de la circunferencia dibujada por los centros de estos mismos. La velocidad tangencial de los engranes planeta se calcula mediante la ecuación II.h

$$\bar{v}_3 = (-\omega_3 \hat{i}_z) \times (R_3 \hat{i}_r) = -\frac{(Z_1 + Z_2)\omega_3}{2Pd} \hat{i}_t$$

Dado que los signos negativos y los vectores determinan el sentido de giro, estos serán despreciados en la ecuación.

Modificando subíndices y despreciando vectores para caso particular:

$$\bar{v}_{engranes} = (\omega_{centros})(R_{centros}) = \frac{(Z_{sol} + Z_{planeta})\omega_3}{2Pd}$$

Sustituyendo valores para velocidad angular multiplicada por el radio de centros:

$$\bar{v}_{engranes} = \left(15.36 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}\right)(3.28\text{cm})$$

Resolviendo:

$$\bar{v}_{engranes} = 50.38 \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$$

Para calcular la cantidad de vueltas que dará un engrane planeta alrededor del sol, primero se debe determinar el tiempo que le toma a cada engrane planeta dar una vuelta en su órbita alrededor del engrane solar de la siguiente manera:

$$\frac{20.60\text{cm}}{50.38\frac{\text{cm}}{\text{seg}}} = 0.4089\text{seg}$$

Esto nos indica que cada engrane planeta tarda 0.4089 segundos en dar una vuelta alrededor del engrane solar, por lo tanto:

$$\text{Vueltas por minuto} = \frac{60}{0.4089} = 146.73$$

$$146.73 \approx 146.66$$

#### IV.11 CÁLCULO DEL CAUDAL TEORICO DE LA BOMBA PERISTALTICA

Para el cálculo del caudal teórico de la bomba peristáltica, se debe conocer la geometría del tubo flexible, y dado que el tubo flexible, durante el tiempo que la máquina este funcionando se mantendrá fijo al diámetro interno de la corona, también es necesario conocer la geometría del sistema de engranes. Por lo tanto, para comenzar el calculo del caudal teórico, se calculan el volumen confinado entre cada par de engranes, a esta cantidad le llamaremos a partir de ahora: segmento de la bomba.

Primero es necesario conocer el área transversal del tubo flexible cuyo diámetro externo es de 5mm y el diámetro interno de 3mm. En este caso el área a través de la cual circulará el fluido, es el área que comprende el diámetro interno del tubo flexible.

$$A = \frac{(\pi)(d)^2}{2} = \frac{(\pi)(0.3\text{cm})^2}{4} = 0.0707\text{cm}^2$$

Posteriormente, se multiplica el área transversal del tubo flexible por la longitud que comprende el espacio entre engranes planetas, dicho producto será definido como segmento de la bomba (L).

$$L = (0.0707\text{cm}^2)\left(\frac{(\pi)(9\text{cm})}{3}\right)$$

$$L = (0.0707\text{cm}^2)(9.4248\text{cm})$$

$$L = 0.6663\text{cm}^3$$

Dado que dicho volumen se desplaza tres veces por cada vuelta que los engranes planeta dan alrededor del engrane solar, el segmento debe ser multiplicado por tres para obtener la cantidad de volumen de liquido desplazado por cada rotación de los engranes, a esta cantidad le llamaremos volumen unitario ( $V_u$ ).

$$V_u = L \times 3 = 1.9989 \text{ cm}^3$$

Por último, calculamos el caudal teórico de la bomba mediante el producto del volumen unitario por la cantidad de vueltas por minuto calculadas en capítulo anterior. Dado que un centímetro cubico es igual a un mililitro, por definición, el caudal será expresado en ml/min.

$$Q_t = (146.66) (1.9989) = 293.1587 \text{ ml/min}$$

#### IV.12 CÁLCULO DEL RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO DE LA BOMBA

Para realizar el calculo del rendimiento volumétrico de la bomba, el cual representa el porcentaje de flujo que se tiene disponible para realizar un trabajo, respecto al flujo teórico que por construcción la bomba debería suministrar, se dará uso a la formula I.f vista en el capítulo primero de la presente tesis.

$$\eta_v = \frac{Q_r}{Q_t} \times 100$$

$$\eta_v = \frac{281 \frac{\text{ml}}{\text{min}}}{293.1587 \frac{\text{ml}}{\text{min}}} \times 100$$

$$\eta_v = 95.85\%$$

## CONCLUSIONES:

Al término de este proyecto se presentaron, de acuerdo con los objetivos de esta tesis, el proceso detallado para el diseño y la manufactura de una bomba peristáltica.

Primeramente, se explicaron los conceptos básicos necesarios para conocer las bombas de desplazamiento positivo, dando énfasis en las bombas rotatorias. De igual forma, se dieron a conocer los conceptos correspondientes a la impresión 3D, seguido de los conceptos necesarios para comprender el funcionamiento de un tren de engranes epicicloidales.

El diseño de la bomba es realizado con base en los requerimientos expuestos en esta tesis, comenzando por el dimensionamiento geométrico del prototipo para después realizar un modelo haciendo uso de software para el dibujo asistido por computadora, también conocido como CAD.

Una vez finalizado el dimensionamiento geométrico del prototipo, se procedió a realizar el análisis de velocidades del sistema de engranes el cual tiene una relación directa con el cálculo del caudal de la bomba peristáltica, este proceso de análisis sirve como una “receta de cocina” para poder replicar el prototipo con el mismo o con distinto dimensionamiento.

Al finalizar el análisis y con el conocimiento necesario para la realización de un prototipo, se comienza el proceso de manufactura por adición de material el cual es relativamente novedoso y deja fuera la intervención humana.

A pesar del reciente desarrollo de la ingeniería de impresión 3D, los procesos de diseño y manufactura no se encuentran exentos de tener ciertos errores, mismos que se hacen presentes una vez que se prueba el prototipo.

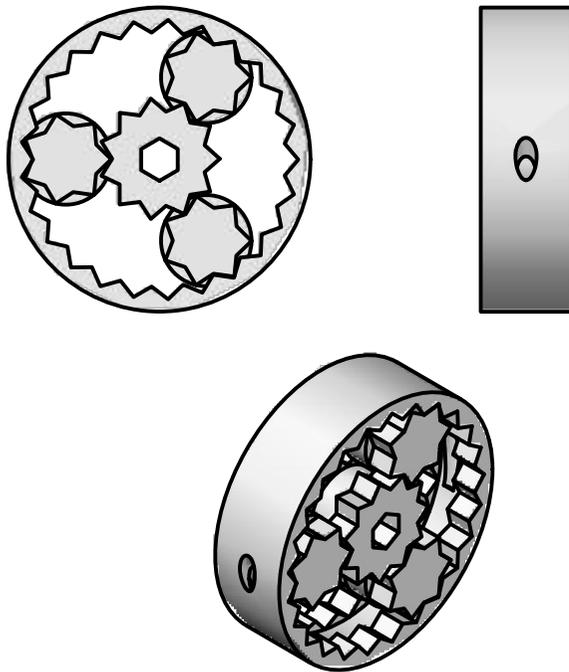
Este es un claro ejemplo de que los procesos de diseño ingenieriles son iterativos y que en la medida en que se consideren mayor número de variables en el diseño, menor será el número de iteraciones que se deban realizar.

En el apéndice A se muestran los diagramas que muestran el dimensionamiento y la apariencia física de la bomba.

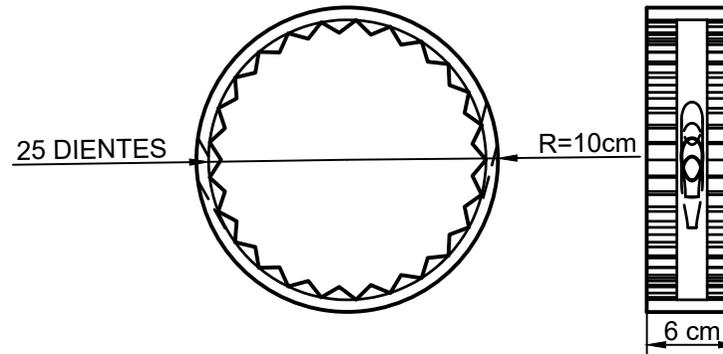
A pesar de que el resultado de este trabajo cumple ampliamente con los objetivos planteados, aún existen áreas de oportunidad para mejorar las propiedades de la bomba peristáltica y para estudiar aspectos de la bomba que puedan extender este trabajo de tesis para ampliar la bibliografía ofrecida por la biblioteca de la facultad.

## ANEXO A: DIAGRAMAS DEL PROTOTIPO

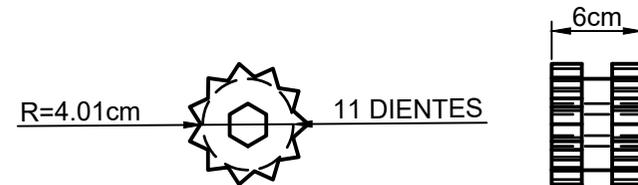
## VISTAS DEL MECANISMO



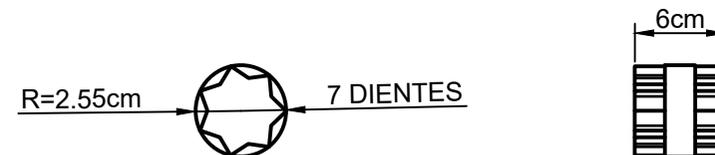
## CORONA



## ENGRANE SOLAR



## ENGRANE PLANETA



Nombre: Plano de Mecanismo

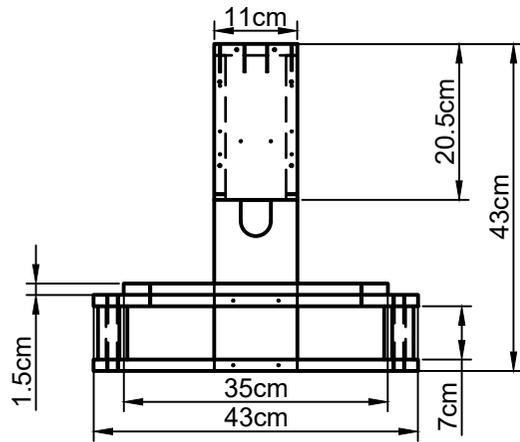
Elaboró: Carlos A. De Prada L.

Revisó: M. en I. Armando Morales

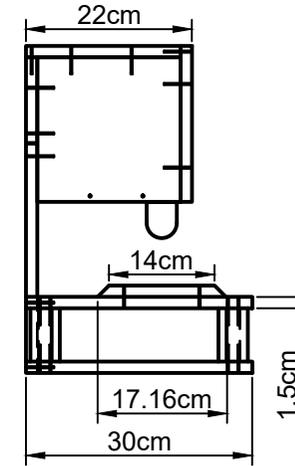


Cotas: cm

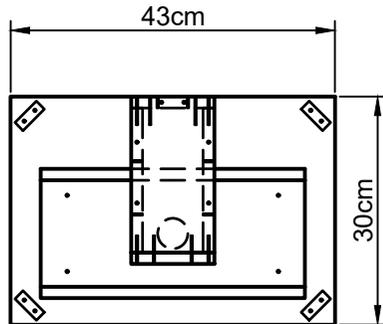
VISTA FRONTAL



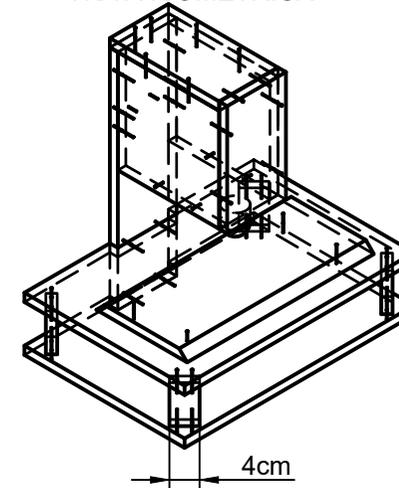
VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



VISTA ISOMÉTRICA



Nombre: Vistas Mueble de Máquina

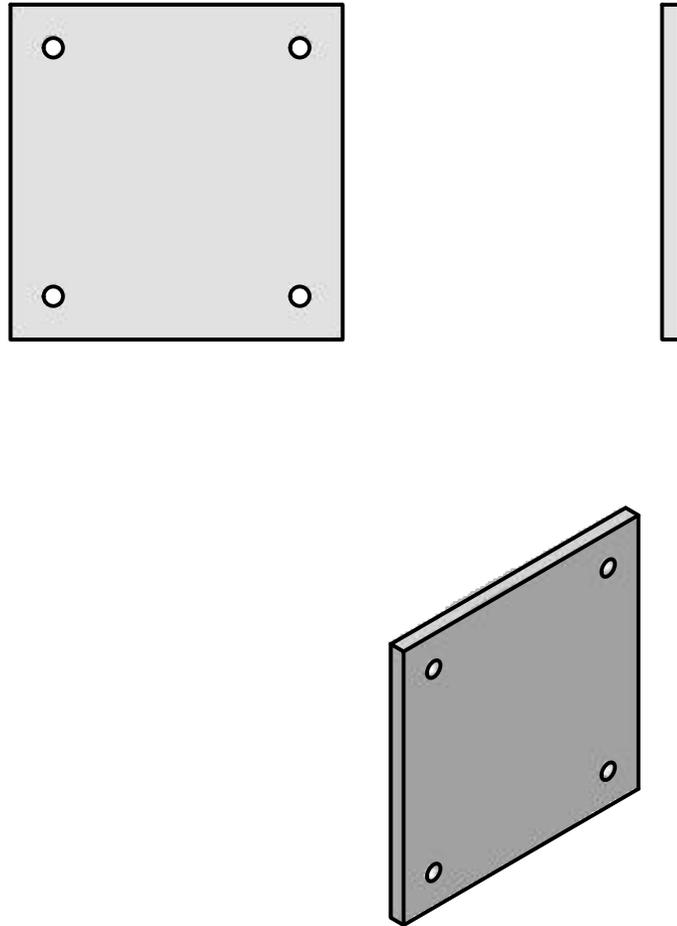
Elaboró: Carlos A. De Prada L.

Revisó: M. en I. Armando Morales

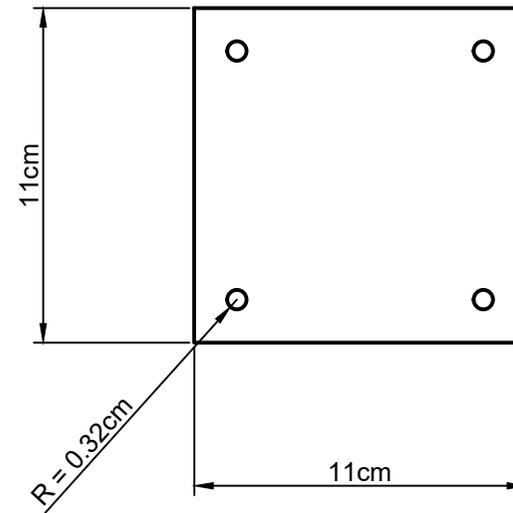


Cotas: cm

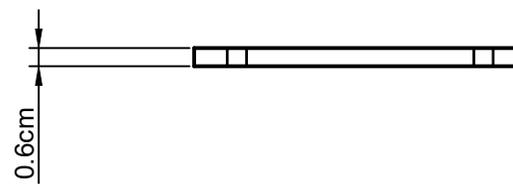
### VISTAS DE LAS TAPAS



### VISTA SUPERIOR



### VISTA LATERAL



Nombre: Vistas Tapa de Cristal

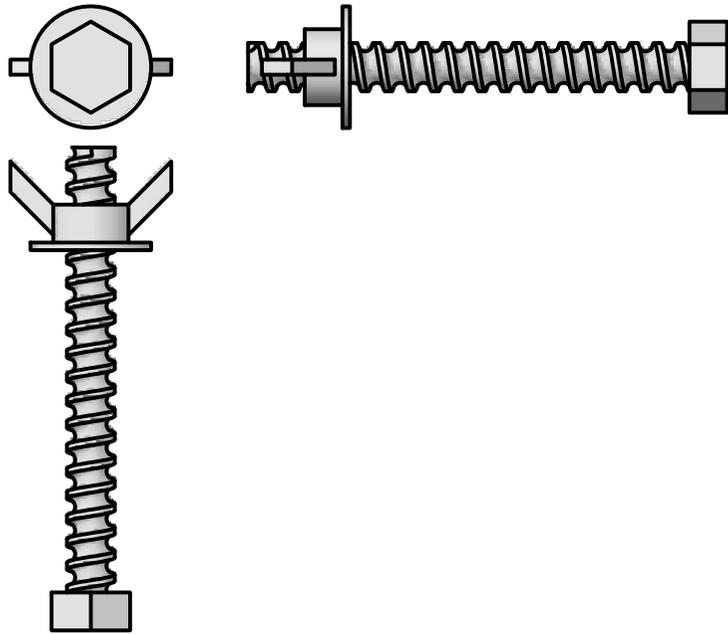
Elaboró: Carlos A. De Prada L.

Revisó: M. en I. Armando Morales

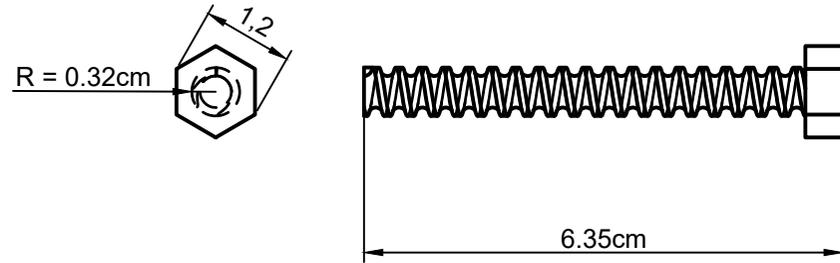


Cotas: cm

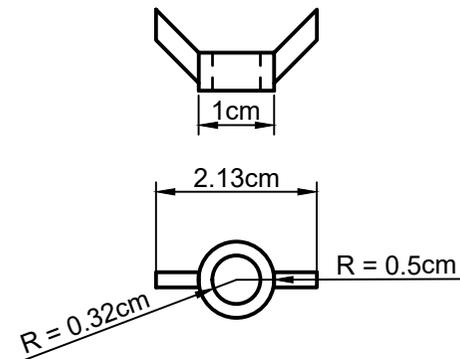
### VISTAS DEL CONJUNTO



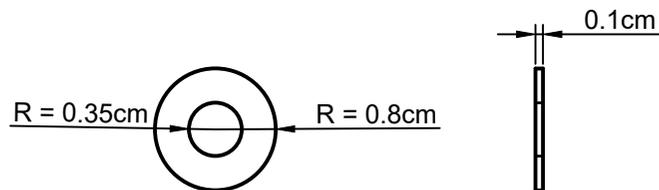
### VISTAS DEL TORNILLO



### VISTAS DE LA TUERCA MARIPOSA



### VISTAS DE LA RONDANA



Nombre: Tornilleria de Mecanismo

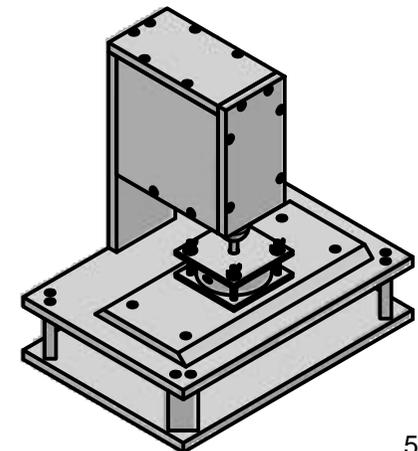
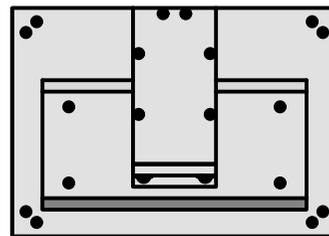
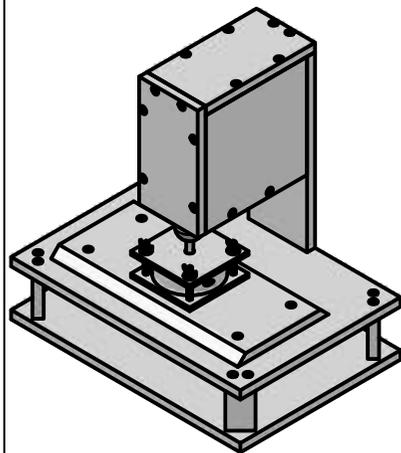
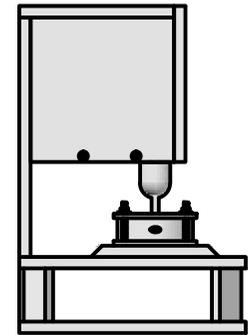
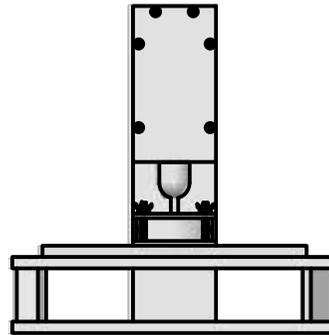
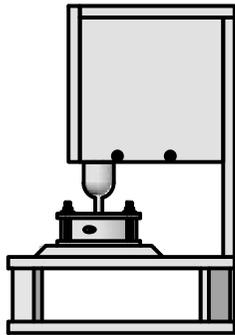
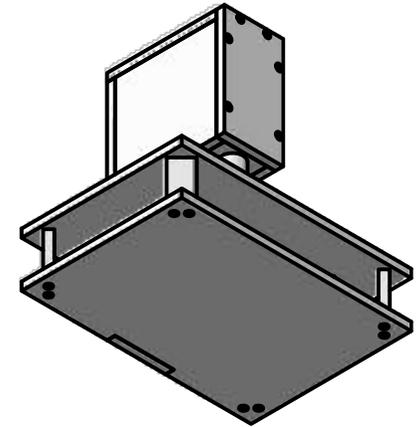
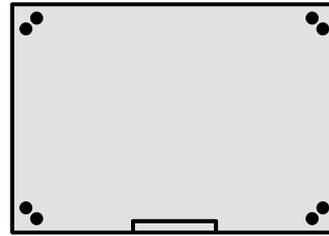
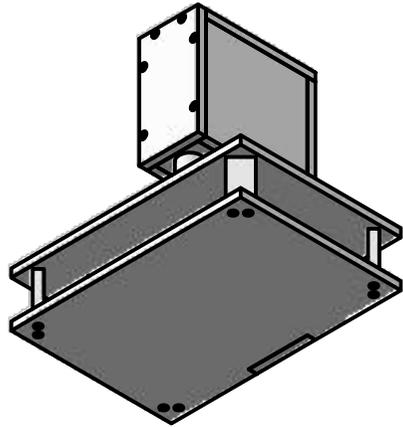
Elaboró: Carlos A. De Prada L.

Revisó: M. en I. Armando Morales



Cotas: cm

# VISTAS DE LA BOMBA PERISTÁLTICA



## REFERENCIAS

1. Angstroms, F. T. (29 de Octubre de 2004). *Introduction to the peristaltic pump*. Recuperado el 2017, de First Ten Angstroms: <http://www.firsttenangstroms.com/faq/IntroductionToThePeristalticPump.html>
2. Berchor, M., & Luyt, B. (2014). *La impresión 3D: La guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general*. Barcelona, España: Gustavo gili.
3. Bernad, B. C. (2014). *Diseño, implementación y prueba de una bomba peristáltica de alta presión y su correspondiente sistema de manguera (tesis de pregrado)*. Zaragoza, Aragón, España: Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza. Obtenido de <http://zaguan.unizar.es>
4. Conde, J. L. (11 de Marzo de 2016). *Nota de futuro 2/2016: Impresoras 3D*. Obtenido de Biblioteca GC: [https://intranet.bibliotecagc.bage.es/intranetmpl/prog/local\\_repository/documents/17854.pdf](https://intranet.bibliotecagc.bage.es/intranetmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf)
5. Dhumal, S., & Kadam, S. (4 de April de 2012). Design and development of rotatory peristaltic pumo. *International Journal of Science and advanced technology, II*. Obtenido de <http://www.ijSAT.com>
6. Díaz del Castillo Rodríguez, F. (2011). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Cuautitlán, Estado de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
7. Díaz del Castillo Rodriguez, F. (2013). *Engranajes: historia, fabricación y fallas*. Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
8. Galiano, J. J. (2014). *Estudio de un cambio de marchas por epicicloides para bicicletas (tesis de pregrado)*. Cataluña, Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
9. Mataix, C. (1982). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas* (Segunda ed.). Madrid, España: Ediciones del Castillo.
10. Myszka, D. H. (2012). *Máquinas y mecanismos* (Cuarta ed.). (A. E. Brito, Trad.) México: Pearson.
11. Pineda Campos, J. (2009). *Diseño y manufactura del prototipo de una bomba monopaleta*. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.
12. Piovan, M. (2014). *Trenes de engranajes, reductores planetarios y diferenciales. Catedra: Elementos de Máquinas*.
13. Reyes Serrano, R. (2010). *Análisis cinemático de un tren planetario pentaxial (tesis de pregrado)*. Azcapotzalco, Ciudad de México, México: Instituto Politecnico Nacional.
14. Salazar, R. R. (1999). *Manual de selección de bombas para la industria química (tesis de maestría)*. Veracruz, Veracruz, Mexico: Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana.
15. Viejo Zubicaray, M. (2011). *Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones* (Segunda ed.). México: Limusa.