



Universidad de Guanajuato  
División de Ingenierías  
Campus Guanajuato  
Departamento de Ingeniería Hidráulica

“Desarrollo de válvula de compuerta  $\frac{3}{4}$ ” motorizada de apertura variable en función de la presión para gestión de flujo: Integración con *Arduino* e impresión 3D”

### Tesis

Que para obtener el grado de Ingeniero Hidráulico

### Presenta

*Francisco López Ortiz*

### Director

Dr. Jesús Horacio Hernández Anguiano

### Codirectora

Dra. Yanmei Li

Guanajuato, Gto. a noviembre del 2019

Declaratoria

Por medio de la presente, me responsabilizo de la autenticidad y originalidad del presente trabajo titulado:

*“Desarrollo de válvula de compuerta ¾” motorizada de apertura variable en función de la presión para gestión de flujo:  
Integración con Arduino e impresión 3D”*

---

Dr. Jesús Horacio Hernández Anguiano

Miembros del jurado del examen profesional que para obtener el grado de Ingeniero Hidráulico que presenta el C. Francisco López Ortiz, con el trabajo titulado:

“Diseño de válvula de compuerta  $\frac{3}{4}$ ” motorizada de apertura variable en función de la presión para gestión de flujo: Integración con Arduino e impresión 3D”.

Presidente:

---

Secretario:

---

Vocal:

---

Suplente:

---

Guanajuato, Gto. Noviembre 2019

## Dedicatoria

*Dedico este trabajo a toda mi familia que representa mi alegría y motivación de todos los días. Gracias, mamá, papá y a mis cuatro abuelos, por dar todo en la vida para que yo pudiera cumplir con mis metas. Gracias a mis hermanos Luis y Miguel Ángel, ustedes son la razón por la que me propongo mejorar cada día. Gracias, Lalo Padrón, Paco Martín, Juan David, Jasiel Guadiana, Qingqing Dong, al Sr. David Chávez y a la Sra. Rosi Andrade, ustedes han sido mi segunda familia estando fuera de casa, gracias por todas las experiencias que hemos vividos juntos, consejo y su compañía incondicional que hacen de esta etapa un momento especial, su recuerdo siempre me acompañará.*

## Agradecimientos

*A mi director de tesis Dr. Jesús Horacio Hernández Anguiano y a la Dra. Yanmei Li, por haber confiado en mí para llevar cabo esta investigación; gracias por su interés, dedicación, y valiosos consejos; gracias por acompañarme hasta el cierre de esta etapa.*

*Al Dr. Manuel Romero, a mi tía María Elena, a mi tío Fernando Chico y a mi padrino Jesús López; gracias por su gran guía y motivación constante, a mis coordinadores la Dra. Luz Adriana y el Dr. José Miguel Soria; gracias por su gran liderazgo y apoyo, al Mtro. Tomás Zavala y al Dr. José Luis Nava; gracias por ser un grandes facilitadores de oportunidades, a la Lic. Margarita Andrade, a la Arquitecta Elsa y a la Ing. Claudia Ornelas; gracias por su esfuerzo diario y gran apoyo a los alumnos, a la Mtra. Josefina y al Contador Francisco Razo; gracias por su guía de innovación y emprendimiento, a los Ingenieros del área de Agua Potable de la Comisión Estatal del Agua; gracias por sus grandes enseñanzas, a Ricardo Mirón, a Rodolfo Ferro y los chicos de Future Lab; gracias por su gran motivación para el aprendizaje de nuevas tecnologías, a Mason Parish, a Guillaume Dan; gracias por su constante apoyo a distancia, a Antonio Vázquez, a Francisco Pastrano y a Raúl González; gracias por ser mi ejemplo deportivo y de esfuerzo constante, a todos mis profesores de la División de Ingenierías y compañeros de la licenciatura, que, gracias a sus conocimientos, consejos y colaboración pudieron enriquecerme.*

*Pero sobre todo a todos mis familiares y amigos cercanos, por estar hasta el final en esta etapa profesional.*

# Contenido

---

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1    Simulador de lluvia.....	1
1.2    Automatización .....	2
1.3    Objetivo .....	2
1.3.1    Objetivos particulares del proyecto de investigación.....	2
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1    Función de las válvulas.....	3
2.2    La impresión 3D.....	6
2.2.1    Ventajas de la impresión 3D frente a la fabricación tradicional .....	7
2.2.2    El prototipado rápido.....	7
2.2.3    El origen de la fusión por filamento fundido .....	8
2.2.4    Características de la impresión por fusión de filamento fundido.....	9
2.3    Impresoras.....	11
2.4    Materiales de impresión.....	19
2.4.1    Los plásticos en la impresión 3D-FMD/FFF .....	19
2.4.2    ABS .....	20
2.4.3    PLA.....	20
2.4.4    ASA .....	21
2.4.5    PET .....	22
2.4.6    PC o Policarbonato.....	22
2.4.7    Materiales flexibles .....	23
2.4.8    Fibras de carbono.....	24
2.4.9    Materiales híbridos.....	24
2.4.10    Los materiales solubles .....	25
2.5    Calidad en la impresión .....	27
2.6    Futuros usos de la impresión 3D.....	27
2.7    Alimentos impresos en 3D .....	31
2.8    Softwares para diseño 3D.....	32
2.8.1    AutoCAD.....	32
2.8.2    Solid Works .....	32
2.8.3    Rhinoceros .....	33
2.8.4    Autodesk Inventor .....	34

2.9	Automatización con Arduino.....	34
2.9.1	Microcontrolador .....	35
2.9.2	Sensores.....	36
2.9.3	Sistemas fin de carrera .....	37
2.9.4	Motorreductores .....	39
CAPITULO 3.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	40
3.1	Diseño del sistema de engranajes y caja de integración .....	40
3.1.1	Dimensionamiento del sistema de engranajes .....	40
3.1.2	Software para diseño de engranajes.....	42
3.1.3	Diseño 3D de engranajes y caja de integración .....	45
3.2	Impresión 3D.....	47
3.2.1	Exportar de Rhinoceros a formato de impresión .....	48
3.2.2	Preparación de impresión .....	48
3.2.3	Configuración de impresora Raise 3D N2 plus.....	52
3.3	La automatización con Arduino .....	56
3.3.1	Motorreductor.....	56
3.3.2	Sensor de presión.....	57
3.3.3	Botones de paro general.....	58
3.3.4	Control por PID (Algoritmo proporcional, integral y derivativo) .....	58
3.4	Desarrollo experimental .....	59
CAPITULO 4.	RESULTADOS.....	60
4.1	Diámetros finales de los engranes .....	60
4.2	Componentes impresos .....	61
4.3	Sistema electrónico.....	64
4.4	Calibración del sensor de presión .....	66
4.5	Interfaz de usuario .....	68
4.6	Pruebas del control PID en el simulador de lluvia.....	68
CAPITULO 5.	CONCLUSIONES .....	71
CAPITULO 6.	ANEXOS.....	72
6.1	Bitácora de impresión 3D .....	72
6.2	Planos técnicos.....	75
CAPITULO 7.	REFERENCIAS .....	97

## Índice de ilustraciones

FIGURA 1: EL SIMULADOR DE LLUVIA.....	1
FIGURA 2: VÁLVULA DE GLOBO.....	3
FIGURA 3: VÁLVULA DE ÁNGULO.....	3
FIGURA 4: VÁLVULA DE MACHO.....	4
FIGURA 5: VÁLVULA DE COMPUERTA.....	4
FIGURA 6: VÁLVULA DE AGUJA.....	5
FIGURA 7: VÁLVULA DE MARIPOSA.....	5
FIGURA 8: EJEMPLO DE ENGRANE EN IMPRESIÓN 3D.....	6
FIGURA 9: TABLA DE RELLENOS CON RESPECTIVO PORCENTAJE.....	9
FIGURA 10: CANTIDAD DE CAPAS POR OBJETO IMPRESO.....	9
FIGURA 11: LA CANTIDAD DE CAPAS INFUYE NOTABLEMENTE EN LA CALIDAD DE IMPRESIÓN.....	10
FIGURA 12: TIPOS DE RELLENO.....	10
FIGURA 13: FIGURA IMPRESA CON SOPORTES Y EL RESULTADO FINAL.....	10
FIGURA 14: PLATAFORMA BASE EN UN OBJETO DE IMPRESIÓN.....	11
FIGURA 15: IMPRESIÓN DE UN OBJETO CON TÉCNICA FMD.....	12
FIGURA 16: IMPRESIÓN MEDIANTE ESTEREOLOTOGRAFÍA.....	13
FIGURA 17: IMPRESORA 3D HUNTER PARA EL PROCESAMIENTO DE LUZ DE FORMA DIGITAL.....	14
FIGURA 18: LA ROPA MEDIANTE EL SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER YA ES UNA REALIDAD.....	14
FIGURA 19: FUNCIÓN SELECTIVA POR LÁSER PARA FABRICACIÓN DE PIEZAS METÁLICAS.....	15
FIGURA 20: IMPRESIÓN DE OBJETO MEDIANTE FUSIÓN DE HAZ DE ELECTRÓNESES.....	16
FIGURA 21: LAMINADO DE DIFERENTES OBJETOS EN IMPRESORA.....	16
FIGURA 22: TECNOLOGÍA EMPLEADA POR IMPRESORAS DE HP.....	18
FIGURA 23: MOLDEO DE LLAVES CON LA TÉCNICA DE LA CERA PULIDA.....	19
FIGURA 24: ROLLOS DE FILAMENTO PARA IMPRESIÓN.....	19
FIGURA 25: SPINNERS IMPRESOS EN 3D CON ABS.....	20
FIGURA 26: EXISTE UNA GRAN CANTIDAD DE FILAMENTOS PLA.....	21
FIGURA 27: MODELOS IMPRESOS EN 3D CON ASA.....	21
FIGURA 28: DIFERENTES TIPOS DE FILAMENTO CON PET.....	22
FIGURA 29: IMPRESIÓN 3D CON POLICARBONATO.....	23
FIGURA 30: MATERIALES FLEXIBLES EN IMPRESIÓN 3D.....	23
FIGURA 31: IMPRESIÓN 3D CON FIBRAS DE CARBONO, DOTAN DE GRAN RESISTENCIA A LOS MODELOS CREADOS.....	24
FIGURA 32: FILAMENTO 3D A BASE DE MADERA.....	25
FIGURA 33: UN EJEMPLO DE MATERIALES SOLUBLES AL AGUA EN LA IMPRESIÓN 3D.....	26
FIGURA 34: FIGURA DONDE EL MATERIAL BLANCO ES EL PLA Y EL MATERIAL GRIS ES EL PVA.....	26
FIGURA 35: UNA TABLA DE AYUDA PARA ELEGIR LOS PARÁMETROS DE IMPRESIÓN EN FUNCIÓN DE NUESTROS INTERESES DE LO MEJOR A LO PEOR.....	27
FIGURA 36: IMPRESORAS CAPACES DE RECICLAR MATERIAL YA ANTERIORMENTE IMPRESO.....	28
FIGURA 37: CADA VÓXELO PUEDE SER DE UN MATERIAL DIFERENTE PARA FORMAR OBJETOS MÁS GRANDES.....	28
FIGURA 38: COMPONENTE ARQUITECTÓNICO DE UNA SILLA IMPRESA EN 3D.....	29
FIGURA 39: APIS COR Y SU IMPRESORA 3D DE CASAS.....	29
FIGURA 40: VESTIDO IMPRESO EN 3D.....	30
FIGURA 41: POSIBLE IMPRESIÓN 3D DE ÓRGANOS BIOLÓGICAMENTE COMPATIBLES.....	31
FIGURA 42: IMPRESORA "FOCUS" <a href="HTTPS://WWW.3DBYFLOW.COM/">HTTPS://WWW.3DBYFLOW.COM/</a> .....	31
FIGURA 43: IMPRESIÓN 3D CON CHOCOLATE. RECUPERADAS DE: <a href="HTTPS://WWW.3DBYFLOW.COM/">HTTPS://WWW.3DBYFLOW.COM/</a> .....	31
FIGURA 44: MODELADO DE PLANOS Y OBJETOS EN AUTOCAD.....	32

FIGURA 45: MODELADO MECÁNICO EN SOLID WORKS.....	33
FIGURA 46: MODELADO MECÁNICO EN RHINOCEROS.....	33
FIGURA 47: MODELADO EN AUTODESK INVENTOR.....	34
FIGURA 48: LOGOTIPO DE ARDUINO.....	34
FIGURA 49: DISTRIBUCIÓN DE LOS PINES EN LA PLACA DE ARDUINO UNO.....	35
FIGURA 50: SENsoRES PARA ARDUINO.....	36
FIGURA 51: FORMA DE CONECTAR EL SENSOR ANALÓGICO A LA PLACA DE ARDUINO UNO.....	37
FIGURA 52: MICRORRUPTOR O FINAL DE CARRERA.....	38
FIGURA 53: MOTOR REDUCTOR A UTILIZAR.....	39
FIGURA 54: USO DEL MOTOR REDUCTOR PARA LA TRANSMISIÓN DE FUERZA PARA GIRO DEL MOTOR A LA VÁLVULA DE COMPUERTA DE $\frac{3}{4}$ " DE DIÁMETRO.....	40
FIGURA 55: ESQUEMA DE CÁLCULO CON FÓRMULAS IMPLEMENTADAS PARA EL CÁLCULO DE DIÁMETROS DEL SISTEMA DE ENGRANES. CÁLCULOS PARA REDUCIR A 0.85 VUELTAS EN EL ENGRANE OBJETIVO DESDE LAS 3.25 VUELTAS DEL ENGRANE ORIGEN.....	41
FIGURA 56: VALORES DE LOS ENGRANES MODIFICABLES EN GEAR GENERATOR ENLAZADOS CON SU FIGURA.....	43
FIGURA 57: ORDEN DE TRANSMISIÓN DE LA FUERZA DEL MOTOR POR EL SISTEMA DE ENGRANAJES DEL ENGRANE 1 AL 9.....	44
FIGURA 58: CONVERSIÓN DE ARCHIVOS A FORMATO DXF.....	45
FIGURA 59: SOFTWARE DE DISEÑO RHINOCEROS.....	46
FIGURA 60: ENGRANE 1 MOTOR DENTRO DEL ÁREA DE TRABAJO DE RHINOCEROS RODEADO POR EL DIÁMETRO EXTERIOR.....	46
FIGURA 61:: EXTRUSIÓN DE LAS POLILÍNEAS PARA DARLE LA ALTURA NECESARIA.....	47
FIGURA 62: SOFTWARE PREIMPRESIÓN DE OBJETOS IDEAMAKER.....	48
FIGURA 63: CONFIGURACIÓN DEL TIPO DE FILAMENTO.....	48
FIGURA 64: BOTÓN ADD.....	49
FIGURA 65: BOTÓN SCALE.....	49
FIGURA 66: BOTÓN REPAIR.....	49
FIGURA 67: BOTÓN SUPPORT.....	49
FIGURA 68: MENÚ DE SOPORTES EN IMPRESIÓN.....	50
FIGURA 69: BOTÓN START SLICING.....	50
FIGURA 70: SELECCIÓN DE LA CALIDAD DE IMPRESIÓN, EDITAR PARÁMETROS Y SLICE.....	51
FIGURA 71: CONFIGURACIÓN DE INTENSIDAD DE RELLENO, CAPAS, PLATAFORMA Y SOPORTES.....	51
FIGURA 72: RESULTADO ESTIMADO DE LA IMPRESIÓN.....	52
FIGURA 73: IMPRESORA UTILIZADA.....	52
FIGURA 74: INTRUSIÓN DEL FILAMENTO EN ROLLO A LA BOQUILLA.....	53
FIGURA 75: ENTRADA DE FILAMENTO POR LA BOQUILLA PREVIAMENTE CALENTADA.....	53
FIGURA 76: GRÁFICO DE LA TEMPERATURA DE IMPRESIÓN SEGÚN LA VELOCIDAD PARA EL MATERIAL PLA.....	54
FIGURA 77: CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE IMPRESIÓN.....	54
FIGURA 78: SELECCIÓN DEL OBJETO A IMPRIMIR DESDE LA USB.....	55
FIGURA 79: OBJETO IMPRESO.....	55
FIGURA 80: DESCARGA DE ROLLO DE FILAMENTO.....	56
FIGURA 81: CONEXIÓN FUENTE EXTERNA DE ENERGÍA-ARDUINO-L298N.....	57
FIGURA 82: MANÓMETRO DE PRESIÓN UTILIZADO.....	58
FIGURA 83: MICRO PULSADOR CERRADO.....	58
FIGURA 84: RESULTADO DE DISEÑO DE LAS PIEZAS.....	60
FIGURA 85: EJEMPLO DE ALGUNOS COMPONENTES YA IMPRESOS.....	61
FIGURA 86: MODELADO PARA IMPRESIÓN DE LOS EMPAQUES UTILIZADOS PARA LA HERMETICIDAD DEL SISTEMA.....	62
FIGURA 87: PRENSAESTOPAS.....	62
FIGURA 88: SALIDA HERMÉTICA DE LOS CABLES.....	63
FIGURA 89: POSICIÓN DE LA VÁLVULA Y EL SENSOR DE PRESIÓN EN EL SIMULADOR DE LLUVIA.....	64
FIGURA 90: PRUEBAS ELECTRÓNICAS DE LA PLACA ELECTRÓNICA.....	65

FIGURA 91: PUENTE H .....	65
FIGURA 92: CONEXIÓN SENSOR - CONEXIÓN EN ARDUINO PARA LA LECTURA ANALÓGICA. ....	66
FIGURA 93: CONEXIÓN SENSOR MPM4760 INTELLIGENT DIGITAL DISPLAY PRESSURE TRANSMITTER - ARDUINO PARA LECTURA ANALÓGICA.....	67
FIGURA 94: GRÁFICA Y ECUACIONES OBTENIDAS DE LAS LECTURAS PARA CALIBRAR EL SENSOR DE PRESIÓN. ....	67
FIGURA 95: INTERFAZ CONTROL PID. ....	68
FIGURA 96: GRAFICA EVOLUCIÓN DE VALOR OBJETIVO DE 0 -4 Y 4 - 0. ....	69
FIGURA 97: PORCENTAJE DE PID EN EL MOTOR. ....	69
FIGURA 98: INTERFAZ GRÁFICA TRABAJANDO EN EL CAMBIO DE PRESIÓN DE 3 A 1, 1 A 0, 0 A 2 Y 2 A 4. ....	70

## Índice de tablas

TABLA 1. ENGRANES CON NÚMERO DE DIENTES Y DIÁMETRO.....	45
TABLA 2. DIÁMETROS EN EXCEL. ....	60
TABLA 3. CICLOS DE TRABAJO.....	61
TABLA 4. BITÁCORA DE IMPRESIONES 3D REALIZADAS DURANTE LA TESIS.....	72

# CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 Simulador de lluvia

El *Laboratorio de Hidrología Experimental y Aplicada (LHEA)*, de la *División de Ingenierías*, viene desarrollando un simulador de lluvia que requiere la automatización de la apertura y cierre de válvulas de paso, así como un sistema de control transitorio de la presión que genera el simulador para obtener las intensidades de lluvia requeridas durante los ensayos.

El control transitorio de la presión es necesario para simular eventos de tormenta con variación de la intensidad de lluvia generada por el simulador. Para ello, se requiere desarrollar una válvula de compuerta motorizada de apertura variable para controlar el flujo en función de la presión en el sistema.

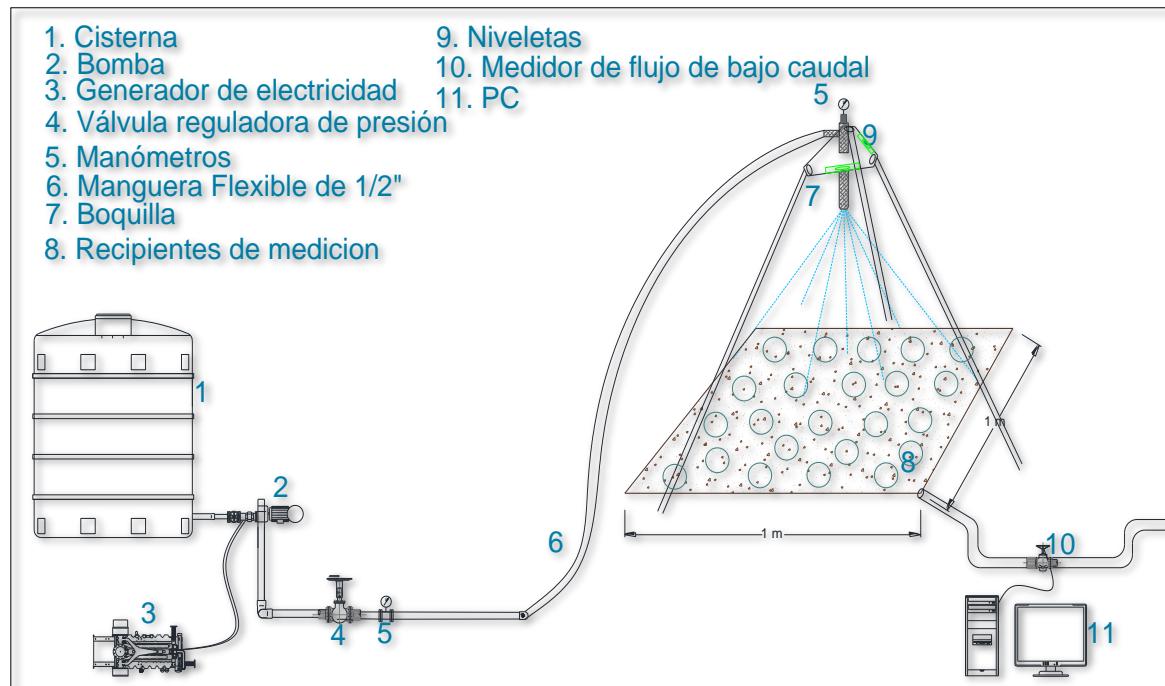


Figura 1: El simulador de lluvia.

Güntos, M. (2017) [1]. Diseño y operación de un simulador experimental portable de lluvia: para cuantificar el proceso lluvia-escurrimiento.

Se propone el desarrollo de este tipo de válvulas de apertura variable motorizada ya que no es común encontrarlas en tamaños de  $\frac{1}{2}$ " o  $\frac{3}{4}$ ", siendo una alternativa la importación, pero a costos que no son accesibles. Por ello, se implementa la

tecnología *Arduino* para integrar tarjetas microcontroladoras con un servomotor y un sensor de presión, y a la vez se utilizó tecnología de impresión 3D para desarrollar las partes mecánicas que permitieron integrar el motor reductor de corriente directa con la válvula de compuerta.

## 1.2 Automatización

El trabajo de tesis concluyó al generar el código *Arduino* que controla la apertura de la válvula en función de la presión en el sistema, y una vez integrado al simulador de lluvia esta permite simular lluvia de distinta intensidad de forma automática.

Existe poca información al alcance, sobre la automatización de las diferentes válvulas del mercado, debido a que es propiedad intelectual y hay que pagar por acceder al conocimiento de esta, donde se aplican medidas de privacidad por parte de los desarrolladores, para proteger sus productos.

Se conoce el caso de la automatización de válvulas para seguridad en oleoductos, el cual es impulsada por la industria, por su deseo de controlar de forma proactiva los riesgos y la mitigación de los impactos ambientales en caso de roturas o fallas en los oleoductos que causan derrames de hidrocarburos [2]. Otro caso que existe en el mercado, son los actuadores eléctricos, los cuales se utilizan para automatizar válvulas grandes, los cuales resultan poco útiles para nosotros. Existen también en el mercado válvulas motorizadas y de solenoide, sin embargo, ambos casos son exclusivamente para apertura o cierre de una válvula y no permiten un control gradual de la apertura por el diseño interno de estos sistemas.

## 1.3 Objetivo

Desarrollar una válvula de compuerta motorizada de apertura variable en función de la presión: Integración con *Arduino* e impresión 3D.

### 1.3.1 Objetivos particulares del proyecto de investigación.

- Integrar la válvula de compuerta con el servomotor desarrollando las piezas mecánicas necesarias en una impresora 3D (*Raise 3D N2 Plus*). Realizar pruebas de fatiga de las piezas mecánicas desarrolladas con impresión 3D para obtener los materiales idóneos dependiendo del producto a imprimir.
- Crear los códigos en *Arduino* para regular la apertura de la válvula en función de la presión de agua.

## CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1 Función de las válvulas

Las válvulas tienen diferentes mecanismos internos para limitar el flujo. La selección de estas dentro de las tuberías dependerá de la función que debe efectuar, sea de apertura o cierre, de regulación o para impedir el flujo inverso.

Por ejemplo, las válvulas más utilizadas para los servicios de apertura y cierre son:

- **Válvula de globo:** Con esta válvula es posible alcanzar un cierre hermético con poco desplazamiento debido a su funcionamiento de  $\frac{1}{4}$  de vuelta y debido a su forma, el fluido sufre una desviación en su recorrido en el interior de la válvula y una pérdida de carga significativa, por lo que no sirve como una buena reguladora de caudal.



Figura 2: Válvula de globo.

Recuperada de: <https://www.contek.com.mx/producto/valvula-esfera-roscada-3-4/>

- **Válvula de ángulo:** Permite tener un flujo de caudal regulado sin excesivas turbulencias y disminuye la erosión, pero tiene un diseño angular de  $90^\circ$ .

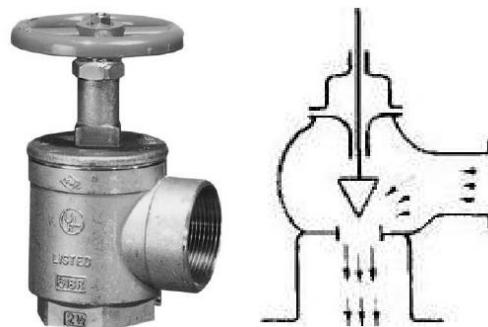


Figura 3: Válvula de ángulo.

Recuperada de: <https://pt.slideshare.net/nosequeponercarajo/accesorios-de-la-tuberia-hg/26>

- **Válvula de macho:** Son empleadas principalmente en posiciones totalmente cerradas o abiertas en diámetros no muy grandes, para dar paso o cortar el flujo. Tiene la ventaja de su rápido accionamiento y hermetismo.



Figura 4: Válvula de macho.

Recuperada de: <https://pt.slideshare.net/nosequeponercarajo/accesorios-de-la-tuberia-hg/26>

Para servicios de regulación de flujo las más comunes son:

- **Válvula de compuerta:** La función de apertura y cierre es lenta debido a su número de vueltas y cuando está totalmente abierta las pérdidas de carga son pequeñas debido a que el área de flujo coincide con el diámetro nominal de la tubería.

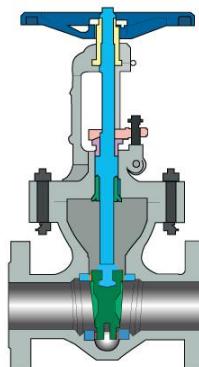


Figura 5: Válvula de compuerta.

Recuperada de: <http://www.directindustry.it/prod/velan/product-24371-851409.html>

- **Válvula de aguja:** La apertura o cierre de esta válvula es lento debido a la cantidad de numero de vueltas que requiere para subir o bajar el vástago, por lo que la

convierte en una buena reguladora de caudal, pero con la desventaja del tiempo de giro.



Figura 6: Válvula de aguja.

Recuperada de: <http://www.valvias.com/tipo-valvula-de-aguja.php>

- **Válvula de mariposa:** Esta válvula es ideal para regular el flujo y tiene la ventaja de que puede abrirse o cerrarse con  $\frac{1}{4}$  de giro y aunque la perdida de carga es relativamente pequeña cuando está totalmente abierta, es ligeramente superior a la de compuerta.



Figura 7: Válvula de mariposa.

Recuperada de: <http://dinmetsa.com.pe/producto/valvulas-tipo-mariposa/>

Con base en las anteriores características, hemos seleccionado las tipologías de válvulas que mejor se adaptan a las necesidades de regulación de la presión para la automatización del simulador de lluvia. La selección de las válvulas obedece

entonces a sus características de regulación de flujo y a que son fáciles de conseguir en diámetros comerciales menores de  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ " y 1" pulgadas, las válvulas que nos pueden ser de utilidad son la válvula de compuerta y la válvula de mariposa. De entre estas dos válvulas es más común la válvula de compuerta, por lo que será la válvula para utilizar y automatizar.

## 2.2 La impresión 3D

Las tecnologías de impresión 3D comenzaron en la década de los 80, cuando algunas adaptaciones en el manejo de la inyección de la tinta transformaron la tecnología de la impresión con tinta, a la impresión con materiales. En esta década Chuck Hull diseñó y patentó el formato de archivo. STL (*Standard Triangle Language*) que se convierte en el formato estándar de la impresión 3D hasta la actualidad.

Es un tipo de formato de archivo informático de diseño asistido por ordenador (CAD) que contiene solo la definición de la envolvente geométrica de los objetos tridimensionales, sin incluir ninguna información sobre texturas, propiedades físicas, relleno interior o color. La geometría es definida a través de mallas poligonales formadas por triángulos planos.

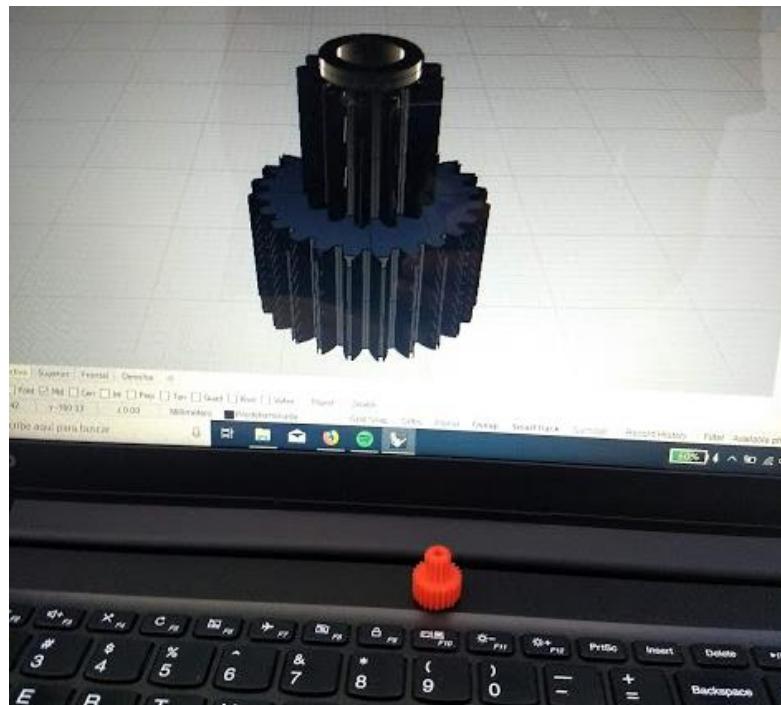


Figura 8: Ejemplo de engrane en impresión 3D.

## 2.2.1 Ventajas de la impresión 3D frente a la fabricación tradicional

La impresión 3D permite crear objetos personalizables, hasta el punto de socavar las economías de escala, cuestionando la necesidad de fabricar cientos o miles de unidades para abaratar el producto y que finalmente llegue al consumidor [3].

En el libro “*La revolución de la impresión 3D*” [4] de *Hod Lipson y Melba Kurman* podemos encontrar los diez principios de la impresión 3D:

1. La complejidad de fabricación no eleva el coste.
2. La variedad de forma sale gratis.
3. No hace falta ensamblaje.
4. Elaboración bajo demanda.
5. Espacio de diseño ilimitado.
6. No hace falta experiencia.
7. Fabricación compacta y portátil.
8. Se generan menos residuos.
9. Infinitas variedades del material.
10. Reproducción física precisa.

## 2.2.2 El prototipado rápido

Más de 30 años después de la invención del proceso de impresión con materiales, casi todas las patentes relacionadas con el mundo de la impresión 3D han caducado. Este hecho ha permitido la evolución exponencial del diseño de máquinas de prototipado rápido gracias a la revolución de Internet y la digitalización. Esto ha promovido la democratización del acceso a tecnologías de impresión 3D y al proceso de prototipado, antes único en el mundo de las grandes industrias, y que se encuentra hoy en día al alcance de cualquier diseñador ávido de experimentar.

Para un diseñador, incorporar este tipo de tecnologías de fabricación de prototipos personalizados rápidamente y a bajo coste supone un avance crucial en sus procesos proyectuales y creativos. El proceso de prototipado rápido, también conocido como impresión 3D, es una tecnología de fabricación aditiva que permite una variedad de formas hasta ahora realmente difíciles y costosas de realizar por otros medios de fabricación tradicional. No requiere ensamblaje, su resolución es milimétrica, se generan menos residuos y se fabrica bajo demanda.

## 2.2.3 El origen de la fusión por filamento fundido

La técnica de modelado por deposición fundida *Fused Deposition Modelling (FDM)*, fue diseñada por S. Scott Crump y registrada y patentada a finales de los años 80 por la empresa que fundó: *Stratasys Inc* [5]. Lleva por título “*Apparatus and method for creating three-dimensional objects*” [6], y se define como un aparato que posee un cabezal de extrusión con un suministro de material que solidifica a una temperatura determinada, que, junto a una base, va moviéndose a lo largo de los ejes X, Y, Z. La impresión 3D consiste en seguir un patrón predeterminado por ordenador para crear un objeto tridimensional por la acumulación del material expulsado por el cabezal de extrusión sobre la base a una velocidad controlada. Cada base de capa está definida por la capa previa, y cada grosor de capa se define y se controla estrechamente por la altura a la que la punta del cabezal dispensador se coloca por encima de la capa anterior.

En el año 2015 el doctor y profesor de ingeniería mecánica de la *Universidad de Bath*, Adrian Bowyer, lideró un proyecto colaborativo de código libre, utilizando el tipo *GNU General Public License* [7], para construir una impresora 3D de escritorio con la capacidad de autoreplicarse. Bautizan esta técnica de fabricación aditiva como *Fused Filament Fabrication* [8] (FFF, Fusión por filamento fundido) y la registran de código libre para que cualquiera pueda utilizarla sin pagar costosas licencias y diferenciarla así del término patentado *FDM*. Y no es hasta el año 2009, con la liberación de la patente, cuando pueden hacer uso libre de esta tecnología disruptiva que inicia el crecimiento exponencial del movimiento de impresión 3D de código libre. En la actualidad es la tecnología de impresión más usada por la comunidad desarrolladora.

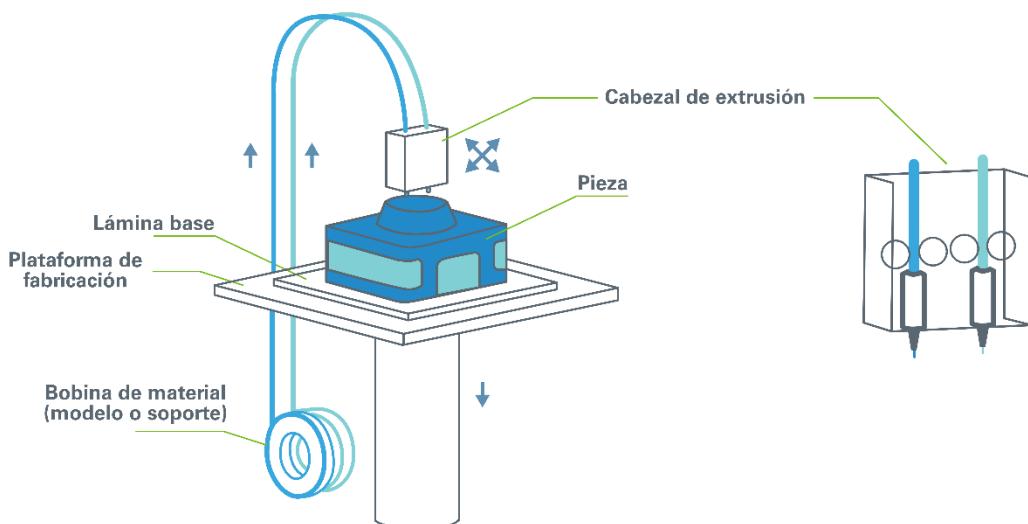


Figura 9: Funcionamiento de la fusión de filamento fundido.

Recuperada de: <http://mizaradditive.com/fused-deposition-modeling/>

## 2.2.4 Características de la impresión por fusión de filamento fundido

A continuación, se muestran las principales variables de la impresión FFF:

1. **Densidad de relleno / Infill density:** Es el tanto por ciento en volumen de relleno interior respecto al volumen capaz total.



Figura 9: Tabla de rellenos con respectivo porcentaje.

Recuperada de: [http://wiki.ikaslab.org/index.php/Impresi%C3%B3n\\_3D\\_paso\\_a\\_paso](http://wiki.ikaslab.org/index.php/Impresi%C3%B3n_3D_paso_a_paso)

2. **Número de celdas / Shells:** Número de paredes contiguas con un cierto grosor. Su valor depende del diámetro de la boquilla de extrusor y es un múltiplo de éste.

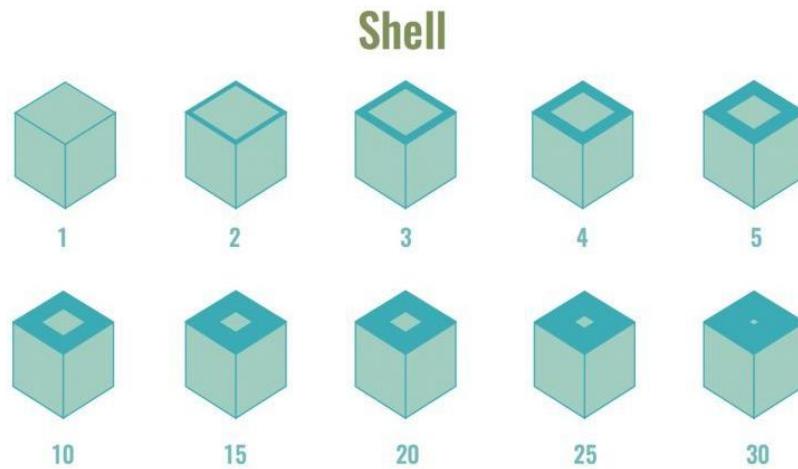


Figura 10: Cantidad de capas por objeto impreso.

Recuperada de: <https://mycrazygoodlife.com/3d-printing-infill-vs-shell/>

3. **Altura de capa / Layer Height:** Se refiere a la dimensión del espesor de cada capa en la que se va depositando el material extruido.



Figura 11: La cantidad de capas influye notablemente en la calidad de impresión.

Recuperada de: [http://wiki.ikaslab.org/index.php/Impresi%C3%B3n\\_3D\\_paso\\_a\\_paso](http://wiki.ikaslab.org/index.php/Impresi%C3%B3n_3D_paso_a_paso)

4. **Patrón de relleno / Infill pattern:** Es el tipo de geometría que se emplea en el relleno interior de la pieza. Sus valores varían dependiendo del tipo de software con el que nos comunicaremos con la impresora 3D. Pueden ser hexagonales, en forma de rejillas, de rombos o zigzag, etc.

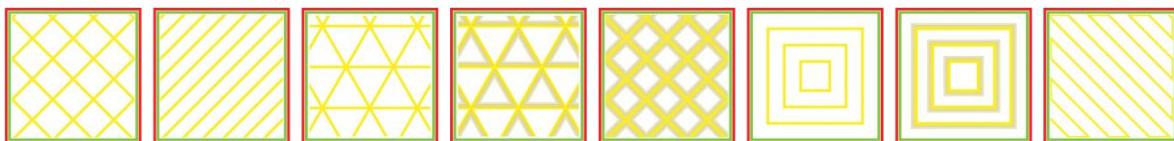


Figura 12: Tipos de relleno.

Recuperada de: <https://formizable.com/mega-tutorial-de-cura-profundizando-en-cura-3d-slicer/>

5. **Soportes / Supports:** Estructuras generadas automáticamente por un algoritmo del software de impresión, necesarias para sostener un plano horizontal donde poder depositar el material fundido. Algunos programas permiten diseñarlos a nuestra voluntad y de manera más controlada. Una vez que termina la impresión, son retirados manualmente o dependiendo del tipo de material, se introducen en un tipo de disolución.



Figura 13: Figura impresa con soportes y el resultado final.

Recuperada de: <https://impresion3d.xyz/maravillas-de-impresion-3d/que-es-el-material-de-soporte-en-la-impresion-3d/2016/05/05/>

6. **Plataforma base / Raft:** Plataforma sólida de varias capas cuyo número podemos elegir y que se emplea cuando tenemos una pieza muy esbelta en vertical y puede dar problemas de pandeo durante la fabricación. Se separa fácilmente de la pieza a posteriori, porque hay una distancia de separación de décimas de milímetro respecto del plano base de la original. Si es una extrusión simple se puede elegir el no colocarla.



Figura 14: Plataforma base en un objeto de impresión.

## 2.3 Impresoras

Actualmente existen 9 principales tipos de impresoras 3D, las cuales varían por su diferente funcionamiento, y son [9]:

1. **Modelado por deposición fundida (FDM):** La técnica FMD (por sus siglas en inglés, *Fused Deposition Modeling*), es el método de impresión 3D más común en impresoras 3D de escritorio. El filamento termoplástico se calienta y se extruye en coordenadas de X e Y a través del cabezal de extrusión, mientras que la superficie de impresión va bajando el objeto capa por capa en la dirección Z.

De este modo el objeto se imprime de abajo hacia arriba. Si se diera el caso de que un modelo tuviera partes que sobresalen, necesitará estructuras de soporte que se puedan quitar una vez que la impresión haya finalizado.

Este tipo de impresora 3D es una manera rentable de desarrollar un producto y de crear de forma rápida prototipos en los sectores de pequeñas empresas y la educación, ya que es capaz de fabricar piezas robustas de manera eficiente y rápida.

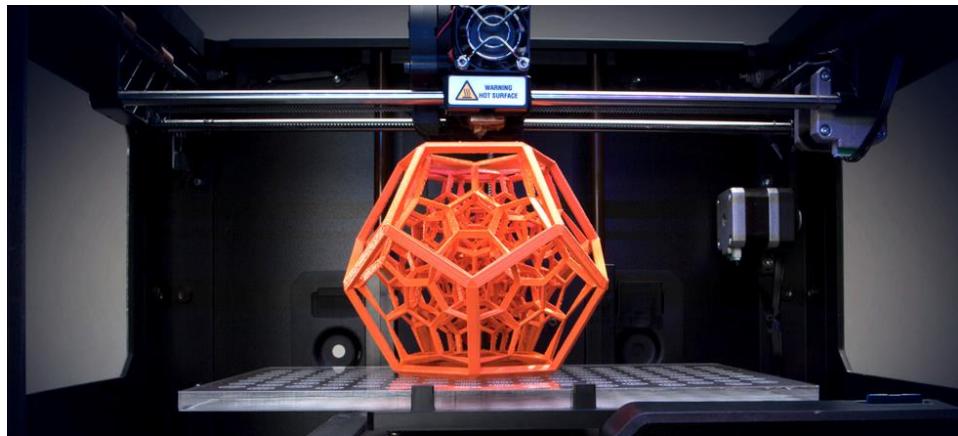


Figura 15: Impresión de un objeto con técnica FMD.

Recuperada de: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

2. **Estereolitografía (SLA):** La técnica SLA (por sus siglas en inglés, *Stereolithography*), la estereolitografía, que fue inventada por Chuck Hull en 1983, se caracteriza por ser la tecnología de impresión 3D más antigua. Esta tecnología funciona mediante la exposición de una capa de resina líquida fotosensible a un rayo láser UV para que se endurezca y se solidifique. Una vez que el láser recorre una capa de resina en el patrón deseado, este comienza a endurecerse. Acto seguido, la plataforma de impresión del modelo, situada en el tanque líquido de la impresora, baja una capa y el láser comienza a formar la siguiente capa. Cada capa se construye sobre la anterior.

Al igual que en la tecnología de impresión 3D FDM, los objetos con partes sobresalientes impresos necesitan estructuras de soporte. Una vez completada la impresión, el objeto debe enjuagarse con un disolvente. En ocasiones también se hornea en un horno UV para finalizar el procesamiento.

La tecnología SLA crea objetos con superficies lisas y mucho detalle. Es cada vez más popular en sectores como la joyería y la odontología cosmética para la creación de moldes maleables.

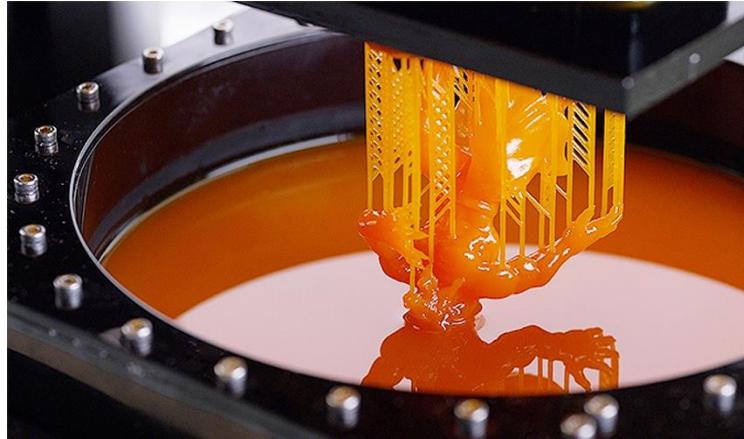


Figura 16: Impresión mediante Estereolitografía.

Recuperada de: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

3. **Procesamiento digital de luz (DLP):** La técnica DLP (por sus siglas en inglés, *Digital Light Processing*), la tecnología de procesamiento digital de luz y la estereolitografía tienen muchos aspectos en común. Ambos tipos de impresoras 3D usan fotopolímeros líquidos. Ambos usan unas “resinas” que se endurecen al aplicarle luz mediante un proyector especial (DLP) y un láser (SLA).

La tecnología DLP fue inventada en 1987 por Larry Hornbeck de *Texas Instruments* y se volvió extremadamente popular en los proyectores. La tecnología DLP usa una red eléctrica de micro espejos controlados por ordenador dispuestos en un molde sobre un chip semiconductor. Estos diminutos espejos se inclinan hacia adelante y hacia atrás. Cuando un espejo está inclinado, refleja la luz, lo que refleja un píxel brillante. Mientras que, si el espejo está inclinado hacia el lado opuesto, el píxel se volverá oscuro. Este tipo de tecnología se usa en proyectores de películas, teléfonos móviles y también para la impresión en 3D. Uno de los beneficios que presenta para la impresión 3D es su velocidad: puede imprimir capas en un instante.

Los tipos de impresoras 3D DLP se utilizan principalmente en ámbitos profesionales y permiten fabricar piezas robustas con excelente resolución. También los amantes y aficionados de la impresión 3D están construyendo sus propias impresoras 3D basándose en la tecnología DLP utilizando haces de luz o incluso teléfonos inteligentes para endurecer la resina.



Figura 17: Impresora 3D Hunter para el procesamiento de luz de forma digital.

Recuperada de: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

4. **Sinterizado selectivo por láser (SLS):** La tecnología SLS (por sus siglas en inglés, *Selective Laser Sintering*), es similar a la SLA, pero la principal diferencia está en que este tipo de impresora 3D utiliza material en polvo en el área de impresión en lugar de resina líquida. Se usa un láser para sinterizar selectivamente una capa de gránulos que une el material para crear una estructura sólida. Cuando el objeto está completamente formado, se deja enfriar en la máquina antes de retirarlo.

El SLS es ampliamente utilizado para el desarrollo de productos y la creación rápida de prototipos orientados a industrias comerciales. Asimismo, es útil para la fabricación de productos finales de uso limitado, como piezas usadas en el sector industrial (por ejemplo, piezas de maquinarias). Los materiales utilizados en el SLS pueden variar desde nailon, vidrio y cerámica hasta aluminio, plata e incluso acero. Sin embargo, este tipo de impresora 3D requiere del uso de costosos láseres de alta potencia, lo que la sitúa un poco fuera del alcance del consumidor promedio.

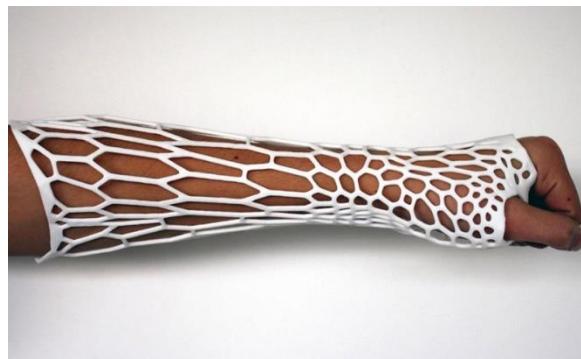


Figura 18: La ropa mediante el sinterizado selectivo por láser ya es una realidad.

Recuperada de: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

- 5. Fusión selectiva por láser (SLM):** La tecnología de fusión selectiva por láser SLM (por sus siglas en inglés, *Selective Laser Melting*), se considera a veces como una subcategoría del tipo de impresora 3D SLS. La tecnología SLM usa un rayo láser de alta potencia para fundir completamente polvos metálicos transformándolos en piezas sólidas tridimensionales.

Los materiales típicos utilizados en estos tipos de impresoras 3D son: acero inoxidable, aluminio, titanio y cromo-cobalto. La tecnología SLM se utiliza en la industria aeroespacial o de la ortopedia para crear piezas con geometrías complejas y estructuras de paredes delgadas, con canales ocultos o espacios vacíos.



Figura 19: Función selectiva por láser para fabricación de piezas metálicas.

Recuperada de: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

- 6. Fusión por haz de electrones (EBM):** A diferencia de la tecnología SLM, la técnica EBM (por sus siglas en inglés, *Electron Beam Melting*) utiliza, como su propio nombre indica, un haz de electrones controlado por ordenador. Esta técnica se lleva a cabo con una alta presión al vacío y usando altas temperaturas que alcanza hasta los 1000 °C para poder fundir completamente el polvo metálico.

Este tipo de impresora 3D puede usar metales como titanio puro, para fabricar piezas aeroespaciales e implantes médicos. Pero, si bien esta tecnología es prometedora, actualmente es muy lenta y costosa.



Figura 20: Impresión de objeto mediante fusión de haz de electrones.

Recuperada de: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

**7. Fabricación mediante laminado de objetos (LOM):** La LOM utiliza capas de papel, plástico o laminados metálicos recubiertos con adhesivo, que se funden bajo calor y presión, y se cortan con un láser o una cuchilla controlados por ordenador. Después de esto, en ocasiones se realiza un proceso de mecanizado y perforación. El objeto 3D se crea capa por capa, y tras cortar el exceso de material, se puede lijar o sellar con pintura.

En comparación con los tipos de impresoras 3D SLA o SLS, la precisión dimensional de la tecnología LOM es ligeramente inferior. Sin embargo, la LOM es uno de los métodos de impresión 3D más económicos y rápidos para crear piezas relativamente grandes. También permite imprimir objetos en 3D a todo color.



Figura 21: Laminado de diferentes objetos en impresora.

Recuperada de: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

- 8. Inyección de aglutinante (BJ):** Este tipo de impresión BJ (por sus siglas en inglés, *Binder Jetting*), se inventó en el *MIT* y cuenta con múltiples denominaciones: fusión sobre lecho de polvo, impresión 3D de inyección de tinta, impresión de gota sobre polvo o, probablemente la más conocida, inyección de aglutinante.

La inyección de aglutinante es un proceso de fabricación aditiva. Este tipo de impresora 3D utiliza dos materiales: un material a base de polvo (a menudo yeso) y un agente adhesivo, que actúa uniendo las capas de polvo. Por lo general, el aglutinante se extruye en forma líquida desde un cabezal de impresión al igual que en una impresora 2D de inyección de tinta convencional. Una vez que se termina una capa, la superficie de impresión baja y el proceso se repite. Se puede utilizar esta tecnología de impresión 3D con cerámica, metal, arena o plástico.

Podemos observar avances en este tipo de tecnología de impresión 3D. En 2016, *Hewlett-Packard* presentó la tecnología *Multijet Fusion (MJF)*, que pretende llevar la tecnología de inyección de aglutinante al siguiente nivel.

El funcionamiento es sencillo, despliega una capa de material imprimible en 3D. Acto seguido, va inyectando tinta térmica de derecha a izquierda, depositando en toda el área de trabajo dos agentes químicos: agente fundente, para crear una capa sólida del material; y agente de detalle, para determinar la estructura de la capa que se está creando. Finalmente, se aplica energía para catalizar el agente fundente, mientras que el polvo impregnado con el agente de detalle permanece inerte.

Este tipo de impresora 3D puede usarse para la creación de prototipos de forma rápida y la fabricación a corto plazo en las industrias automotriz, médica y aeroespacial. Sin embargo, aún no se ha establecido el alcance total de las capacidades de MJF, ya que los agentes de fusión más nuevos prometen ofrecer diferentes propiedades, como impresión a todo color, conductividad, resistencia y reactividad térmica.



**Figura 22: Tecnología empleada por impresoras de HP.**

Recuperada de: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

**9. Inyección de material:** La tecnología de inyección de material, más conocida como (moldeo a la cera perdida), no fue inventada por nadie en concreto, sino que se trata de una técnica utilizada por joyeros desde hace siglos. El moldeo a la cera perdida es un proceso de producción que principalmente permite fabricar joyas personalizables de muy alta calidad en varios metales. Pero con la impresión en 3D, finalmente hay un proceso para automatizar el moldeo a la cera perdida, y para la mayoría de los joyeros ha supuesto un gran avance.

Por lo tanto, se ha convertido en el tipo de tecnología de impresión 3D más popular entre los profesionales del sector de la joyería, y también de aquellos que quieren experimentar con moldes.

Hay varias impresoras 3D profesionales como la *Wax Jet* de *Statasys* que utilizan la tecnología del moldeo a la cera perdida. Para probar esta técnica de impresión 3D no es necesario comprar una impresora. Existen servicios de impresión en 3D como *Shapeways* o *Sculpteo* que utilizan máquinas con tecnología MJ o MJM para esta tarea.

La cera fundida se deposita en capas sobre una plataforma de aluminio mediante varias boquillas que recorren el área de construcción. A medida que el material caliente entra en la superficie de impresión, se solidifica. En este caso, se usa un tipo diferente de cera con una temperatura de fusión baja, la cual se deposita debajo de las partes que sobresalen del producto, actuando como soporte de la estructura. Cuando finaliza la impresión, se coloca en un baño caliente que funde el material de soporte.

La cera moldeable es muy frágil y debe manipularse con cuidado. Esta comenzará a ablandarse alrededor de los 60 °C y se fundirá a los 80 °C.



Figura 23: Moldeo de llaves con la técnica de la cera pulida.

Recuperada de: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

## 2.4 Materiales de impresión

### 2.4.1 Los plásticos en la impresión 3D-FMD/FFF

Las tecnologías de deposición fundida son las más conocidas por utilizar materiales plásticos en la impresión 3D. Se presentan en formato de filamentos en una bobina que será colocada en la impresora 3D. En las tecnologías FDM/FFF existen muchísimas variedades de plásticos y de distintas características [10].



Figura 24: Rollos de filamento para impresión.

Recuperada de: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

## 2.4.2 ABS

También llamado acrilonitrilo butadieno estireno, es el plástico más utilizado dentro de la industria 3D. Actualmente podemos encontrarlo, por ejemplo, en la carrocería de los automóviles, los electrodomésticos o las carcasas de los móviles. Pertenece a la familia de los termoplásticos o plásticos térmicos, contiene una base de elastómeros a base de polibutadieno que lo hace más flexible y resistente a los choques.

El ABS tiene una temperatura de impresión de entre 230°C y 260 °C, y puede soportar temperaturas muy bajas (-20 °C) y muy elevadas (80 °C). Además de su alta resistencia, es un material reutilizable y puede ser soldado con procesos químicos. Sin embargo, no es biodegradable y se encoge en contacto con el aire, razón por la cual la plataforma de impresión se debe precalentar con el fin de evitar el despliegue de las piezas. Se recomienda, además, la utilización de una impresora 3D con una estructura cerrada para limitar las emisiones de partículas que se desprenden al utilizar este material.



Figura 25: *Spinners* impresos en 3D con ABS.

Recuperada de: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

## 2.4.3 PLA

El ácido poli láctico o PLA, al contrario del ABS es biodegradable, se fabrica a partir de materias primas renovables, como el almidón de maíz. Es uno de los materiales con los que se puede imprimir más fácilmente, además de que una de sus características es el leve encogimiento luego de la impresión 3D, razón por la cual las plataformas calefactadas no son necesarias en la utilización de este material. Al imprimir con PLA en una impresora FDM/FFF las temperaturas no deben ser muy altas, entre 190°C a 230°C.

El PLA es más difícil de manipular dada su elevada velocidad de enfriamiento y solidificación. Es importante mencionar que puede deteriorarse o estirarse al contacto con el agua. Sin embargo, este material, en general translúcido, es utilizado por la mayoría de las máquinas de deposición fundida y se encuentra en una amplia variedad de colores.



Figura 26: Existe una gran cantidad de filamentos PLA.

Recuperada de: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

#### 2.4.4 ASA

Técnicamente conocido como Acrilonitrilo estireno acrilato tiene propiedades similares al ABS, pero con una mayor resistencia a los rayos UV, aunque también es posible encontrar algunas complicaciones a la hora de imprimir con este material, por lo que es recomendable igualmente tener una plataforma de impresión calefactada. Los ajustes de impresión son muy similares a los utilizados por el ABS, en el caso de ASA hay que tener especial cuidado en hacerlo con una máquina con cámaras cerradas o en un espacio abierto debido a las emisiones del estireno.



Figura 27: Modelos impresos en 3D con ASA.

Recuperada de: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

## 2.4.5 PET

El tereftalato de polietileno conocido popularmente como PET, comúnmente visto en las botellas de plástico desechables. Es el filamento ideal para piezas destinadas al contacto alimentario, es semirrígido y con una buena resistencia. Para obtener los mejores resultados al imprimir con PET es necesario alcanzar temperaturas de entre 75-90°C.

Comúnmente comercializado como un filamento translúcido, existen variantes como PETG, PETE, y el PETT. Es un filamento que no libera ningún olor durante la impresión y es 100% reciclable.



Figura 28: Diferentes tipos de filamento con PET.

Recuperada de: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

## 2.4.6 PC o Policarbonato

El policarbonato (PC) es un material de alta resistencia diseñado para aplicaciones de ingeniería. Este material es capaz de soportar altas temperaturas, pudiendo mantenerse sin deformaciones hasta los 150°C. El policarbonato es propenso a absorber la humedad del aire, algo que puede afectar su rendimiento y resistencia de impresión. Por ello debe ser almacenado en recipientes herméticos.

Se requieren temperaturas muy altas para la impresión, si no se hace adecuadamente es posible que muestre una separación de capas, esto ocurre al imprimirla con una temperatura demasiado baja, o si se permite un enfriamiento excesivo. Los filamentos de policarbonato que existen actualmente contienen aditivos que permiten que el filamento se imprima a temperaturas más bajas.



Figura 29: Impresión 3D con policarbonato.

Recuperada de: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

#### 2.4.7 Materiales flexibles

Cada día existen más tipo de filamentos, y algunos de los que más éxito han tenido son los filamentos flexibles. Son muy similares al PLA, pero fabricados de elastómero o poliuretano termoplásticos. La ventaja de estos filamentos es que permiten el desarrollo de objetos deformables, muy utilizado en la industria de la moda como la colección de *Iris Van Herper* [11].

En general tiene las mismas características de impresión que el PLA, y puede ser encontrado con diferentes rangos de rigidez. Se recomienda únicamente prestar atención a que el tipo de extrusor sea el adecuado para evitar atascos en la máquina.



Figura 30: Materiales flexibles en impresión 3D.

Recuperada de: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

#### 2.4.8 Fibras de carbono

Los filamentos que incluyen fibras de carbono han ido adquiriendo cada vez más popularidad dentro de la industria 3D, más aún al llegar al mercado impresoras 3D como las de *Markforged* especializadas en estos materiales [12]. El motivo de su gran demanda es su increíble resistencia manteniendo en las piezas fabricadas un peso inferior en comparación con otros materiales.

Los filamentos con estas características incluyen pequeñas fibras de carbono en un material base que puede ser PLA, PETG, Nylon, ABS, o Policarbonato, mejorando las propiedades de cada uno. Los ajustes de impresión suelen ser los requeridos por su material base, aunque es importante contar con un hardware adecuado ya que las fibras de carbono pueden provocar la obstrucción de las boquillas de impresión.



Figura 31: Impresión 3D con fibras de carbono, dotan de gran resistencia a los modelos creados.

Recuperada de: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

#### 2.4.9 Materiales híbridos

Existen diferentes tipos de materiales que mezclan una base como PLA y que después incluyen polvos que dan un color o acabado diferente a los tradicionales, están compuestos en un 70% de PLA y en un 30% por el material híbrido. Se pueden encontrar en el mercado filamentos a base de madera que contienen polvos de bambú, corcho, madera, etc. La presencia de estos materiales dentro del filamento hace que el resultado final sean piezas con una textura más orgánica.

Aunque ya existan máquinas que utilizan la base de la tecnología FDM para imprimir en metal, como las nuevas máquinas de Desktop Metal. Hasta ahora es algo a lo que

no todos tenemos acceso, por ello la empresa *Colorfabb* lanzó su filamento 3D de metal. Tiene la misma base que los filamentos creados con madera, pero en este caso se cambia por polvos de metal. Le dan a cada objeto un color diferente dependiendo de lo que elijamos: cobre, bronce, plata, etc.

Finalmente, dentro de los filamentos que consideramos híbridos y siguiendo la misma regla de fabricación, están los que mezclan materiales rocosos, como el cemento, los ladrillos o la arena. Que dan una textura completamente diferente a cada uno de los modelos.



Figura 32: Filamento 3D a base de madera.

Recuperada de: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

#### 2.4.10 Los materiales solubles

Los plásticos solubles pueden ser utilizados igualmente para imprimir soportes de impresión (en función de la complejidad y de la tecnología utilizada para la pieza deseada) que serán disueltos en la etapa siguiente. Los plásticos solubles más utilizados actualmente son el HIPS (Poliestireno de alto impacto) y el PVA (acetato de polivinilo). El primero se asocia con el ABS, y puede ser disuelto con limoneno, por el contrario, el PVA se asocia con el PLA y se disuelve únicamente con agua. Existen igualmente los filamentos BVOH o copolímero de butanodiol y alcohol vinílico, muy popular últimamente en la impresión 3D de doble extrusión por ser un material de soporte soluble en agua, de acuerdo con los expertos tiene mejor solubilidad que el PVA y es compatible con múltiples materiales.



Figura 33: Un ejemplo de materiales solubles al agua en la impresión 3D.

Recuperada de: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

Las impresoras 3D de tipo FFF/FDM también pueden imprimir en otros materiales como Nylon, ABS, TPU flexible, Policarbonato PC, Polipropileno PP pero siempre requieren una plataforma de impresión calefactada *heat bed* y se imprimen con mayor dificultad que el PLA. Existen un tipo de impresoras 3D FFF de dos cabezales que permiten imprimir con materiales distintos [13].

Hay una combinación muy interesante de materiales que reduce significativamente los tiempos de post procesado de piezas con soportes: PVA con PLA. El PVA, es biodegradable y soluble en agua caliente por lo que únicamente tenemos que dejar la pieza en remojo tras ser impresa y los soportes se desprenderán solos al disolverse en agua.



Figura 34: Figura donde el material blanco es el PLA y el material gris es el PVA.

Recuperada de: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

## 2.5 Calidad en la impresión

En un artículo de investigación llamado “What is the influence of infill%, layerheight and infill pattern on my 3D prints?” [14] (2005) realizado por *3D Matter* en colaboración con *Arts et metiers*, llevaron a cabo una investigación sobre materiales impresos en 3D, midiendo su rendimiento mecánico, calidad visual y procesabilidad. Con la gran cantidad de datos recopilados desarrollaron *OptiMatter*, un modelo que predice las propiedades de las piezas impresas.

A continuación, una tabla de síntesis de los resultados de sus investigaciones:



Figura 35: Una tabla de ayuda para elegir los parámetros de impresión en función de nuestros intereses de lo mejor a lo peor.

Recuperada de: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>

## 2.6 Futuros usos de la impresión 3D

**Impresión multmaterial y reutilización de materiales:** Conforme pasa el tiempo las aplicaciones de la impresión 3D se van ampliando y el mundo tecnológico va cambiando, por ejemplo, actualmente existen empresas como *HP* que están liderando la innovación en la impresión 3D. Con su plataforma abierta *Multi Jet Fusion HP* [15] está colaborando con otras empresas del sector e investigando sobre el desarrollo de nuevos materiales de impresión 3D que combinan reducción de costes con propiedades mejoradas, así como incorporando los

nuevos formatos estándares como el .3MF e incorporar el nivel de voxel en la fabricación digital.



Figura 36: Impresoras capaces de reciclar material ya anteriormente impreso.

Recuperada de: <https://www8.hp.com/es/es/printers/3d-printers.html#video-hero>

La empresa STRATASS acaba de lanzar un nuevo software *GrabCAD Voxel Print* [16] que permite diseñar objetos en 3D formados por voxels, apostando fuertemente por la impresión multimaterial en la que las partes de un todo son distintas en función de las necesidades que se requieran en cada posición. Por ejemplo, para el ala de un avión es más eficiente que las zonas más próximas a la espina central sean más rígidas y las más alejadas más flexibles.

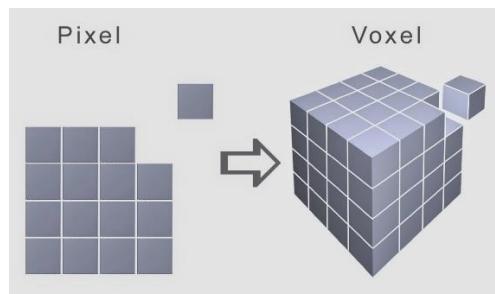


Figura 37: Cada Vóxel puede ser de un material diferente para formar objetos más grandes.

Recuperada de: <https://www8.hp.com/es/es/printers/3d-printers.html#video-hero>

**Impresión arquitectónica:** Otra empresa como *Nagami Design* [17], está apostando por nuevos softwares de uso libre para la fabricación de edificios arquitectónicos reales mediante grandes impresoras 3D.

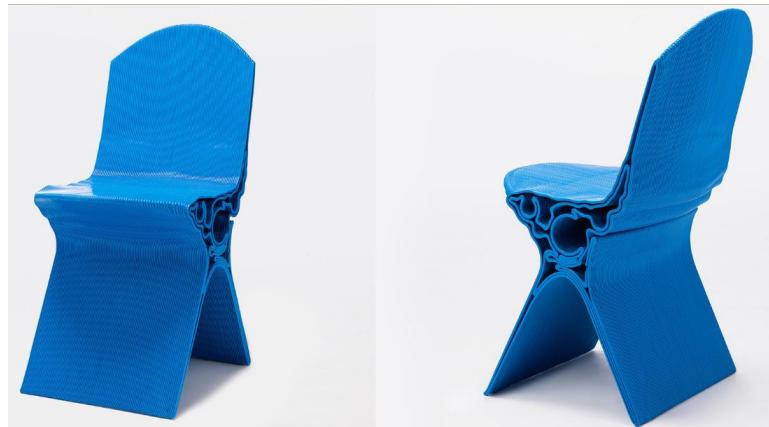


Figura 38: Componente arquitectónico de una silla impresa en 3D.

Recuperada de: <https://www8.hp.com/es/es/printers/3d-printers.html#video-hero>

*Apis Cor* [18], es una empresa rusa que ha desarrollado una impresora 3D que podría construir una casa en tan solo 24 horas, todo en condiciones climáticas extremas. Su máquina tiene 4.5 metros de largo, 1.5 metros de alto y ancho y es transportada fácilmente por una grúa móvil. Es una impresora polar 3D que extruye concreto en una superficie de impresión de 132 m<sup>2</sup>, por lo que se opone a las impresoras 3D instaladas en un pórtico y rieles. Ella se establecería en el sitio en solo 30 minutos. La compañía ha desarrollado su propio software y un programa de control para facilitar el trabajo de construcción.



Figura 39: Apis Cor y su impresora 3D de casas.

Recuperada de: <https://www.3dnatives.com/es/apis-cor-impresoras-3d-250920172/>

**Moda con impresión 3D casera:** Los diseñadores han descubierto en la tecnología la posibilidad de fabricar creaciones no convencionales, con formas abstractas,

personalizadas y usando materiales diferentes al tacto y a la vista. Poco a poco empezaron a surgir diversos productos, desde accesorios de tamaño pequeño como pulseras, gafas, cinturones, entre otros, hasta vestidos enteros.



Figura 40: Vestido impreso en 3D.

Recuperada de: <https://www.3dnatives.com/es/apis-cor-impresoras-3d-250920172/>

**La bio-impresión de tejidos:** Hace años se intenta cultivar tejidos humanos en laboratorios [19], especialmente utilizando células madre, pero en el caso de los órganos los resultados no han sido exitosos. La bio-impresión, promete mezclar el trabajo de laboratorio con impresoras muy especiales, capaces de tomar células cultivadas en laboratorio y, mediante un proceso especial, transformarlas en un tipo de órganos a la medida del paciente.

Si bien todavía no se ha logrado imprimir un corazón, riñón o hígado en 3D, si se logró crear una tráquea para trasplantarla a una niña, utilizando sus propias células madre.

La medicina está cada vez más cerca de crear órganos: la empresa *Organovo* de California, Estados Unidos, ya logró imprimir capas de un hígado, lo que demuestra que lograr imprimir el órgano completo no está lejos. En pocos años es probable que la gente no muera esperando un trasplante, sino que reciba uno a la medida alargando su vida.

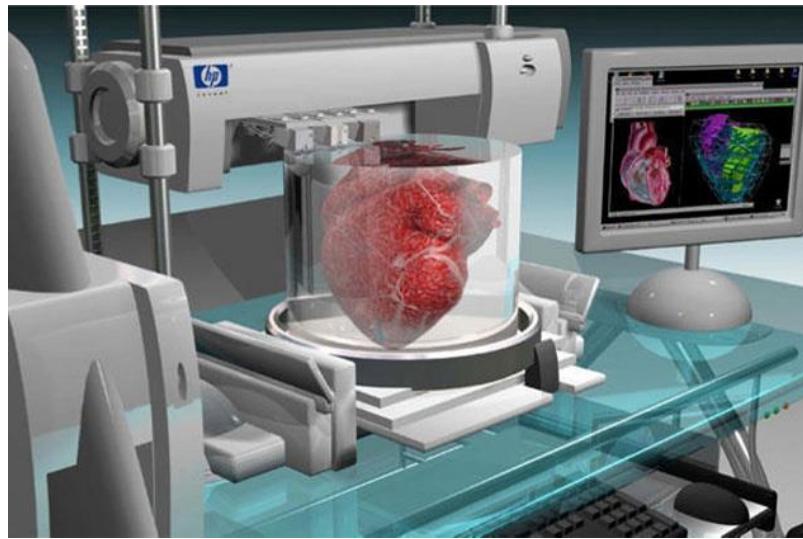


Figura 41: Posible impresión 3D de órganos biológicamente compatibles.

Recuperada de: <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/enterate/149-numero-19132/300-organos-humanos-creados-por-impresion-3d.html>

## 2.7 Alimentos impresos en 3D

La empresa holandesa de *ByFlow* [20] se estableció en el mercado de la impresión 3D en 2009, especializándose en la impresión 3D de alimentos. En 2015, la compañía desarrolló su propia impresora 3D, la llamada *Focus*, que rápidamente se estableció en la industria alimentaria gracias a su alto nivel de innovación. Esta impresora 3D hace posible utilizar alimentos preparados con impresión 3D y así crear alimentos completos.

Actualmente muchas personas se encuentran experimentando nuevas técnicas de gastronomía apoyados por la impresión 3D y posteriormente será un concepto que cambiaría nuestra forma de ver la comida.



Figura 42: Impresora "Focus"

Recuperadas de: <https://www.3dbyflow.com/>

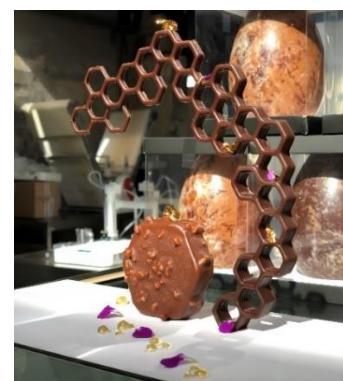


Figura 43: impresión 3D con chocolate.

## 2.8 Softwares para diseño 3D

A continuación, se mencionan algunos de los principales softwares existentes en el mercado para diseñar y generar ficheros para impresión 3D:

### 2.8.1 AutoCAD

AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D, además de un conjunto de herramientas específicas para la industria. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk [21].

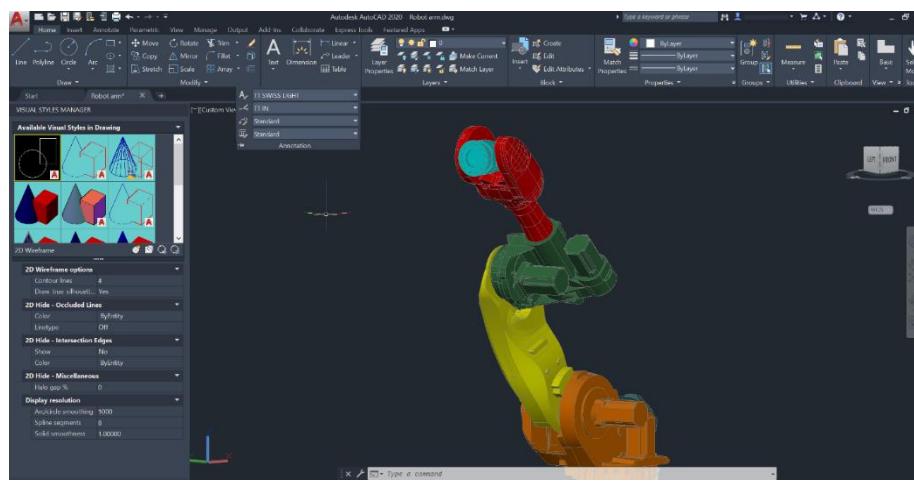


Figura 44: Modelado de planos y objetos en AutoCAD.

Recuperada de: <https://www.arquired.com.mx/arq/autodesk-presenta-autocad-2020-con-una-nueva-imagen/>

### 2.8.2 Solid Works

Es un programa de diseño mecánico en 3D con el que se puede crear geometría 3D usando sólidos paramétricos, la aplicación está enfocada a diseño de producto, diseño mecánico, ensambles, y dibujos para taller. SolidWorks diseña de forma que va dejando un historial de operaciones para que puedas hacer referencia a ellas en cualquier momento [22].

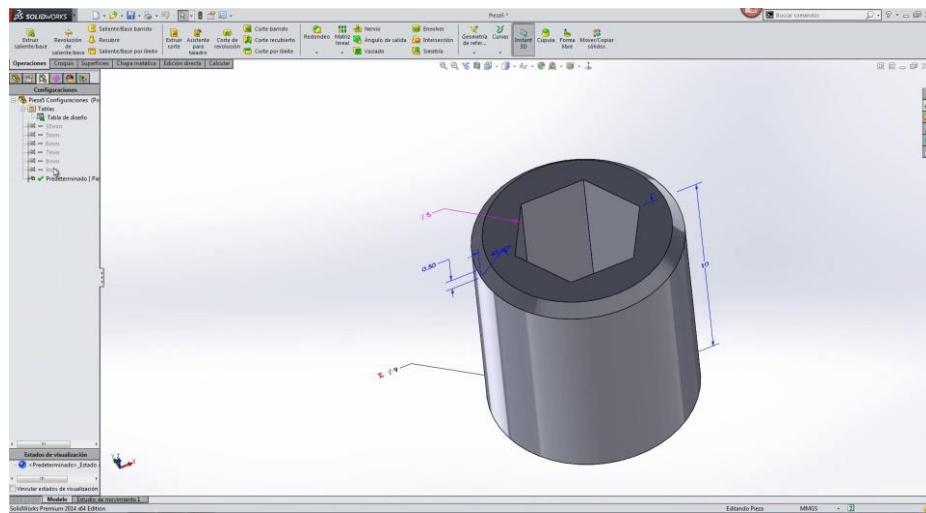


Figura 45: Modelado mecánico en Solid Works.

Recuperada de: <https://www.cadavshmeip.com/tutorial/crea-familia-de-partes-en-solidworks/>

### 2.8.3 Rhinoceros

Rhino puede crear, editar, analizar, documentar, renderizar, animar y traducir curvas con representaciones matemáticas de geometría en 3D capaces de describir cualquier forma con precisión, superficies y sólidos, nubes de puntos y mallas poligonales. No hay límite de complejidad, grado o tamaño, a parte del que posea el hardware [23].

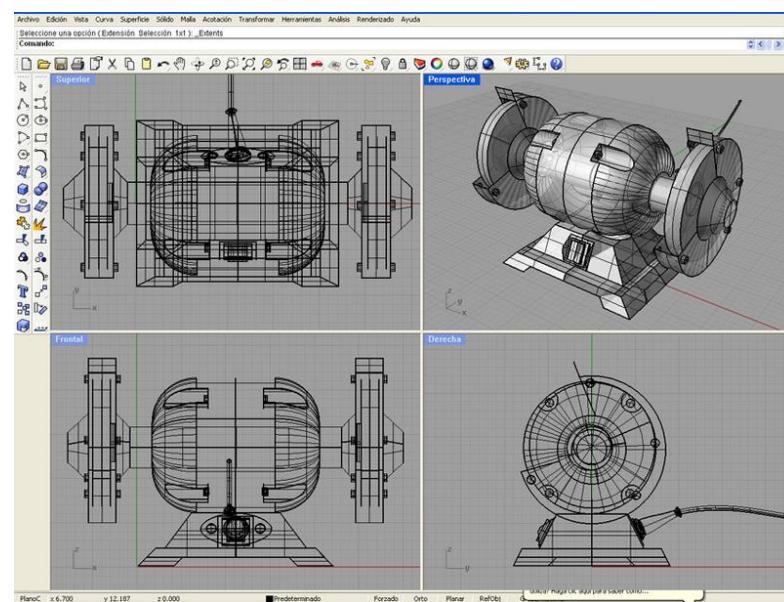


Figura 46: Modelado mecánico en Rhinoceros.

Recuperada de: <https://www.rhino3d.com/la/gallery/90/34604>

## 2.8.4 Autodesk Inventor

Es un paquete de modelado de sólidos en 3D que compite con otros programas de diseño asistido por computadora, pero específicamente sirve para el modelado de piezas mecánicas, documentación y simulación de productos [24].

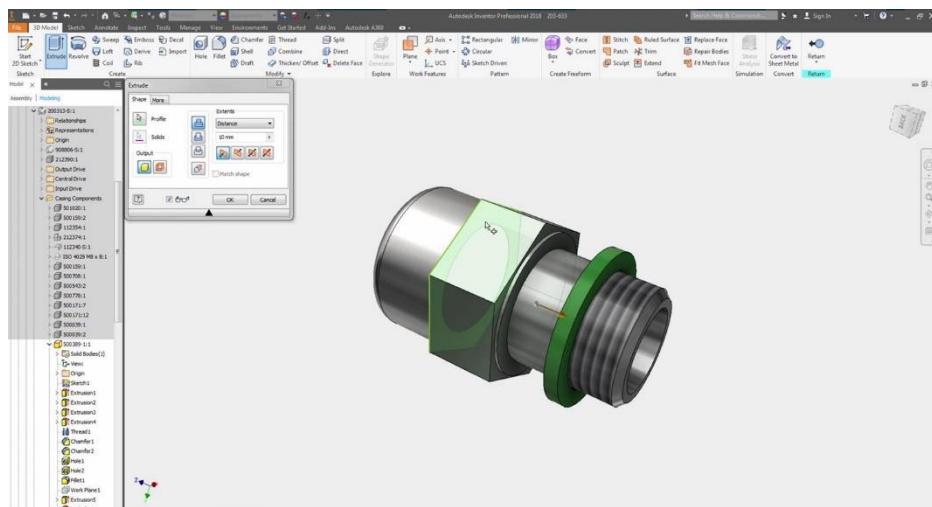


Figura 47: Modelado en Autodesk Inventor.

Recuperada de: <https://www.manandmachine.co.uk/product/inventor-introduction-to-solid-modelling/>

Destacando la importancia de los softwares para la modelación 3D, ya que sin éstos la impresión de figuras en 3D no sería posible.

## 2.9 Automatización con Arduino

Para la automatización se utiliza el *software* de control mediante *Arduino*, debido a las ventajas que tiene y su bajo costo.

Arduino contiene un *software* con una plataforma de hardware libre, por lo que cualquier persona puede hacer uso de este para prototipar utilizando placas con componentes electrónicos.



Figura 48: Logotipo de Arduino.

El *Arduino* es una placa basada en un microcontrolador (o comúnmente conocido como microchip), y el microcontrolador es un transmisor de información en el cual se pueden grabar instrucciones, activando un circuito para ejecutar una orden en un sistema o aparato electrónico [25].

Las instrucciones se escriben utilizando un lenguaje de programación que permite al usuario crear programas que interactúan con circuitos electrónicos.

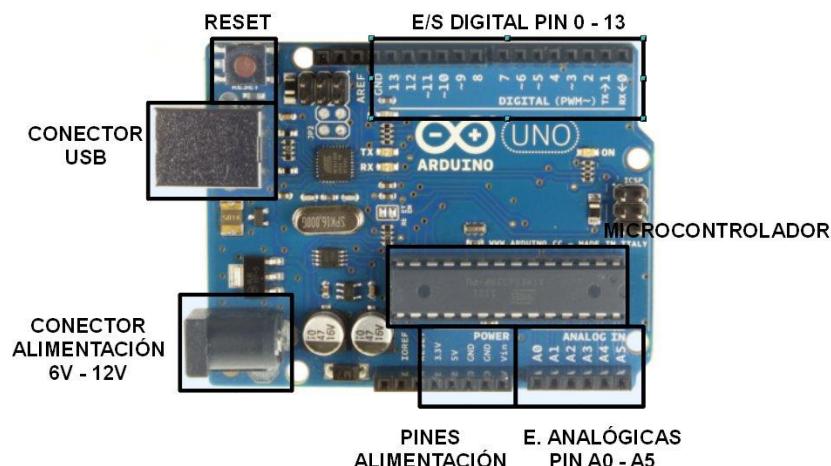
Sin embargo, la electrónica y el software de poco sirven si no hay un sistema mecánico para transmitir la fuerza del motor a la válvula, así como una forma mecánica de transmitir los ciclos de giro del vástago de la válvula para accionar botones de paro del motor cuando se alcancen la máxima posición de apertura/cierre de la válvula.

Lo anterior nos ha llevado a calcular, diseñar e imprimir un sistema de engranes integrados en una caja que se acopla a la válvula. En esta misma caja se incorpora el motor y la electrónica necesaria. El resultado es una válvula de apertura gradual que es funcional y permite ser controlada a través de *software* mediante microcontroladores *Arduino*.

### 2.9.1 Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado programable capaz de realizar operaciones matemáticas complejas a gran velocidad.

La alimentación de una placa de Arduino es mediante el puerto USB mientras se está programando. Una vez programado podemos desconectarlo del ordenador y que trabaje de forma autónoma y se alimenta Arduino mediante una fuente de alimentación o pila de 9V.



**Figura 49: Distribución de los pines en la placa de Arduino UNO.**

Recuperada de: <http://platea.pntic.mec.es/~mhidalgo/edubasica/01arduino/arduino01.html>

## 2.9.2 Sensores

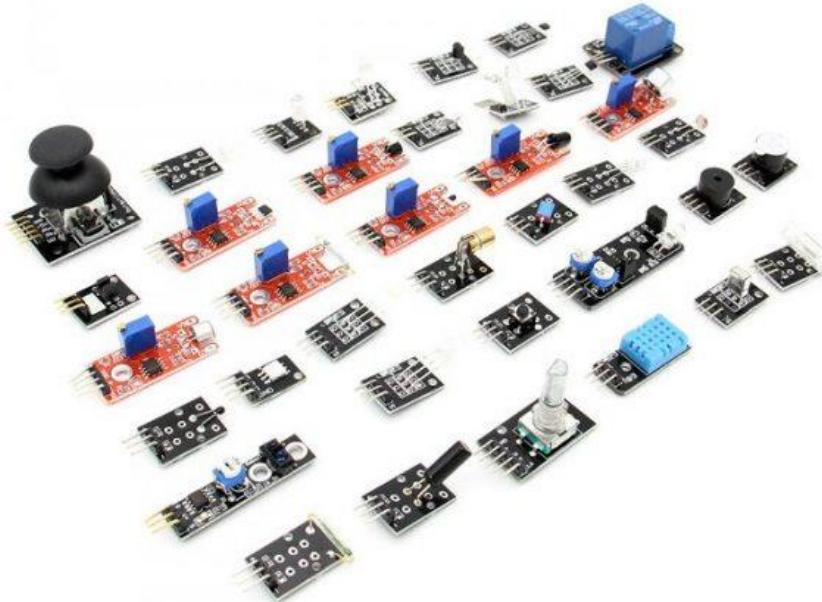
Un sensor [26] es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Las variables de instrumentación pueden ser, por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc.

Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad o un sensor capacitivo), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

Con ellos se pueden medir/leer las variables ambientales de nuestro entorno para poder tomar decisiones en función de los cambios en el entorno.

Algunos sensores son: Interruptor de choque, sensor de golpe, transmisor infrarrojo, transmisor laser, sensor de temperatura analógico, sensor de temperatura digital, interruptor de botón, módulo de cambio de inclinación, módulo LED de *flash* automático de 7 colores, sensor de voz altamente sensible, sensor de llama, sensor de gas MQ-2, mando a distancia, cables de puente (macho a hembra), entre otros.



**Figura 50: Sensores para Arduino.**

Recuperada de: <https://www.carrod.mx/products/kit-de-37-sensores-para-arduino>

### 2.9.2.1 Sensor analógico en el Arduino

El sensor de presión utilizado está catalogado como un sensor analógico [27]. Los sensores analógicos normalmente se componen de tres pines: positivo, masa y salida de voltaje analógica.

Estas salidas de voltaje analógico se conectan a las entradas analógicas de Arduino para poder medir la variable del sensor.

Las placas Arduino disponen de varias entradas analógicas. En el caso del *Arduino Uno*, tiene 6 pines analógicos. Estos pines aceptan un voltaje máximo de 5V. La mayoría de los sensores analógicos se pueden alimentar a 5V por lo que su voltaje máximo de salida será este. En la Figura 51 se puede observar cómo se conecta un sensor analógico en *Arduino*.

Para poder obtener la variable del sensor en el código *Arduino*, se deben seguir 3 pasos:

1. ADC del voltaje analógico procedente del sensor.
2. Obtener el voltaje del sensor
3. Obtener la variable del sensor

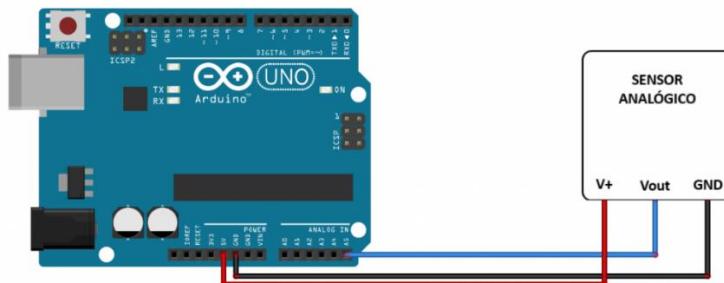


Figura 51: Forma de conectar el sensor analógico a la placa de Arduino UNO.

Recuperada de: <http://diymakers.es/sensores-en-entradas-analogicas-de-arduino/>

### 2.9.3 Sistemas fin de carrera

Dentro de los sistemas final de carrera existen los pulsadores o botones, los cuales funcionan por lo general como un interruptor eléctrico, pues en su interior tiene dos contactos [28].



Figura 52: Microrruptor o final de carrera.

Recuperada de: <https://elblogdelprofesordetecnologia.blogspot.com/2016/02/microrruptor-o-final-de-carrera.html>

### 2.9.3.1 Pulsadores

Un pulsador es un operador eléctrico que, cuando se oprime, permite el paso de la corriente eléctrica y, cuando se deja de oprimir, lo interrumpe [29].

### 2.9.3.2 Interruptores

Un interruptor es un operador eléctrico cuya función es abrir o cerrar un circuito de forma permanente. Al accionarlo, hacemos que varíe su posición, abriendo un circuito que estaba cerrado o cerrando uno que estaba abierto, y permanece así hasta que lo volvamos a accionar. Los hay normalmente abiertos (NA) o normalmente cerrados (NC).

Al ser pulsado uno, se activará la función inversa de la que en ese momento este realizando, si es un dispositivo NA será cerrado, si es un dispositivo NC será abierto.

### 2.9.3.3 Variaciones

**Por temperatura:** Constan de una lámina que se deforma con la temperatura y hace contacto con otra que está inmóvil. El termostato de una plancha eléctrica funciona al revés: cuando aumenta la temperatura, la lámina se deforma, abre el contacto y deja de calentar.

**Por presión:** Se accionan por la presión que ejerce un fluido. Por ejemplo, por la presión del aceite, en el caso del testigo de un automóvil, o del agua, en el caso de la electroválvula de cierre de paso del agua a la lavadora.

**Por campos magnéticos:** Es el caso de los llamados interruptores REED, que constan de dos láminas metálicas separadas que están colocadas dentro de una ampolla de vidrio. Al acercarles un imán, las láminas se unen y cierran el circuito.

**Por la propia corriente eléctrica:** Su funcionamiento está basado en el electroimán: un núcleo de acero que se magnetiza al pasar la corriente por una bobina de cobre que tiene a su alrededor.

## 2.9.4 Motorreductores

Los reductores de velocidad con sistemas formados por engranajes que hacen que los motores eléctricos funcionen a distintas velocidades. Hay una amplia gama de reductores de velocidad o motorreductores, aunque hay que señalar que existen diferentes modelos que se diferencian por su forma, por su disposición del montaje y resistencia [30].

Algunas de las ventajas de usar este tipo de motores son: Mayor eficacia en la transmisión de la potencia prestada por el motor eléctrico, se aumenta la seguridad en la transmisión asegurando un menor mantenimiento, se requiere de menor espacio y mejor rigidez para el montaje, aumentan el par del motor, pero reducen la velocidad.

La combinación de potencia, par y velocidad en un motorreductor está regida por la siguiente fórmula:

$$\text{PAR (en kg-m)} = \frac{\text{Potencia (en HP)} \times 716}{\text{Velocidad de Giro de la flecha del motorreductor (RPM)}}$$

RPM= Número de giros de la flecha por minuto.

Ecuación 1: Ecuación del torque.

$$T = \frac{HP \times 716}{RPM} \quad \text{en kg-m}$$

Como puede verse en la fórmula, para una potencia dada, cuanto más baja sea la velocidad final de giro de la flecha del motorreductor, más alto será el par, aunque la potencia siga siendo la misma. Inversamente: Cuanto más alta sea la velocidad final del reductor o motorreductor, tanto más bajo será el par aun cuando la potencia sea la misma [31].

Se propone la utilización de un motorreductor de corriente directa con un eje tipo "D", alimentación de 6 a 12 volts, torque de 2kg/cm y dimensiones de 35.5 x 12 x 10 mm para que entre en la carcasa del sistema de automatización.



Figura 53: Motor reductor a utilizar.

Recuperada de: <https://www.steren.com.mx/motor-reductor-metalico-con-eje-tipo-d-6-v.html>

## CAPITULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

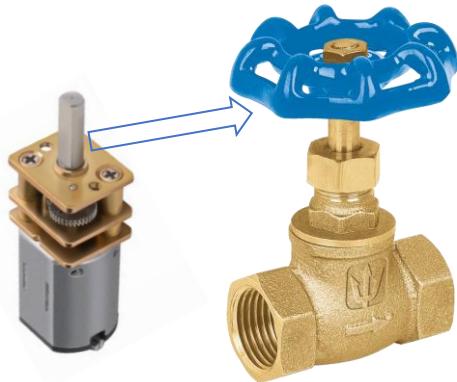
---

### 3.1 Diseño del sistema de engranajes y caja de integración

#### 3.1.1 Dimensionamiento del sistema de engranajes

Tanto la válvula de compuerta como la de mariposa resultaron viables para regular la presión en el simulador de lluvia, pero se utilizó la de compuerta debido a que los valores de presión pueden ser más fáciles de controlar por su cierre no inmediato, la caída de presión es menor, produce menos turbulencia y en diámetros menores casi no existe vibración en el eje.

Para la automatización de la apertura y cierre de la válvula se utilizó un motorreductor de corriente directa para transmitir la fuerza, a través del eje tipo D, al vástago de la válvula de compuerta mediante la adaptación de un respectivo engranaje para cada uno.



**Figura 54: Uso del motor reductor para la transmisión de fuerza para giro del motor a la válvula de compuerta de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro.**

Una vez se estableció el mecanismo de transmisión de la fuerza del motor para hacer girar la válvula, se procedió al cálculo de un sistema de engranajes para que mientras la válvula de compuerta gira  $3 \frac{1}{4}$  de vueltas, ya sea para abrir o cerrar en su respectivo sentido, exista otro engrane que gire una sola vuelta completa.

Este sistema de reducción del número de giros es posible debido al sistema de los 3 engranajes reductores con engranes A y B unidos en uno mismo de 1.6 y 0.9 cm de diámetro respectivamente hasta llegar a un engrane objetivo de 2.59 cm de diámetro, el cual tiene un sistema de topes los cuales sirven para presionar uno u otro interruptor para el paro y cambio de giro del motor y tanto la válvula como el motor no se fuercen.

El cálculo del diámetro de cada uno de engranes se hizo mediante la utilización de una hoja de *Microsoft Excel* llevando a cabo la metodología representada en el siguiente diagrama:



Figura 55: Esquema de cálculo con fórmulas implementadas para el cálculo de diámetros del sistema de engranes. Cálculos para reducir a 0.85 vueltas en el engrane objetivo desde las 3.25 vueltas del engrane origen.

CALCULADORA DE DISTANCIAS ENTRE ENGRANES				
	Diámetro cm	RADIO mm	GIROS	Recorrido mm
<b>ENGRANE ORIGEN</b>	<b>3.8</b>	• 19	• 3.25	• 387.99
INTERMEDIO 1	1.6	• 8	• 7.71875	387.99
INTERMEDIO 1B	0.9	• 4.5	• 7.71875	218.24
INTERMEDIO 2	1.6	• 8	• 4.34179688	218.24
INTERMEDIO 2B	0.9	• 4.5	• 4.34179688	122.761
INTERMEDIO 3	1.6	• 8	• 2.14226074	122.761
INTERMEDIO 3B	0.9	• 4.5	• 2.14226074	69.053
<b>ENGRANE OBJETIVO</b>	<b>2.59</b>	• 12.93	• 0.85	• 69.053

Figura 56: Se puede observar los datos iniciales y como se fue llevando el cálculo del recorrido final que se quiso dar para llegar al engrane objetivo con un giro de 0.85 vueltas.

### 3.1.2 Software para diseño de engranajes

Para facilitar el modelado del sistema de engranajes se utilizó la página de internet llamada *Geargenerator*.

*“Geargenerator es una herramienta para crear engranajes rectos envolventes y descargarlos en formato DXF o SVG. Además, le permite componer diseños completos de engranajes con engranajes conectados para diseñar un sistema de engranajes múltiples con control de la relación de entrada / salida y la velocidad de rotación. Los engranajes se pueden animar con varias velocidades para demostrar el mecanismo de trabajo”* [0].

Una característica de esta herramienta en línea es que te permite personalizar y modificar las propiedades de los engranes, como lo son: El número de dientes del engrane, el ángulo de conexión, los diámetros interno y externo, el ángulo de presión, etiquetas, etcétera.

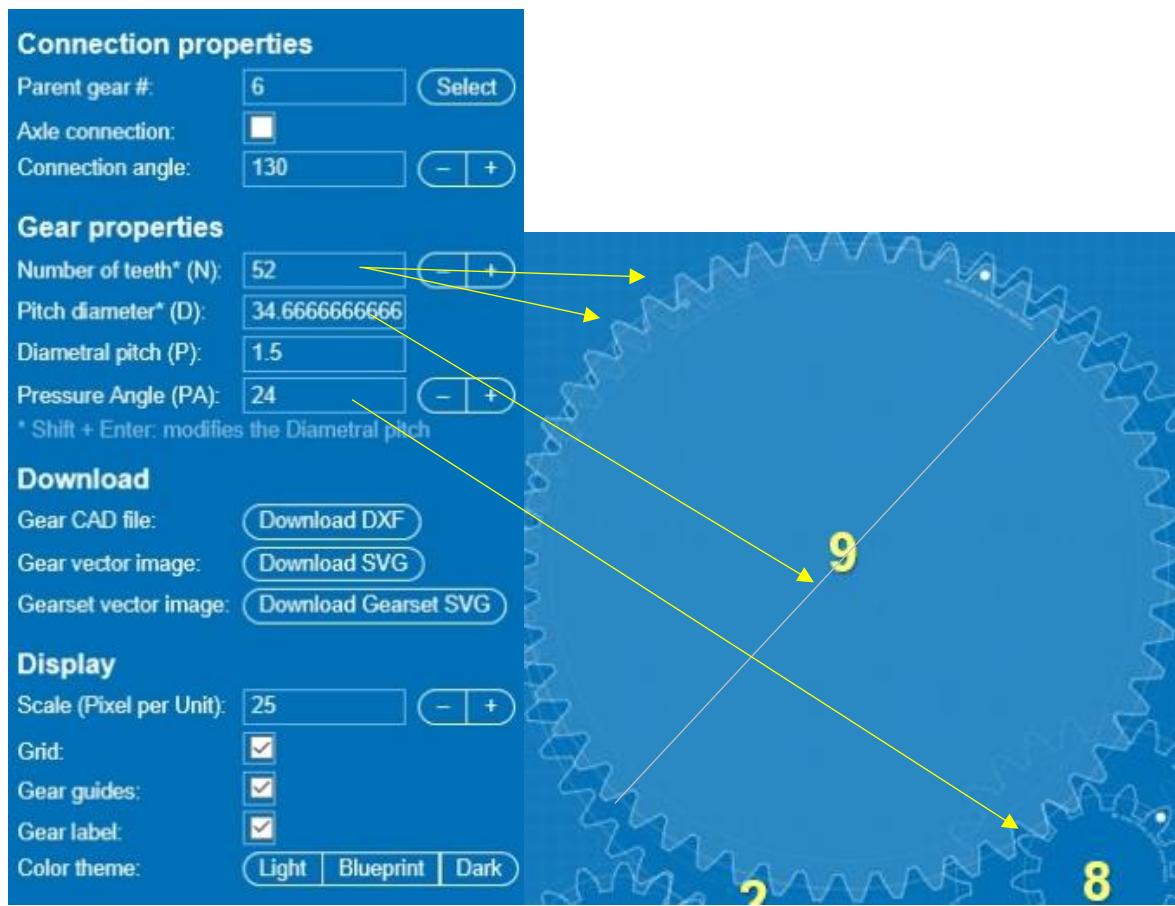
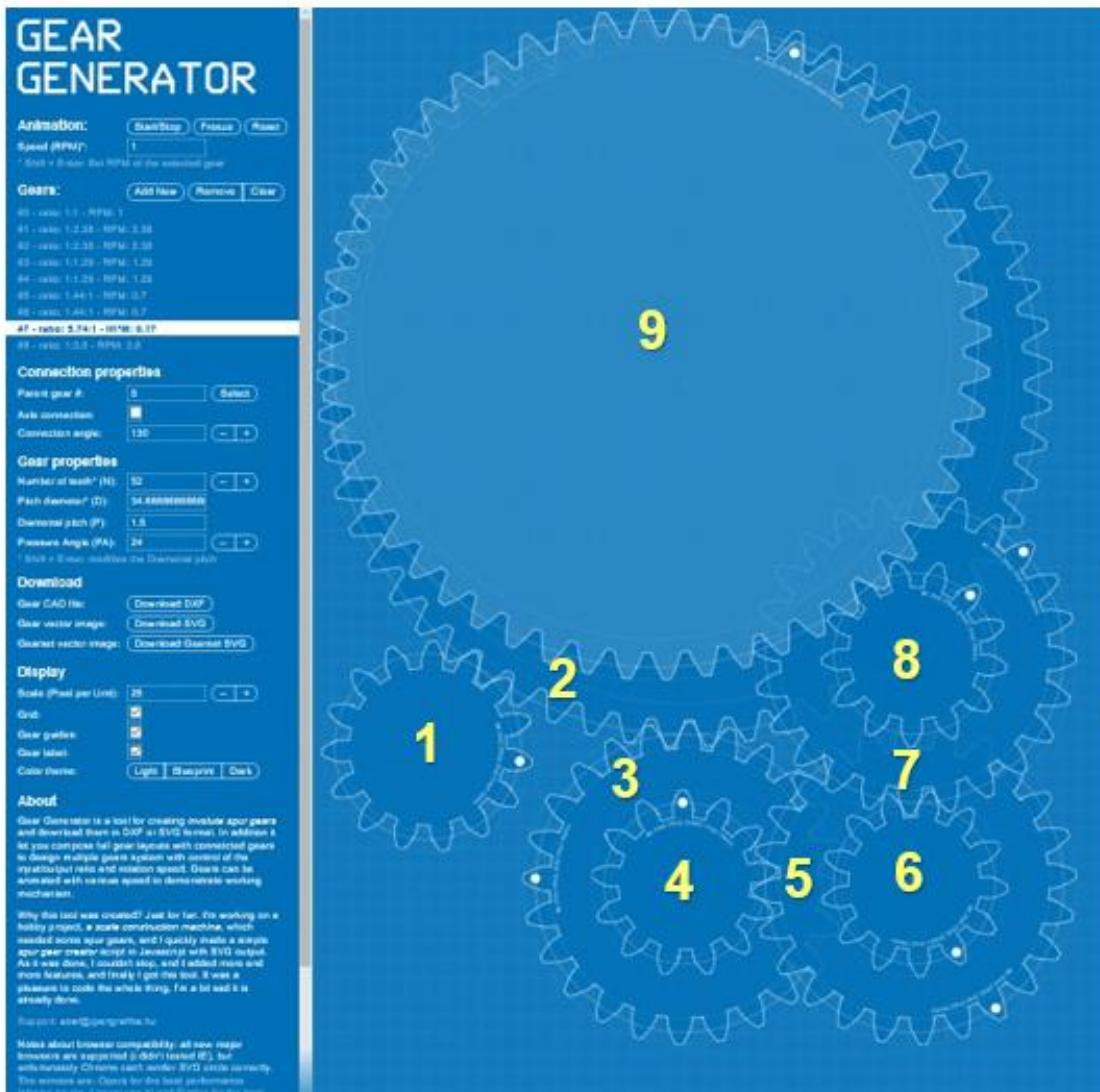


Figura 56: Valores de los engranes modificables en Gear Generator enlazados con su figura.



**Figura 57:** Orden de transmisión de la fuerza del motor por el sistema de engranajes del engrane 1 al 9.

A continuación, se describen las características de cada uno de los engranes en la Tabla 1

Tabla 1. Engranes con número de dientes y diámetro.

Etiqueta No.	Nombre	No. de dientes	Diametral pitch (P) mm
1	Engrane motor 1	15	10
2	Engrane válvula	57	38
3	Engrane 3	24	16
4	Engrane 3.1	13	8.66
5	Engrane 4	24	16
6	Engrane 4.1	13	8.66
7	Engrane 5	24	16
8	Engrane 5.1	13	8.66
9	Engrane 6 topes	52	34.66

Una vez se obtuvo el sistema de engranajes ideal, se procedió a la exportación de los archivos desde la página web a archivos con terminación DXF para modelarlos con volumen en el software Rhinoceros.

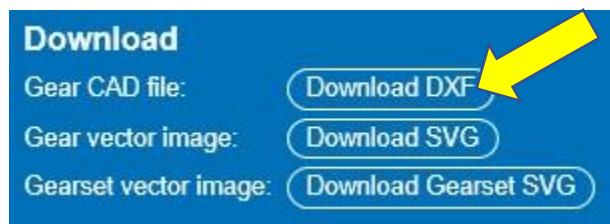


Figura 58: Conversión de archivos a formato DXF.

### 3.1.3 Diseño 3D de engranajes y caja de integración

Para el diseño general tanto de los engranajes extruidos como todo el mecanismo de automatización se utilizó el software *Rhinoceros* debido a sus características, las cuales harían el diseño aún más eficiente.



Figura 59: Software de diseño Rhinoceros.

Una vez se tuvo cada engrane guardado como un archivo en formato .DXF, ya una vez dentro de un archivo nuevo de *Rhinoceros* se procedió a importarlo con el comando *Archivo > Importar* con los valores por defecto y la figura se mantiene con el mismo valor del diámetro y se coloca en valor 0 de los ejes X, Y, Z.

Estando ya en el software *Rhinoceros*, se procedió al modelado volumétrico de cada uno de los engranajes, comenzando por el engrane 1 motor.

Para el mismo, se le tuvo que hacer una adaptación intermedia en forma de “D” para que se adaptara dentro del eje del motor y pudiera transferirse el movimiento a todo el sistema.

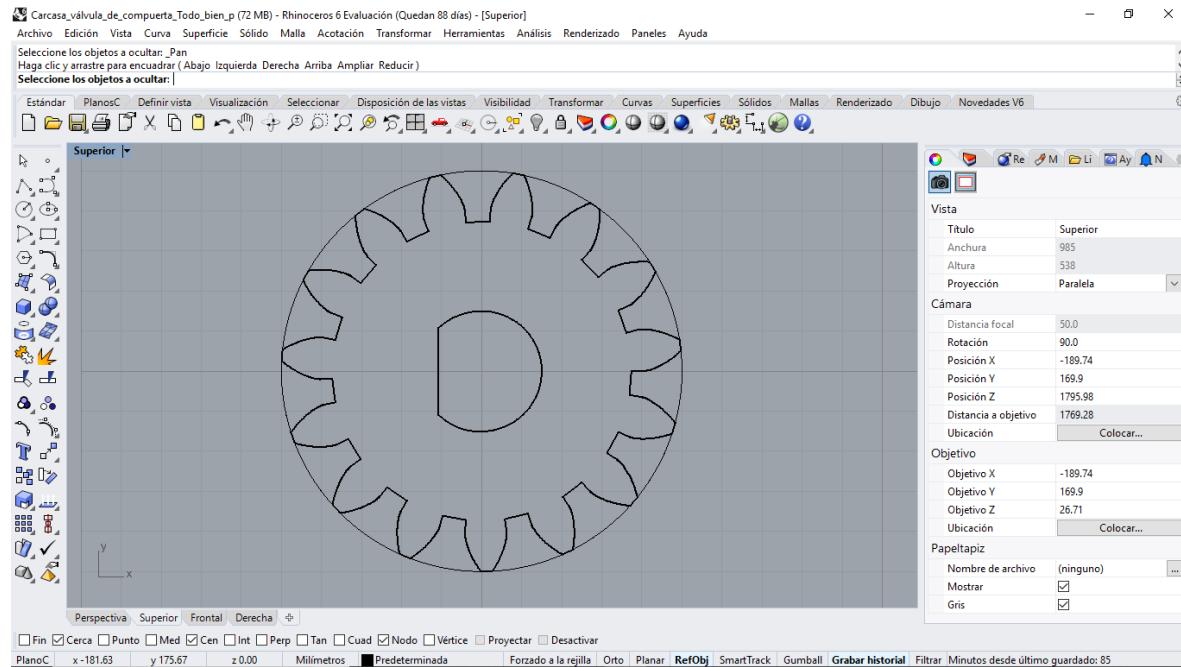
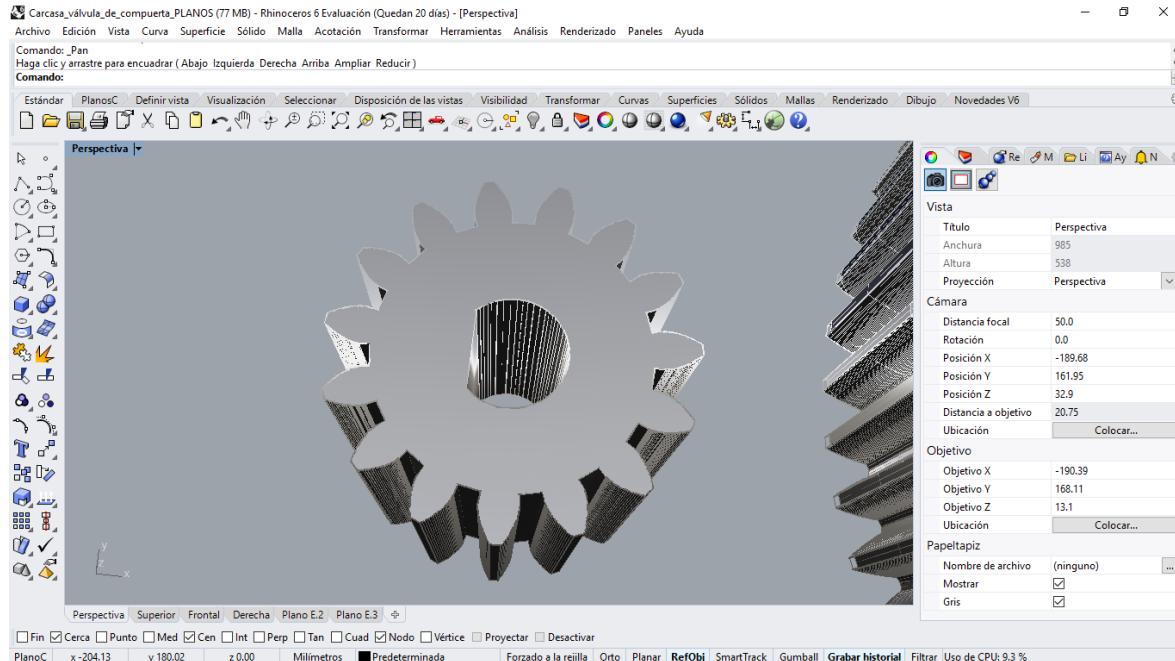


Figura 60: Engrane 1 motor dentro del área de trabajo de Rhinoceros rodeado por el diámetro exterior.

Una vez teniendo la polilínea escalada en milímetros, se procedió a darle una altura correspondiente a los 9 mm.

El mismo proceso se hizo para los demás engranes hasta llegar al engrane número 9 de los topes para los interruptores.



**Figura 61:: Extrusión de las polilíneas para darle la altura necesaria.**

El mismo proceso se hizo con todas las piezas que conforman el sistema mecánico para la automatización de la valvula y una vez que se confirmó el diseño final se procedió al modelado para la impresión de las piezas.

### 3.2 Impresión 3D

Para poder imprimir las figuras en tercera dimensión diseñadas dentro del *software Rhinoceros*, primero que nada, es necesario que sea un único objeto sólido, porque de lo contrario el software que traduce del formato de CAD al formato que puede leer la impresora marcará un error. También es importante que, si se van a imprimir dos figuras para unirse o colocarse una dentro de otra posteriormente, es necesario dejar una holgura que puede variar pero que en general para los engranes es de 0.3 mm.

Cabe resaltar que esta holgura no es una regla para cualquier material, sino que es una regla solamente para el material que estamos utilizando, para la escala de impresión que estamos haciendo y para el porcentaje de huecos que estamos manejando.

Si hicieramos un engrane de 10 cm seguramente no nos serviría esta regla de 0.3 mm porque la retracción del material no es lineal, es función del tamaño de la pieza y del porcentaje de huecos que esta tenga.

### 3.2.1 Exportar de Rhinoceros a formato de impresión

Una vez se tuvieron las figuras listas en el modelado 3D se necesitó exportar la selección de la o las figuras que queríamos imprimir. Se recomienda imprimir una por una asegurándose de que el objeto esté correctamente unido.

Para exportar cada una de las figuras se usa el comando *Archivo > Exportar* y lo guardamos como un nuevo archivo en formato estereolitografía. STL con los parámetros por defecto.

### 3.2.2 Preparación de impresión

Para el modelado de impresión de las piezas se utilizó el software ideaMaker.



Figura 62: Software preimpresión de objetos ideaMaker.

Ya estando en el ideaMaker primero se configuró el tipo de filamento que se iba a utilizar.

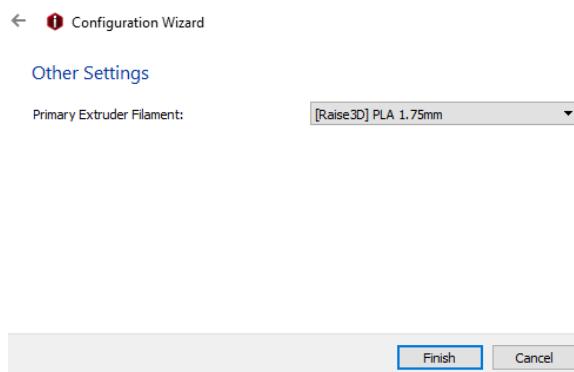


Figura 63: Configuración del tipo de filamento.

Posteriormente se importó el objeto en formato. stl previamente exportado desde Rhinoceros desde el botón: *Add*.

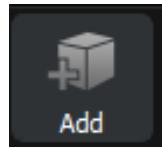


Figura 64: Botón *Add*.

Ya una vez importado el archivo se aseguró que las dimensiones coincidieran con las del modelado, en ocasiones se utilizó como unidades de dibujo los cm en Rhinoceros, lo cual es interpretado por ideamaker como unidades de mm.



Figura 65: Botón *Scale*.

Si fuera el caso, se puede corregir re-escalando el dibujo en IdeaMaker, se pudo haber corregido también escalando el archivo a sus dimensiones deseadas con el botón *Scale* o bien con *Repair*.

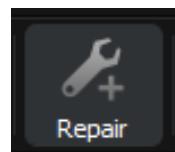


Figura 66: Botón *Repair*.

Cuando el objeto ya no mostró errores, se hizo una revisión del objeto para detectar si alguna cara quedaba hacia la parte baja y sin soportes y de ser así era necesario colocar soportes para que la impresión no se callera; todo esto se hace desde el botón *Support*.

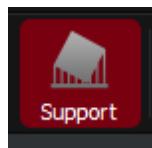
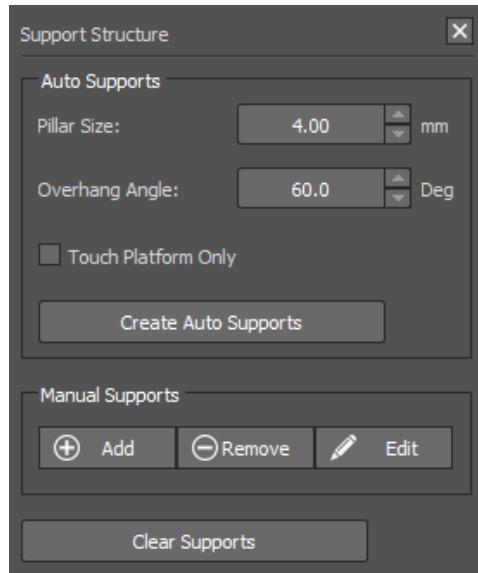


Figura 67: Botón *Support*.

A continuación, este despegó otro menú para configurar el tamaño de los pilares y el ángulo saliente y para esto se pudo hacer manual o automáticamente desde la opción: *Create Auto Supports*.

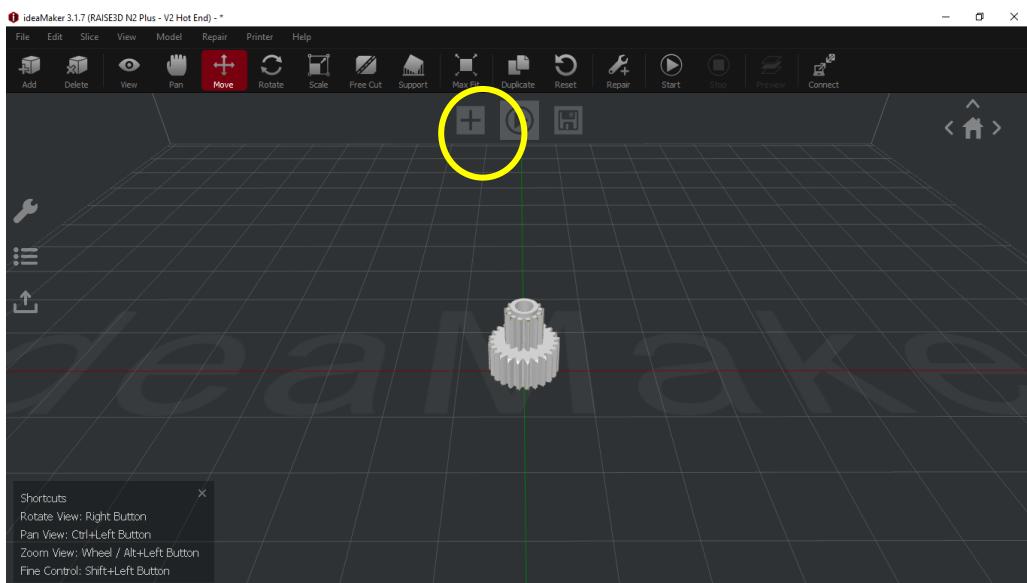
Desde este menú también se pueden borrar o añadir nuevamente los soportes en caso de tener algún error.



**Figura 68:** Menú de soportes en impresión.

Se procedió al botón *Start Slicing*, donde nos desplegó un menú para configurar la calidad de impresión, las cuales pueden ir desde la calidad alta, estándar o rápida.

Se recomienda usar una calidad alta si la impresión es de objetos pequeños o bien la impresión rápida si se manejan objetos muy grandes y no tiene detalles.



**Figura 69:** Botón *Start Slicing*.

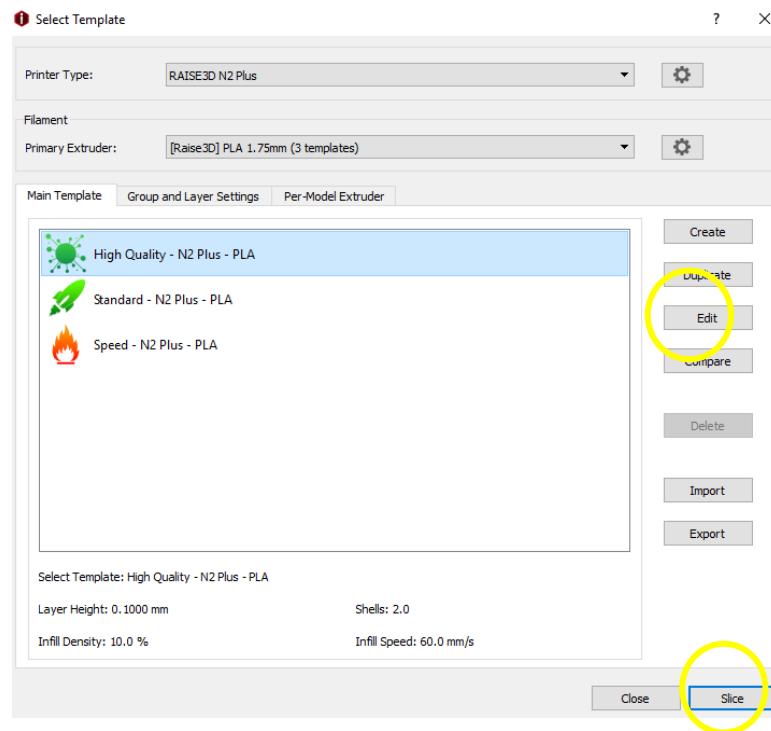


Figura 70: Selección de la calidad de impresión, editar parámetros y *Slice*.

Una vez se eligió el tipo de calidad de impresión se modificaron otros parámetros apretando el botón *Edit* como lo son la Intensidad del relleno en %, el número de capas, soportes y una plataforma que ayuda a que la impresión se mantenga más estable desde la base. Se guardan los cambios y se le da al comando *Slice*.

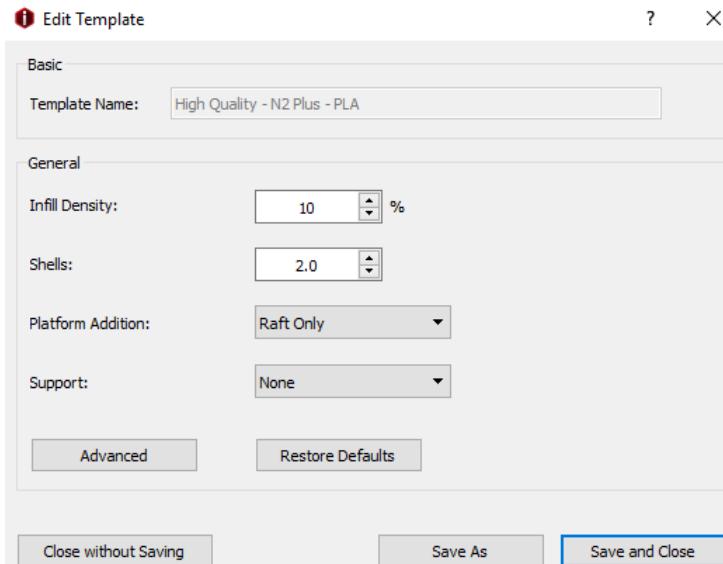


Figura 71: Configuración de intensidad de relleno, capas, plataforma y soportes.

Después del comando *Slice*, el ideaMaker desplegó un menú con el nombre del archivo, el tiempo estimado de impresión, la cantidad de gramos de impresión y un precio estimado para después exportarlo

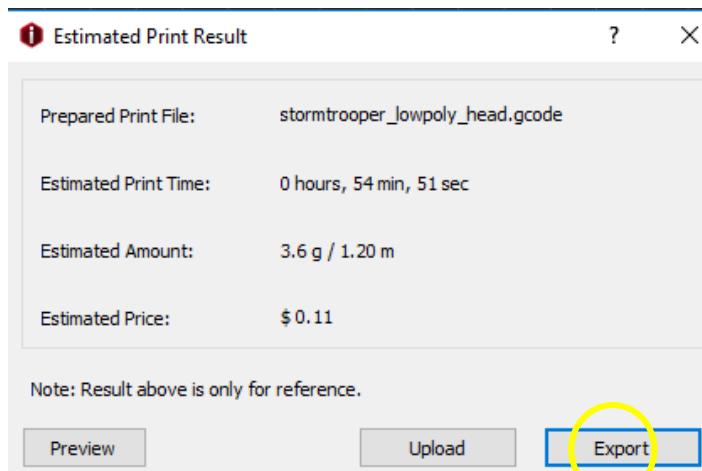


Figura 72: Resultado estimado de la impresión.

El archivo listo para imprimir se guarda con terminación. gcode en una memoria USB para después ingresarla dentro de uno de los puertos de la impresora *Raise 3D N2 Plus*.

### 3.2.3 Configuración de impresora Raise 3D N2 plus

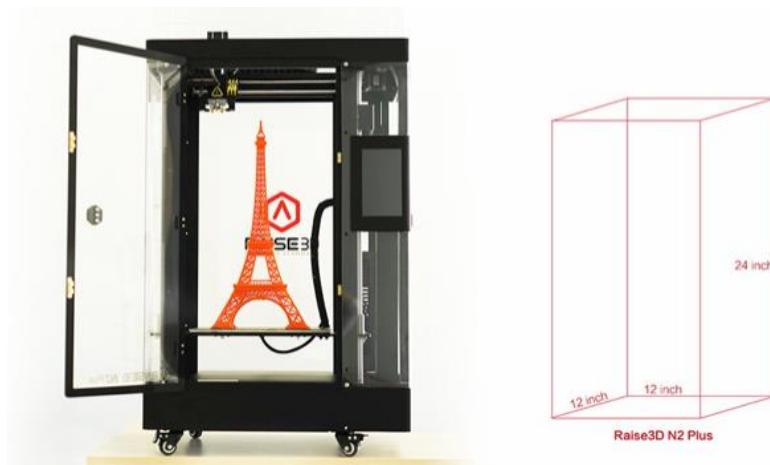


Figura 73: Impresora utilizada.

Recuperada de: <https://www.pebblereka.com/product-page/raise3d-n2-plus>

Antes de imprimir el archivo es importante calentar el extrusor de la impresora para posteriormente colocar el filamento de impresión dentro de su guía, para que el sistema de rodamiento del extrusor lo derrita y quede listo para la impresión. En este caso se utilizó la temperatura de 215°C.

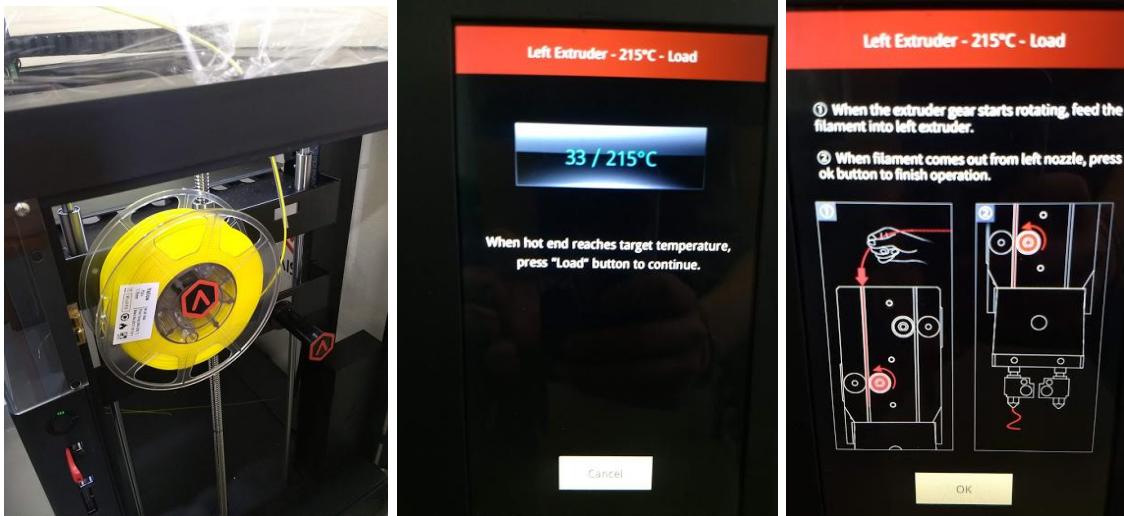


Figura 74: Intrusión del filamento en rollo a la boquilla.

Se puede observar que el filamento ya ha pasado por el sistema de rodamientos y comienza a salir por la boquilla, después de esto le damos en el botón *Ok* y continuamos la configuración de nuestra impresión.

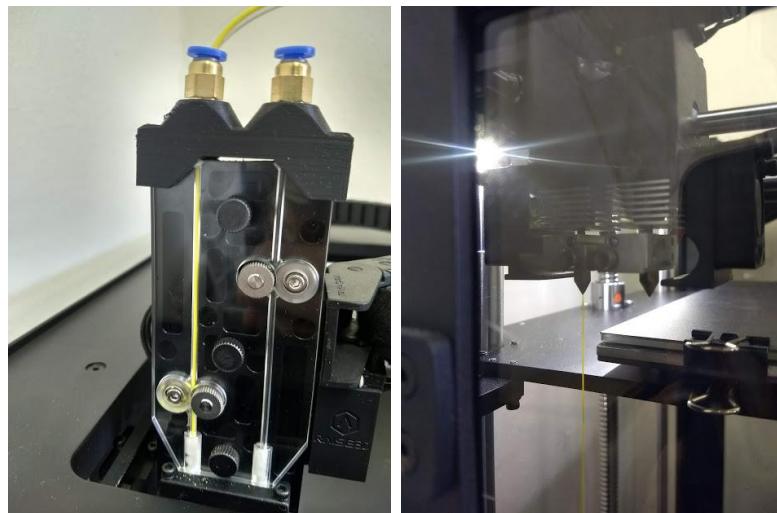


Figura 75: Entrada de filamento por la boquilla previamente calentada.

Una manera de conseguir la temperatura adecuada para un material es realizar pruebas de impresión a distintas temperaturas.

Además, debemos tener en cuenta que si el color del filamento es más oscuro necesita más temperatura de extrusión debido a los propios aditivos de coloración del filamento. En función del color del filamento puede llegar a variar la temperatura hasta 5 °C imprimiendo a la misma velocidad (Tanto al alza como a la baja).

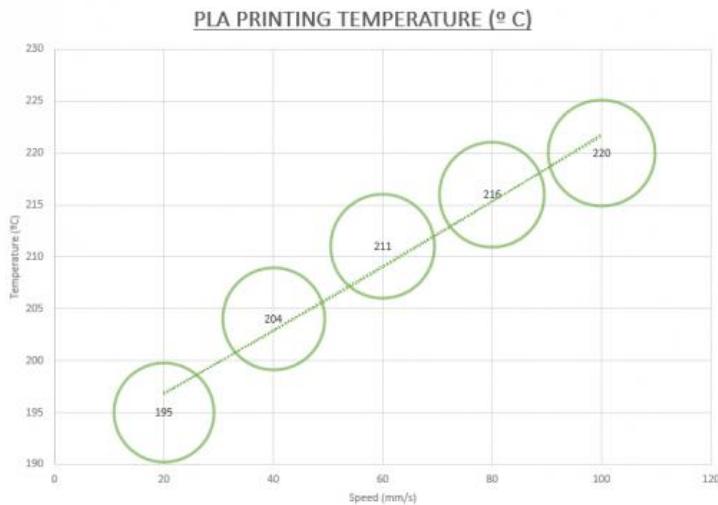


Figura 76: Gráfico de la temperatura de impresión según la velocidad para el material PLA.

Recuperada de: <http://sololectronicos.com/2017/11/10/cual-es-la-temperatura-ideal-del-extrusor-para-imprimir-en-pla-y-abs/>

Dentro de la pantalla táctil de la impresora se configuraron los parámetros de temperatura y velocidad.



Figura 77: Configuración de parámetros de impresión.

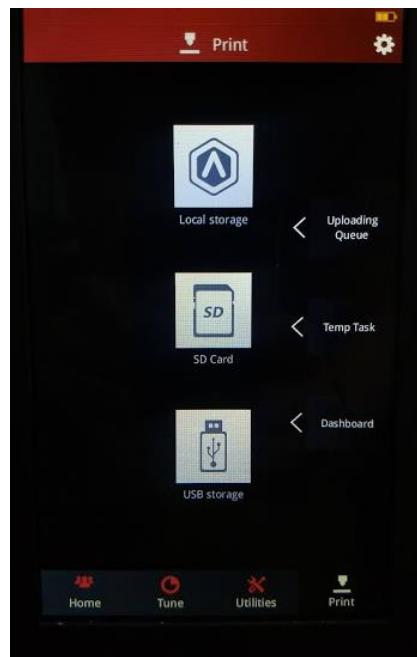


Figura 78: Selección del objeto a imprimir desde la USB.

Mientras se imprimió cualquiera de los archivos era posible observar el tiempo restante de impresión con una figura digital de los mismos.

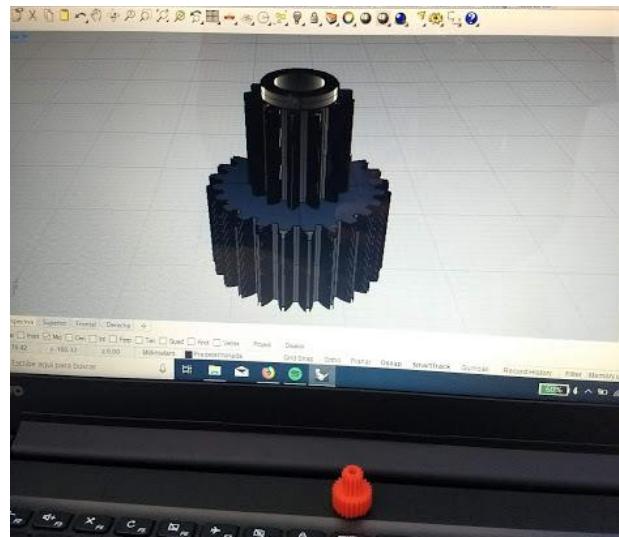


Figura 79: Objeto impreso.

Ya una vez teniendo nuestros objetos impresos se procedió a la descarga de nuestro filamento y para esto nuevamente se calentó a la temperatura de 215°C y se guardó

el rollo de filamento en una bolsa para evitar que este se reseque o humedezca (los filamentos flexibles tienden a ganar humedad).



Figura 80: Descarga de rollo de filamento.

### 3.3 La automatización con Arduino

Esta válvula se desarrolló de forma paralela con la tesis de Licenciatura de J. Eduardo Padrón [27]. Dicha tesis tiene por objetivo, gestionar los flujos que envía el simulador de lluvia a la boquilla de aspersión, así como el sistema de apertura y cierre.

#### 3.3.1 Motorreductor

La conexión del motorreductor de corriente directa con el *Arduino* tiene como función controlar el sistema de giro en función de los parámetros del simulador de lluvia.

A continuación, se muestra cómo se controló un motor de corriente continua con el controlador L298 utilizando la placa *Arduino uno*. Para controlar el motor sólo se utilizaron dos pines del *Arduino*. El sentido de giro del motor dependerá si se envía un uno o un cero.

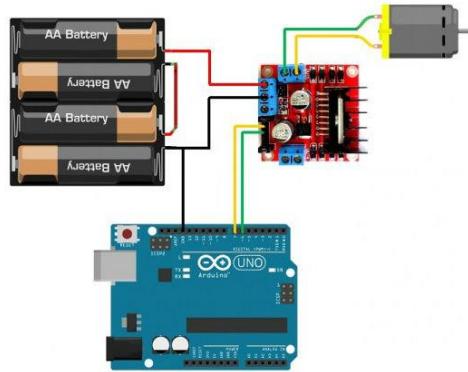


Figura 81: Conexión fuente externa de energía-Arduino-L298N.

Recuperada de: <https://www.electrontools.com/Home/WP/2016/05/06/puente-h-con-driver-l298/>

Lo más sencillo es conectar primero los cables de alimentación y GND del soporte para pilas al *L298N*, pasando antes por el interruptor que se coloca para poder encenderlo y apagarlo fácilmente.

El cable negro se conecta directamente al GND del *L298N*, y será el cable rojo el que pasa por el interruptor. Para ello se corta y suelda a una de las patas metálicas del interruptor (da igual a cuál), y la parte sobrante de cable se conecta a la otra parte del interruptor, y de ahí a la alimentación del módulo *L298N*.

El resto de los cables se conectan como se observa en el esquema eléctrico de la Figura 81, tratando de utilizar cables de colores diferentes y de la forma más ordenada posible, para asumir el menor riesgo a errores humanos [27].

### 3.3.2 Sensor de presión

El aumento o disminución de la presión, durante la operación del simulador de lluvia, tiene como principal objetivo aumentar o disminuir la intensidad de lluvia durante los experimentos.

El equipo debe estar provisto por manómetros con rango de presiones entre los 0 y 10 Bares, con la finalidad de que indiquen la presión de trabajo en todo momento.

Para gestionar el sensor de presión solo se necesita conectarlo a la placa Arduino y ésta al monitor con los parámetros de intensidad de lluvia deseados [27].



Figura 82: Manómetro de presión utilizado.

### 3.3.3 Botones de paro general

Para el alto y cambio de giro del motor cuando la válvula haya cerrado o abierto completamente su compuerta, se utilizaron dos micro pulsadores de 2 terminales abiertos, los cuales se activan cuando la extensión del último engrane los presiona.



Figura 83: Micro pulsador cerrado.

### 3.3.4 Control por PID (Algoritmo proporcional, integral y derivativo)

El control inteligente por software, para controlar la apertura y cierre hacia valores de presión objetivo, se ha hecho mediante un control *PID*, el cual, ha sido desarrollado en colaboración y los resultados del funcionamiento de este control son satisfactorios pues sirven para controlar flujo como se ha propuesto [27].

La función del controlador es crear una conexión para responder a puntos de valores deseados en el proceso, en este caso presión. Los valores de presión objetivo son las condiciones externas que cambian el requerimiento en un sistema de control y

que causa cambios a lo largo del proceso. La interfaz de usuario (controlador) es quien toma las decisiones que afectan las variables del proceso por lo que el papel de su estructura es indispensable.

El sistema PID es una herramienta que se ajusta a la tasa de cambio de la variable. Aunque, para el caso de la válvula reguladora de presión se necesitaron cambios de mayor rapidez y precisión, y con ello poder compensar el cambio y aumentar la precisión de los valores requeridos de forma rápida.

Para que el *PID* sea aplicado en Arduino el código de control del motor *DC* y de el sensor no cambian, lo que cambian son las variables dadas de alta al principio. Estas variables son utilizadas por el *PID* para hacer los movimientos en el motor y llegar al valor óptimo.

### 3.4 Desarrollo experimental

El primer paso para la automatización de la válvula tiene como objetivo el abrirla y cerrarla completamente. Para ello, se necesitaba una fuente mecánica donde no interviera la fuerza humana y se recurrió a un motor pequeño conectado a una fuente de poder.

Una vez que se contó con el motor que se ajustaba al sistema, se procedió al diseño de un engrane con una entrada para el eje tipo “D” del motor con pocos dientes, con la intención de transmitir la fuerza del motor a la válvula de compuerta.

El siguiente paso fue el diseño del tamaño y el número de dientes, así como el hueco de entrada, ajustable a la válvula. Para ello se hizo uso de *Geargenerator*, dónde se diseñó todo el sistema de engranajes, comenzando por el engrane del motor, después pasando al engrane de la válvula, después 6 engranes conectados entre sí, para reducir el recorrido del engrane que cierra y abre la válvula de  $3 \frac{1}{4}$  vueltas a 0.85 vueltas para poder utilizar los finales de carrera.

La elección de los materiales para la construcción del sistema de automatización física de la válvula se hizo mediante una revisión bibliográfica de las especificaciones que requiere el equipo a utilizar. Para la modelación del sistema de engranajes se utilizó una herramienta de internet llamada *Geargenerator*, para la modelación de volumetrías de los engranajes y todo el sistema físico se utilizó el software *Rhinoceros*, para el modelamiento de las impresiones se utilizó el software *ideaMaker* y para la impresión de los componentes una impresora *Raise 3D N2 Plus*.

## CAPITULO 4. RESULTADOS

### 4.1 Diámetros finales de los engranes

El cálculo del diámetro de cada uno de engranes se hizo mediante la utilización de *Microsoft Excel*.

Tabla 2. Diámetros en Excel.

CALCULADORA DE DISTANCIAS ENTRE ENGRANES

ENGRANE ORIGEN	Diámetro cm	RADIO mm	GIROS	Recorrido mm
	<b>3.8</b>	<b>19</b>	<b>3.25</b>	<b>387.99</b>
INTERMEDIO 1	<b>1.6</b>	<b>8</b>	<b>7.71875</b>	<b>387.99</b>
INTERMEDIO 1B	<b>0.9</b>	<b>4.5</b>	<b>7.71875</b>	<b>218.24</b>
INTERMEDIO 2	<b>1.6</b>	<b>8</b>	<b>4.341796875</b>	<b>218.24</b>
INTERMEDIO 2B	<b>0.9</b>	<b>4.5</b>	<b>4.341796875</b>	<b>122.761</b>
INTERMEDIO 3	<b>1.6</b>	<b>8</b>	<b>2.442260742</b>	<b>122.761</b>
INTERMEDIO 3B	<b>0.9</b>	<b>4.5</b>	<b>2.442260742</b>	<b>69.053</b>
<b>ENGRANE OBJETIVO</b>	<b>2.59</b>	<b>12.93</b>	<b>0.85</b>	<b>69.053</b>

Por lo que al final, el engrane objetivo tendría 2.59 cm. de diámetro respectivamente.

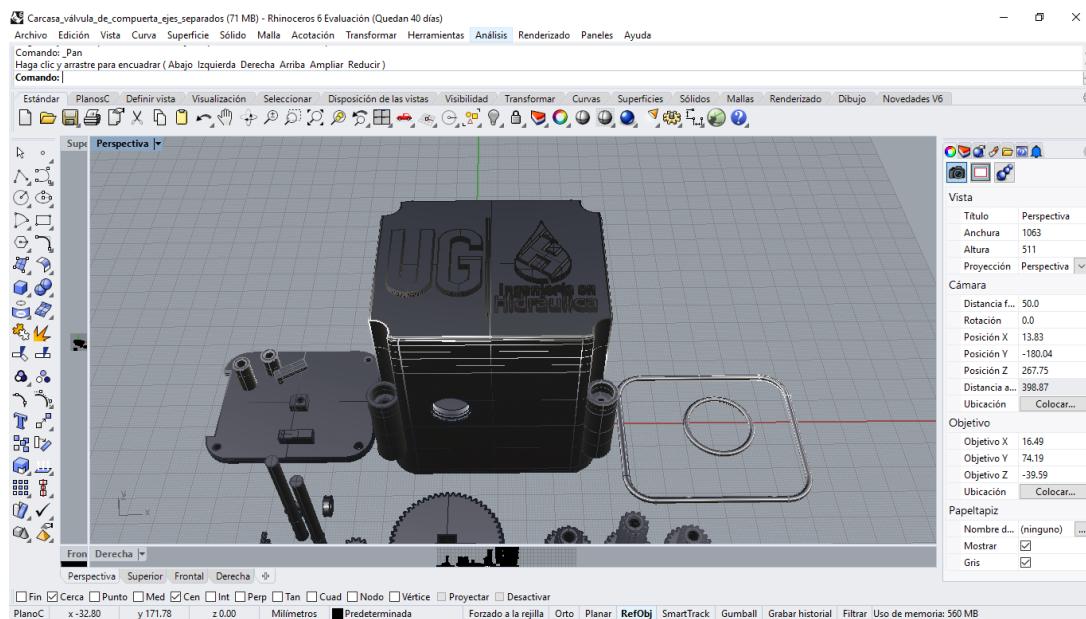


Figura 84: Resultado de diseño de las piezas.

## 4.2 Componentes impresos

Se imprimieron los componentes para la automatización de la válvula, algunos tamaños se ajustaron mediante prueba y error por el coeficiente de retracción del material de impresión.

Una vez que tuvimos las piezas correctas, se procedió a los ensayos de fatiga, haciendo alrededor de 100 ciclos de apertura y cierre para después analizar el desgaste de las piezas para determinar si el material utilizado era adecuado.

Tabla 3. Ciclos de trabajo

Fecha	Ciclos de trabajo	Fallos	Mejoras
23/11/2018	100	Rotura de ejes	Mejorado con ejes desmontables para evitar que sea una única pieza y darle más fuerza a la base que sostiene el eje.
13/02/2019	100	Desgaste de engranajes	Se realizaron engranes con un menor número de dientes para incrementar el tamaño y el área de contacto entre dientes de distintos engranes.
24/04/2019	100	Desgaste del centro del engranaje de motor que recibe el eje tipo D	Se pretende probar con materiales de mayor resistencia mecánica que el PLA, como puede ser ABS, PET o PC, e incluso algunos materiales a base de fibra de carbono.

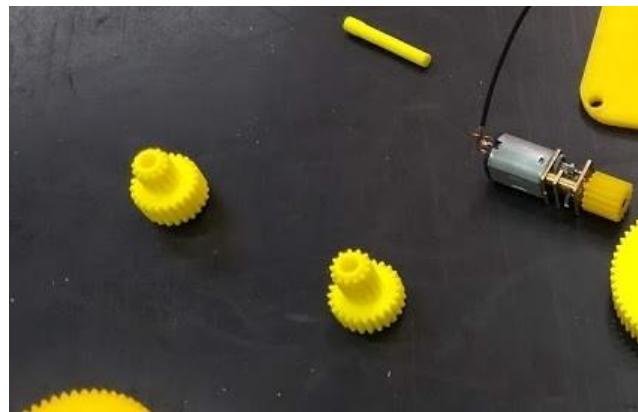


Figura 85: Ejemplo de algunos componentes ya impresos.

Para lograr que el sistema motorizado se mantenga estanco en su interior se procedió a la utilización de empaques, los cuales son colocados en la mitad de la caja y entre la base de esta donde se une con la válvula.

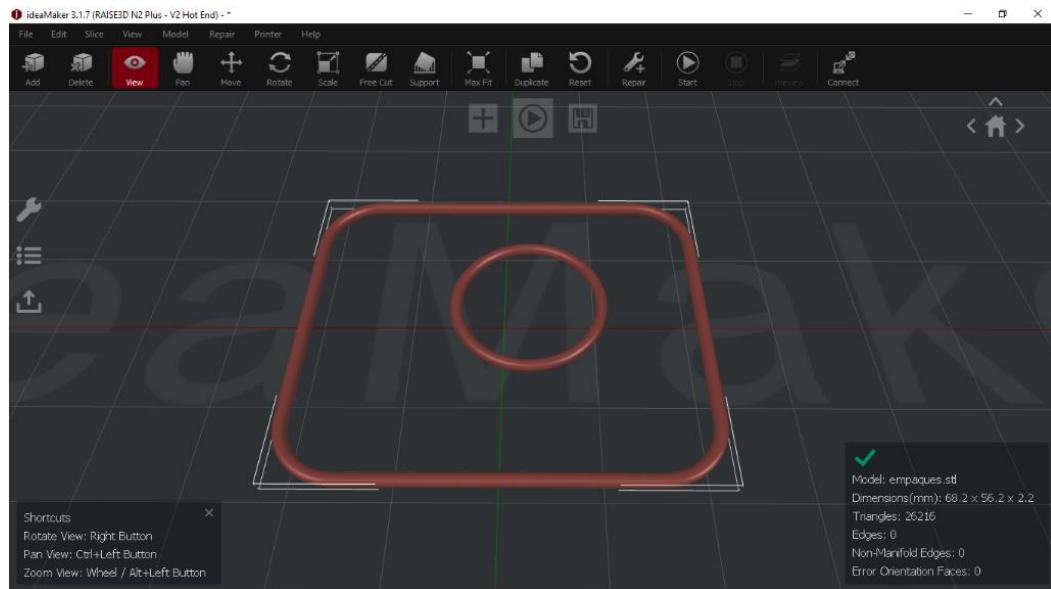


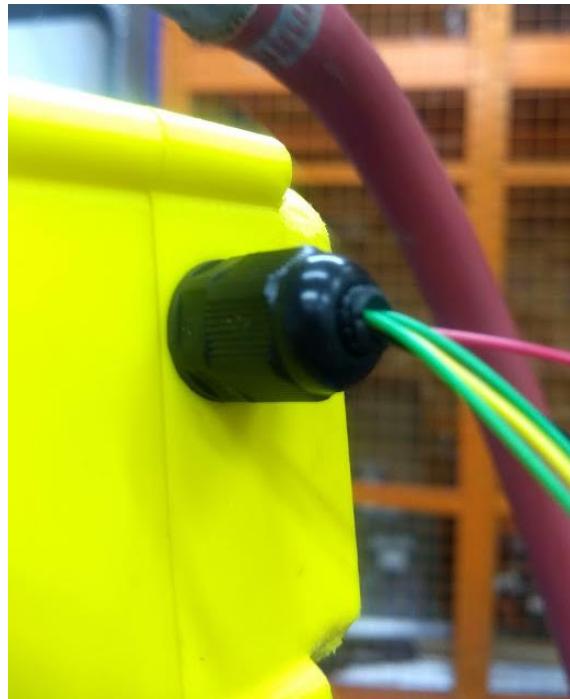
Figura 86: Modelado para impresión de los empaques utilizados para la hermeticidad del sistema.

Se realizó una bitácora de todas las impresiones realizadas con la finalidad de mantener un control en la calidad y mejora de las piezas, copiando o modificando los parámetros, dicha bitácora se encuentra en la parte de anexos. Tabla 4. Bitácora de impresiones 3D realizadas durante la tesis.

Así mismo, se utilizó uno prensaestopas o también conocido como conector glándula, el modelo utilizado es el M12 x 1.5. El conector glándula se utilizó para asegurar que los cables mantengan su posición y no se desconecten, así como para mantener la hermeticidad en la salida de los cables y no pase agua al interior del sistema.



Figura 87: Prensaestopas.



**Figura 88: Salida hermética de los cables.**

En este trabajo se logró diseñar y desarrollar el sistema mecánico en conjunto con la parte electrónica de automatización de la válvula de compuerta para el simulador de lluvia.

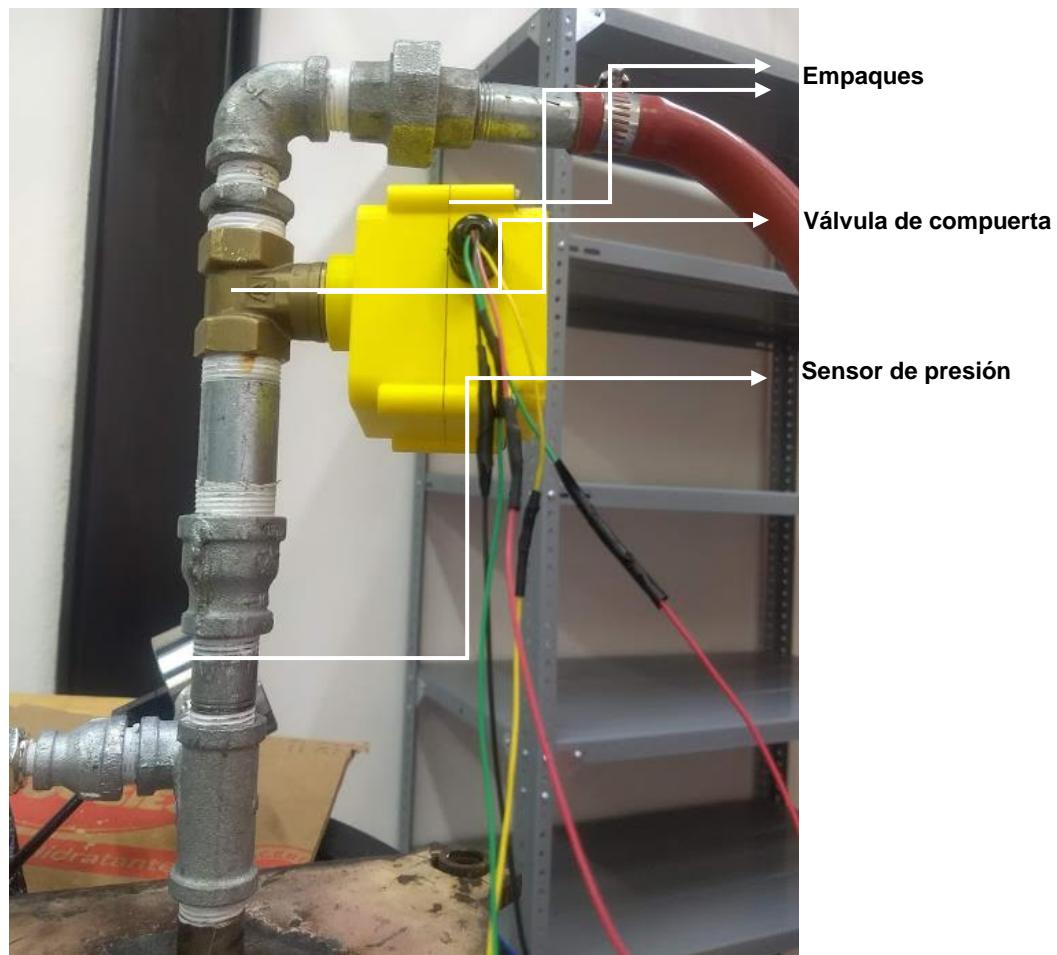


Figura 89: Posición de la válvula y el sensor de presión en el simulador de lluvia.

Las simulaciones de apertura y cierre gradual se realizaron exitosamente con la válvula conectada al microcontrolador y esta cerraba gradualmente cuando había un incremento en la presión, pero cuando la presión disminuía la válvula se abría automáticamente de forma gradual probando que el diseño es funcional [27].

#### 4.3 Sistema electrónico

La válvula además del sistema mecánico lleva incorporada también un sistema electrónico que comprende de un código previamente guardado en el Arduino UNO y una fuente de poder regulada a 6 V. para que alimente todo el sistema de giro para su apertura y cierre. Para hacer los cambios de sentido de giro y antes de llegar a los límites se usó un puente H en SMD ubicado en la parte superior del sistema.

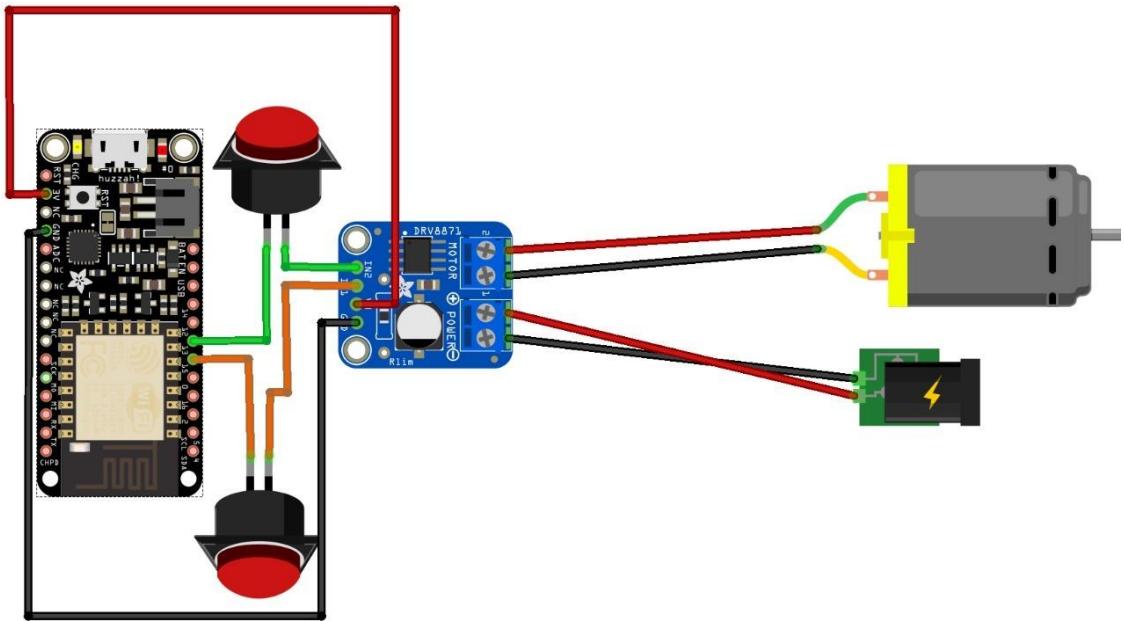


Figura 90: Pruebas electrónicas de la placa electrónica.

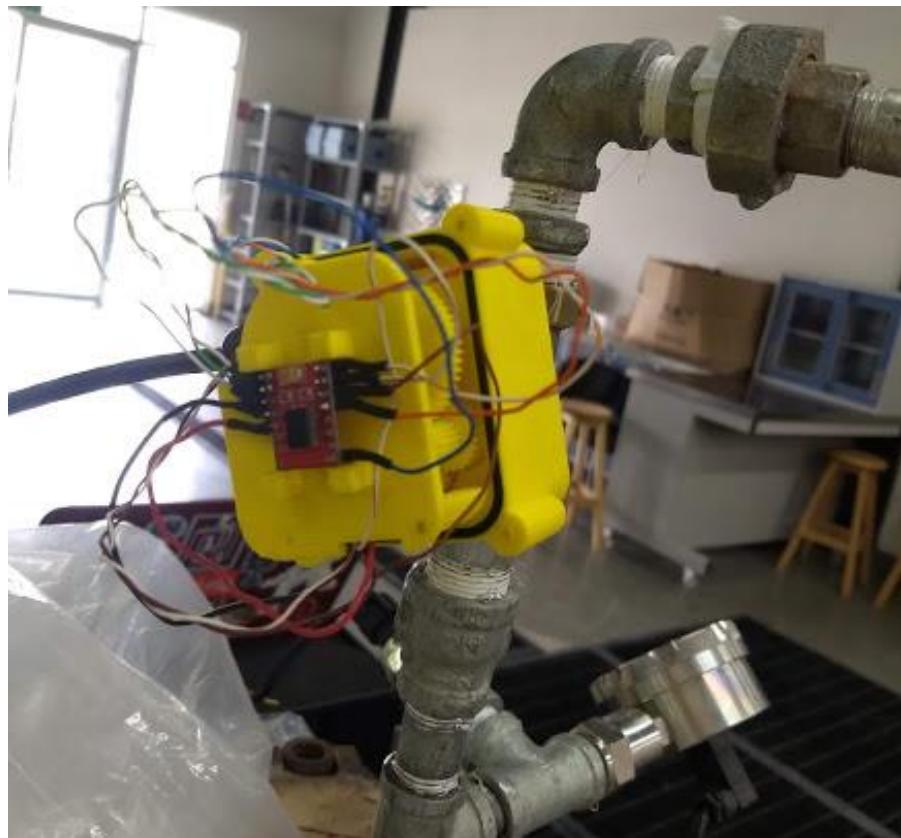


Figura 91: Puente H

#### 4.4 Calibración del sensor de presión

La conexión del sensor transductor de presión en la tarjeta de Arduino para su lectura analógica se muestra en la Figura 92: Conexión sensor - Conexión en Arduino para la lectura analógica. y Figura 93: Conexión sensor MPM4760 Intelligent Digital Display Pressure Transmitter - Arduino para lectura analógica. [26].

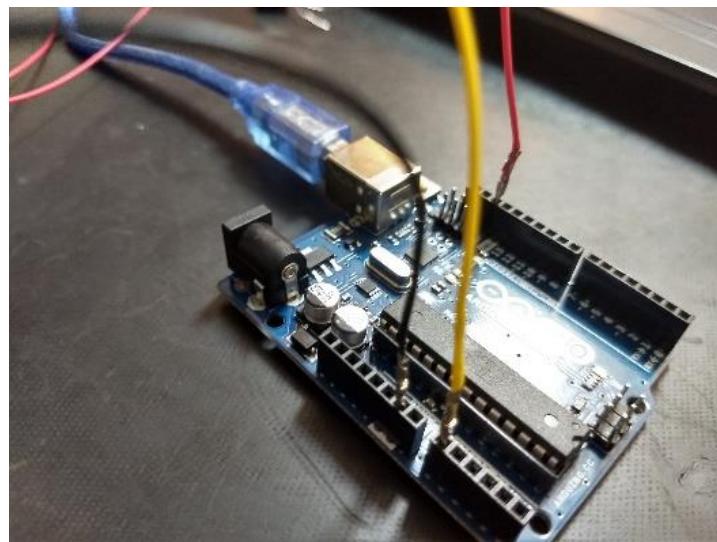


Figura 92: Conexión sensor - Conexión en Arduino para la lectura analógica.

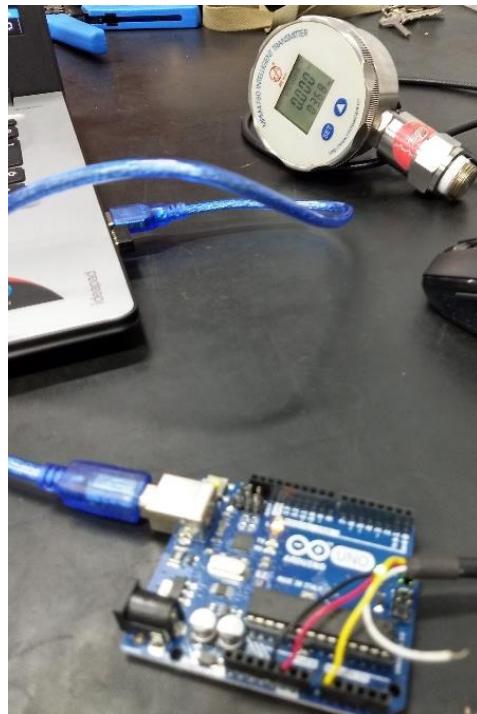


Figura 93: Conexión sensor MPM4760 Intelligent Digital Display Pressure Transmitter - Arduino para lectura analógica.

A partir de las lecturas en bits del sensor compatible con Arduino, que se muestran en la Figura 94: Gráfica y ecuaciones obtenidas de las lecturas para calibrar el sensor de presión. Esta gráfica sirve para corroborar que la curva de calibración fuera lineal, así como para obtener la ecuación a utilizar para convertir bits a bares de presión.

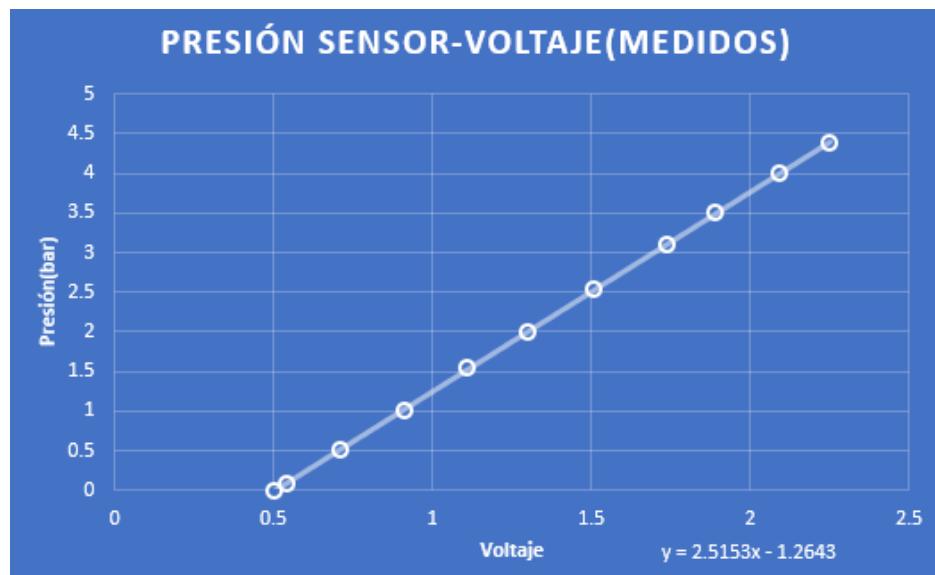


Figura 94: Gráfica y ecuaciones obtenidas de las lecturas para calibrar el sensor de presión.

## 4.5 Interfaz de usuario

En la Figura 95: Interfaz control PID. se muestra la ventana del control PID de la interfaz de usuario desarrollada. Esta ventana es una herramienta muy útil para gestionar estas relaciones entre actuadores y sensores, esta interfaz permite el control de una válvula motorizada sobre la presión objetivo, así como el tiempo de muestreo [26].

La ventana del control PID, de la interfaz de usuario, también cuenta con dos gráficas:

- La primera gráfica sirve para observar el comportamiento en relación con el valor actual leído por el sensor y el comportamiento sobre el valor objetivo de la presión. Con ello podemos obtener el tiempo de reacción para llegar a estos puntos.
- La segunda gráfica muestra el porcentaje de ciclo de trabajo. Su uso es para observar el comportamiento de rendimiento en el motor, esto ayuda a obtener parámetros sobre posibles fallas en los mecanismos y revisar el sistema físico.

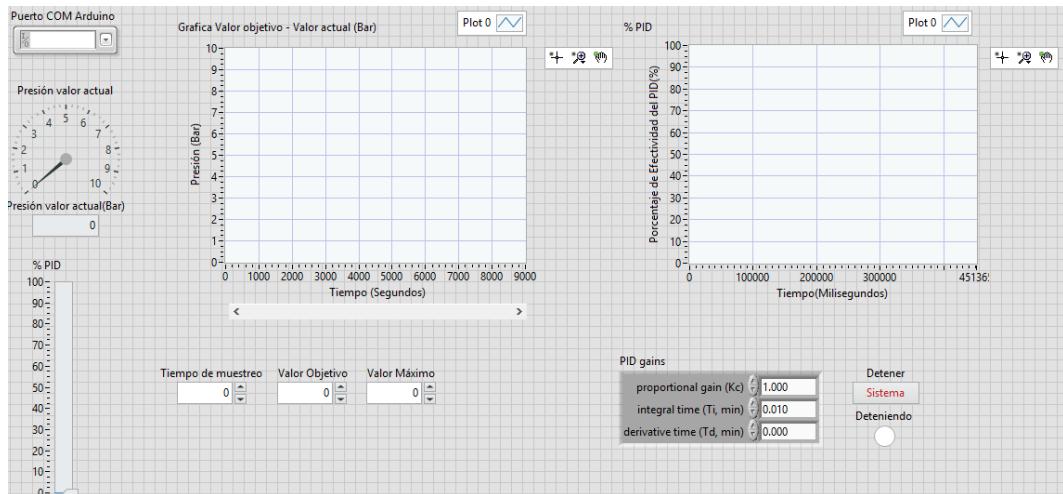


Figura 95: Interfaz control PID.

## 4.6 Pruebas del control PID en el simulador de lluvia

Al hacer un ensayo del control PID, con una de las boquillas de aspersión del simulador de lluvia, se obtuvieron datos que fueron exportados en Excel para su análisis posterior. Este análisis se centra en el tiempo que le toma alcanzar los valores objetivo de presión, partiendo de distintos valores actuales de presión [26].

Los gráficos que a continuación se muestran representan el cambio de presión, desde un valor actual hacia un valor objetivo, el cual se da de forma muy rápida, ya que todo depende de la lectura y la comunicación. Estos valores se grafican en tiempo real al

el mismo tiempo que el porcentaje de PID con el que está trabajando. Los cambios de presión y de porcentaje de PID se pueden observar en la Figura 96: Grafica Evolución de valor objetivo de 0 -4 y 4 - 0. y la Figura 97: Porcentaje de PID en el motor. respectivamente.



Figura 96: Grafica Evolución de valor objetivo de 0 -4 y 4 - 0.

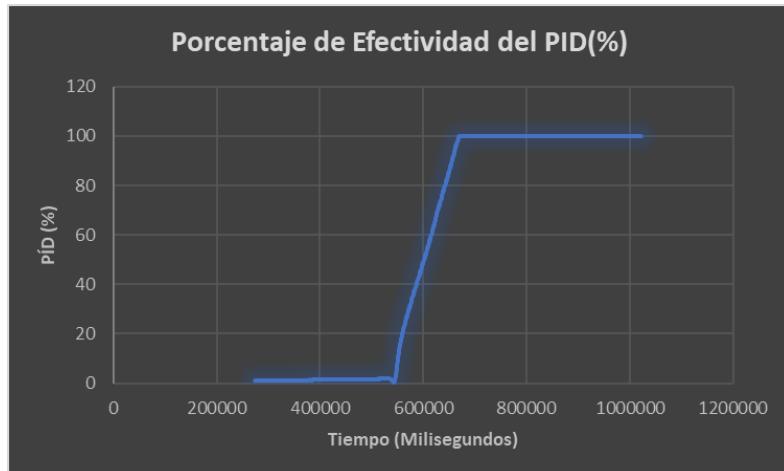


Figura 97: Porcentaje de PID en el motor.

Por último, se hizo una prueba para poder obtener el comportamiento en un cambio desde los valores de 4 a 3, 3 a 1, 1 a 0, 0 a 2 y 2 a 4 los resultados fueron mejores de los que se esperaba a medida que se hacia el cambio la respuesta era muy rápida y fluida. Los resultados de este ensayo se muestran en la ventana del PID en la Figura 98: Interfaz gráfica trabajando en el cambio de presión de 3 a 1, 1 a 0, 0 a 2 y 2 a 4. [26].

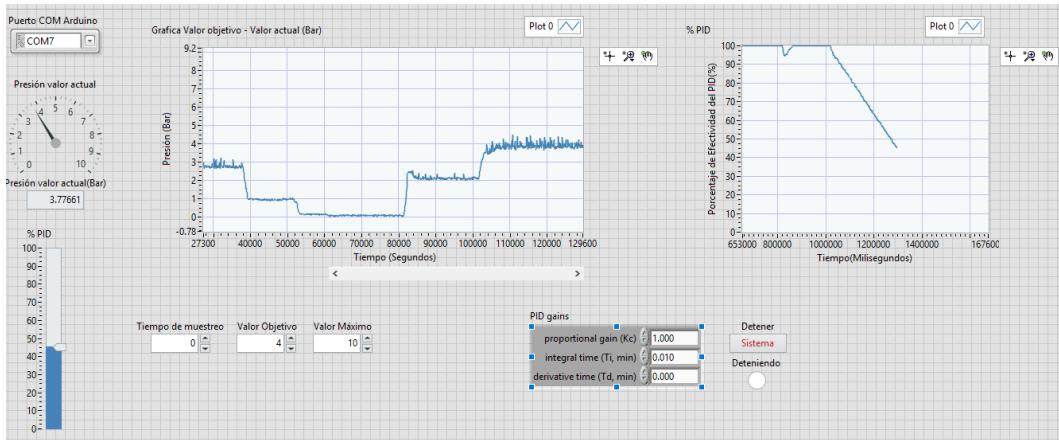


Figura 98: Interfaz gráfica trabajando en el cambio de presión de 3 a 1, 1 a 0, 0 a 2 y 2 a 4.

## CAPITULO 5. CONCLUSIONES

---

La razón por la cual se decidió usar una válvula de compuerta para la regulación del flujo en el simulador de lluvia fue debido a sus  $3\frac{1}{4}$  de vueltas que requiere para cerrar o abrir la compuerta, ello implica que el cierre es lento y bastante controlado para que, con ello, se pueda obtener con mayor precisión la presión deseada.

El sistema de apertura motorizada de la válvula de compuerta que se logró resulta bastante funcional, pues va a permitir ser utilizada para automatizar el simulador de lluvia y poder generar eventos de tormenta mediante software y microcontroladores. Además, se puede adaptar fácilmente a diferentes tamaños de válvulas de compuerta por lo que es de interés incluso para una posible patente (en proceso de solicitud). Lo cual permite adaptar el sistema motorizado desarrollado a una válvula manual, ello sin necesidad de realizar modificaciones en el proceso de fabricación de la válvula.

El material PLA utilizado tanto en la carcasa, como en los ejes y el sistema de engranajes se fue modificando durante el proceso de prototipado, tomando en cuenta el calor, la densidad, la velocidad y el tipo de relleno hasta encontrar el ideal para cada una de las partes y después de haberse sometido a los ensayos de funcionamiento cumplió con las expectativas de resistencia.

Para calcular el costo por automatizar una válvula de este tipo hay que considerar diferentes aspectos como son la inversión de una máquina para impresión 3D, los costos de electricidad y los costos del rollo de material de impresión PLA dependiendo de la marca. Aunque, si se quiere obtener un precio unitario aproximado, tomando en cuenta el costo de la válvula de  $3/4"$ , los empaques, el costo del motor, la grasa para los engranes, del puente h, cables y botones estaría en un rango desde los \$600.00 MXN hasta los \$900.00 MXN.

Su aplicación no solo sirve para realizar experimentos hidrológicos con el simulador de lluvia, sino también para gestionar de forma inteligente, por ejemplo, los flujos de agua en sistemas de riego, para regular la presión en casas habitación y otros procesos que requieran de un control automatizado.

Como parte de las mejoras futuras de la válvula sería la utilización de diferentes materiales para cada parte del sistema mecánico de la válvula para aumentar su vida útil, la implementación de ejes metálicos, la utilización de un microcontrolador de menor tamaño para reducir su volumen, la utilización de botones más resistentes y con conexión hembra – macho para hacer más rápido el cambio de repuestos.

## CAPITULO 6. ANEXOS

---

### 6.1 Bitácora de impresión 3D

**Tabla 4. Bitácora de impresiones 3D realizadas durante la tesis**

Tesis: "Automatización de una válvula de compuerta con implementación de Arduino e impresión 3D"										
Bitácora de impresiones										
Director: Jesús Horacio Anguiano Hernández				Alumno: Francisco López Ortiz						
Fecha	Hora	Impresión	Densidad	Capas	° C	Velocidad	Base	Soportes	Tiempo	Observaciones
08-mar.-18	14:00	Engrane 1 Motor	30	4	205	40	No	No	50	La impresión fue correcta pero el diámetro para que entre el eje del motor se quedó pequeño. Diámetro con 0.1 mm de incremento.
15-mar.-18	10:10	Engrane 1 Motor con chaflanes	30	4	205	40	No	Si	50	La impresión fue correcta con el nuevo Diámetro interior de 2.3 mm.
15-mar.-18	11:15	Engrane 2 Válvula con chaflanes	30	4	205	40	No	Si	1:35	Lado interior del cuadro de 6.1 mm, 38 mm de diámetro exterior y 57 dientes.
15-mar.-18	13:55	Engranes 3,3.1 y 5.,5.1 con chaflanes y topes.	30	4	205	40	No	Si	10	La impresión salió mal, debido a que no le pusimos soportes.
15-mar.-18	14:20	Engranes 3,3.1 y 5.,5.1 con chaflanes y topes.	30	4	205	40	No	Si	60	Impresión con soportes. 2 pares de engranes al mismo tiempo con un diámetro interior de 4 mm. NOTA: la impresora comenzó la impresión con temperatura de 215, a la mitad de la impresión me di cuenta y cambié el valor a 205.

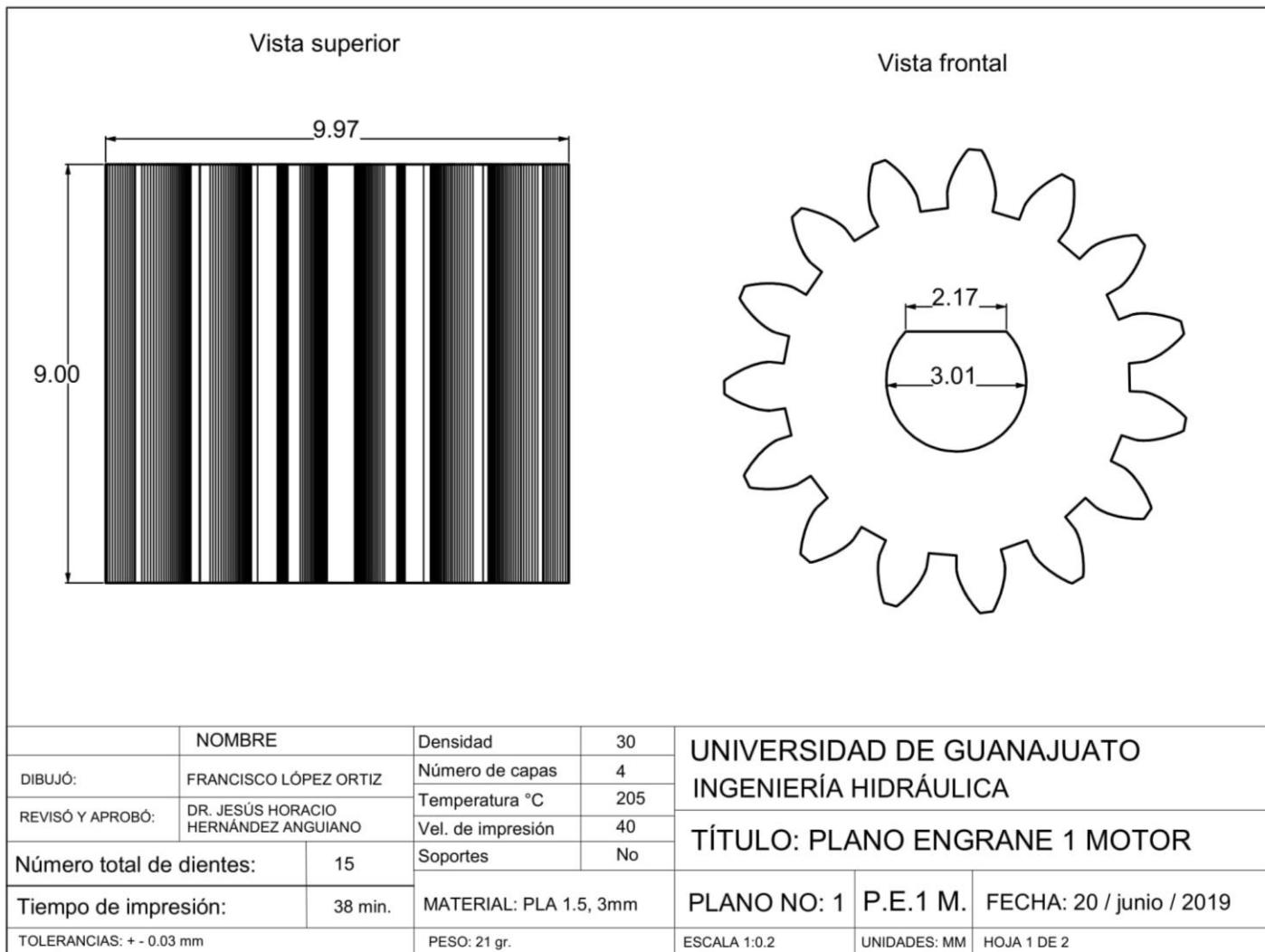
22-mar.-18	11:00	Engrane 4 y 4.1	30	4	205	40	No	Si	90	La impresión se cayó debido a un hueco en el engrane superior.
22-mar.-18	13:00	Engrane 4 y 4.1	30	4	205	40	No	Si	90	La impresión se cayó de un lado por falta de soportes
26-mar.-18	14:00	Engrane Topes	30	4	205	40	No	Si	90	La impresión se cayó del lado derecho debido a que el tamaño de los soportes era de 2.
27-mar.-18	11:30	Engrane Topes	30	4	205	40	No	Si	90	Impresión correcta con soportes tamaño 1.
28-mar.-18	9:00	Carcasa motor	30	4	210	40	Si	Si	90	La impresión se pudo hacer más rápida.
15-may.-18	13:00	Entrada a válvula	20	3	210	100	Si	Si	25	La entrada quedó angosta
17-may.-18	14:50	Carcasa de abajo	30	4	215	100	Si	Si	6:50	El eje del engrane 1 y 1.1 se rompe muy fácil
18-may.-18	15:00	Carcasa motor	20	3	210	100	Si	Si	1:20	El tope del motor quedó muy arriba, falta corregirlo.
21-may.-18	12:30	Eje engrane 1 y 1.1	30	4	210	40	Si	No	40	Los dientes no quedaron tan definidos pero la impresión en general se ve mejor.
21-may.-18	14:00	Carcasa de abajo	30	4	215	100	Si	Si	6:35	La carcasa quedó bien.
23-may.-18	12:30	Eje engrane 1 y 1.1 y Carcasa motor	30	4	210	40	No	Si	50	La posición del tope de la carcasa del motor quedó en su lugar y el eje si tiene la altura necesaria

24-may.-18	13:25	Engrane 2 y 2.1	30	4	210	40	No	Si	45	Los dientes no quedaron tan definidos pero la impresión en general se ve mejor.
24-may.-18	14:30	Engrane 1, 1.2 y 3, 3.1.	30	4	210	40	No	Si	38	Los dientes no quedaron tan definidos pero la impresión en general se ve mejor.
25-may.-18	15:15	Carcasa de arriba	30	3	215	100	No	Si	15	La carcasa se despegó del plato de impresión debido a que no le pusimos base
29-may.-18	14:50	Carcasa de arriba	30	4	210	40	Si	Si	5:40	El hueco del empaque quedó muy pegado a la esquina, por lo cual no se puede apretar los prensaestopas y el logotipo de la universidad no quedó tan nítido.
29-may.-18	15:00	Carcasa de arriba	30	4	210	40	Si	Si	5:45	El hueco del empaque se movió de tal modo que se pudiera apretar bien los prensaestopas y el logotipo de la Universidad quedó mejor.
07-may.-18	11:40	Carcasa de abajo	30	4	205	100	Si	Si	7:45	La impresión ya tiene el chaflán en la base del pilar
08-may.-18	11:30	Tapa enmedio	30	4	215	100	No	Si	1:15	El eje ya es más grueso, tiene guías y el hueco de abajo es más hondo, pero faltó ponerle orificios
12-jun.-18	12:00	Engrane 1 Motor	30	4	210	40	No	No	17	El hueco quedó un poco flojo sobre el eje del motor DC
28-jun.-18	5:00	Carcasa motor	20	3	210	100	Si	Si	1:15	Quedó bien.
29-jun.-18	10:00	Tapa enmedio	30	3	215	40	No	Si	4:00	Bien.
08-jul.-18	14:00	Tapa enmedio 2	30	3	215	100	Si	Si	50	Bien.
09-jul.-18	15:00	Carcasa arriba	30	3	215	100	Si	Si	6:00	Bien.
17-jul.-18	12:30	Engrane 1 motor	30	4	205	40	No	No	17	Justo a la medida.

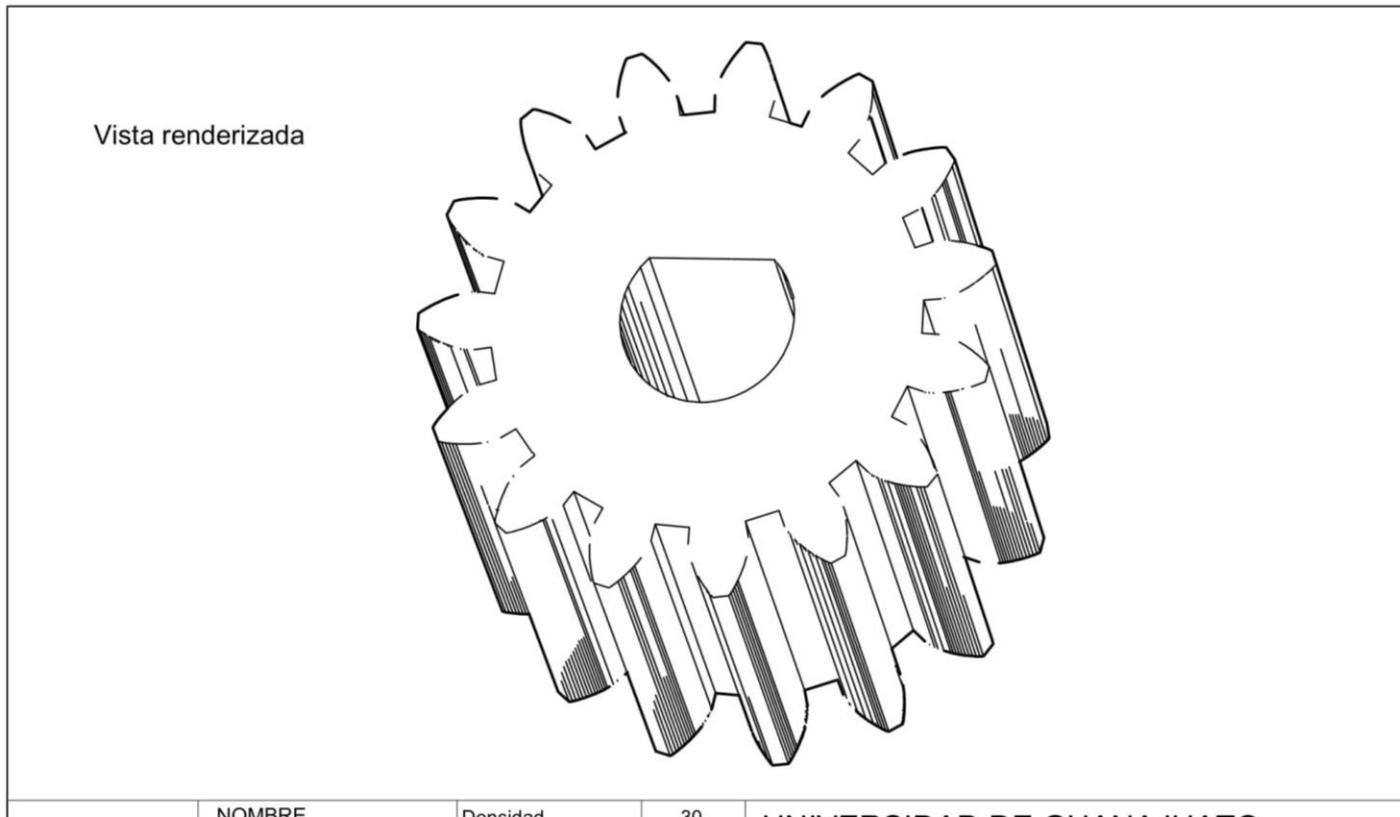
18-jul.- 18	12:50	Engrane 4 y 4.1	30	4	205	40	No	No	38	El engrane quedó a la altura del nuevo diseño
----------------	-------	-----------------	----	---	-----	----	----	----	----	---

## 6.2 Planos técnicos.

A continuación, se muestran en plano todos los componentes del sistema:

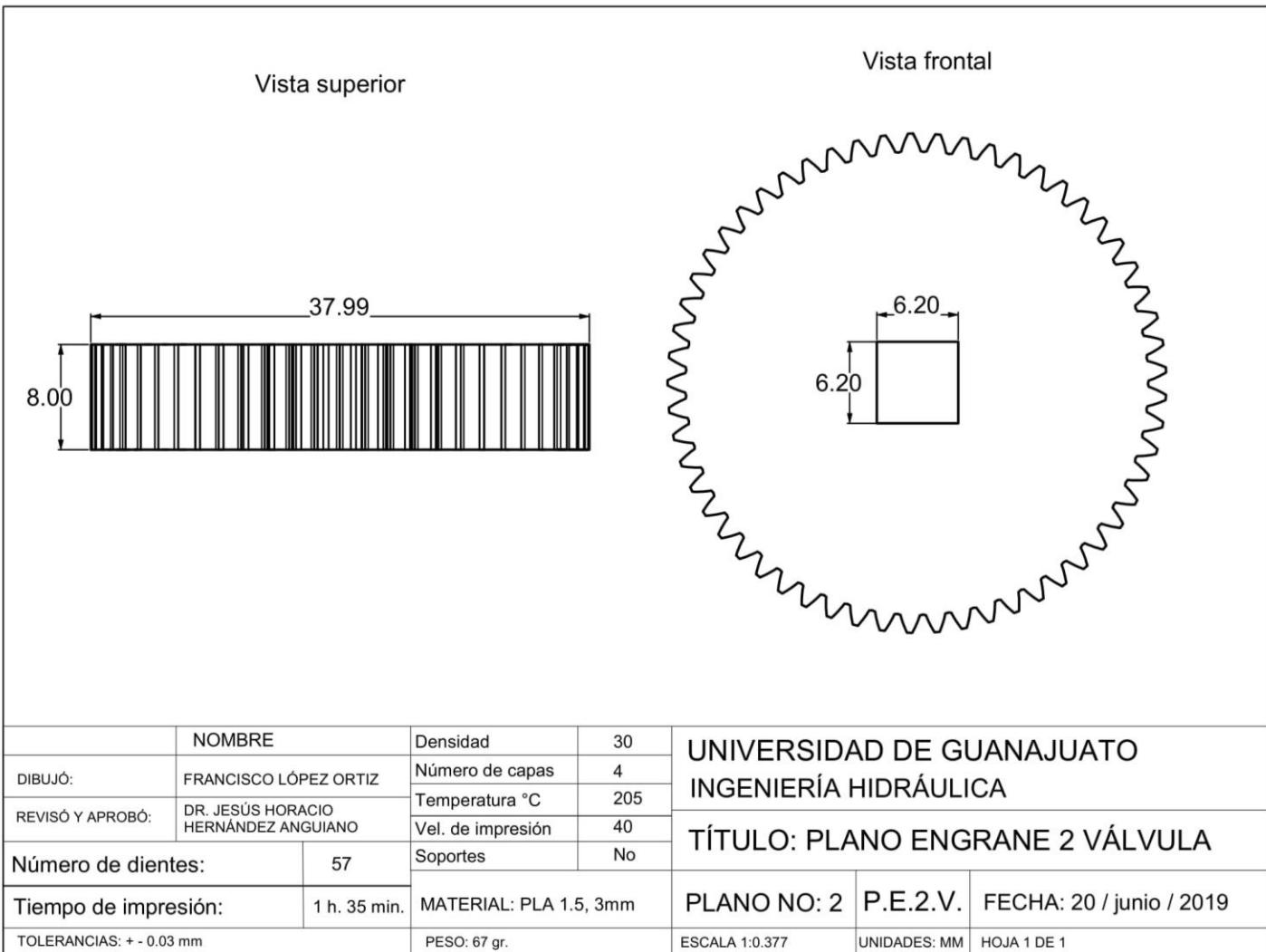


**Anexo 1: Plano engrane 1 motor**



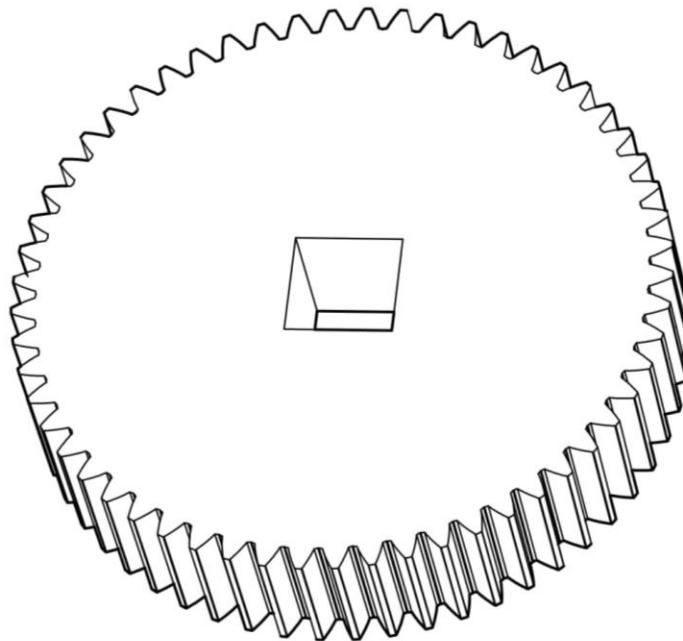
	NOMBRE	Densidad	30	UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO INGENIERÍA HIDRÁULICA	
DIBUJÓ:	FRANCISCO LÓPEZ ORTIZ	Número de capas	4		
REVISÓ Y APROBÓ:	DR. JESÚS HORACIO HERNÁNDEZ ANGUITANO	Temperatura °C	205		
Número total de dientes:	15	Vel. de impresión	40		
Tiempo de impresión:	38 min.	Sopores	No	TÍTULO: PLANO ENGRANE 1 MOTOR	
TOLERANCIAS: + - 0.03 mm		MATERIAL: PLA 1.5, 3mm	PLANO NO: 1	P.E.1 M.	FECHA: 20 / junio / 2019
		PESO: 21 gr.	ESCALA 1:0.162	UNIDADES: MM	HOJA 2 DE 2

Anexo 2: Plano engrane 1 motor renderizado.



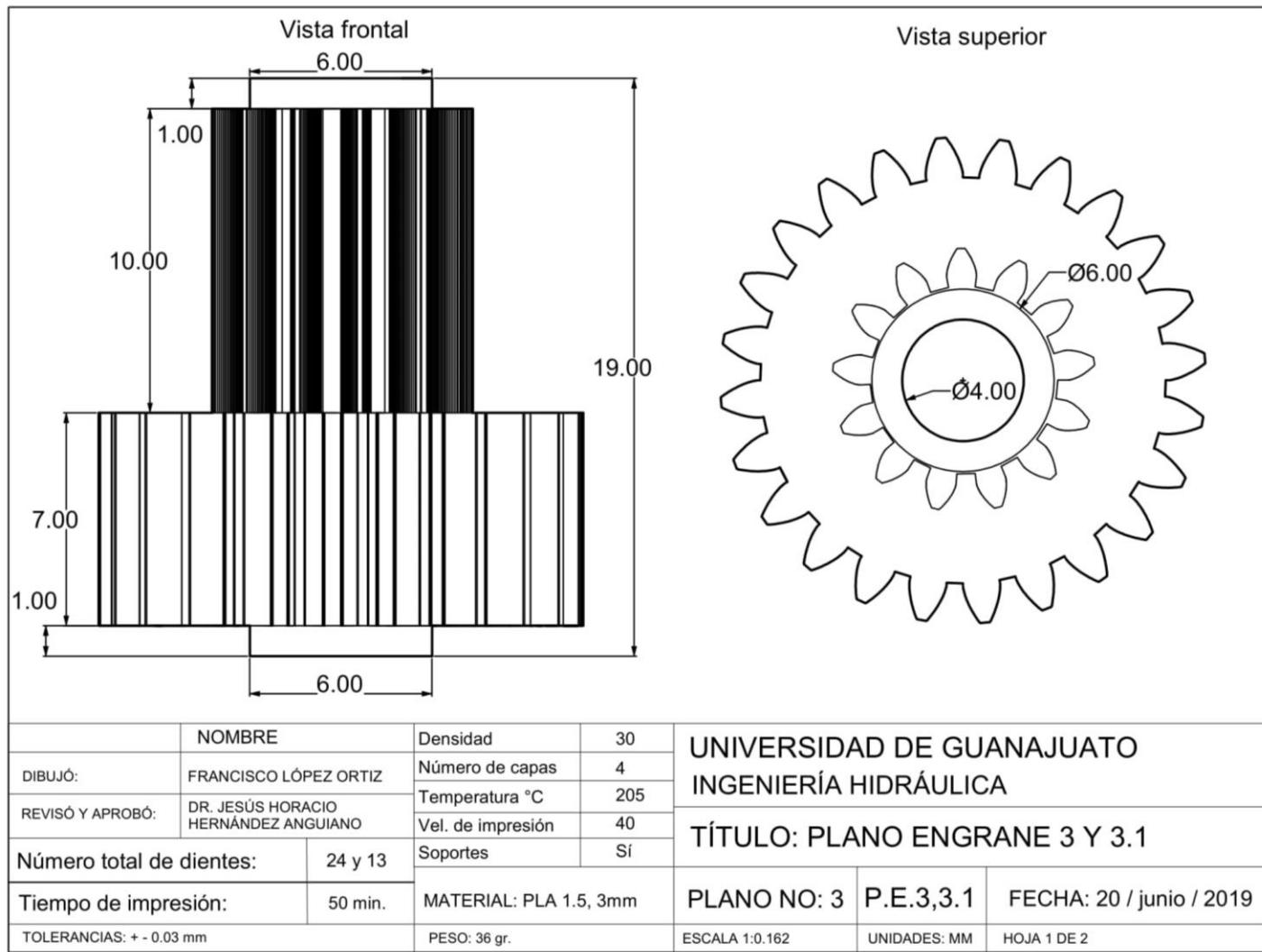
Anexo 3: Plano engrane 2 válvula.

Vista renderizada



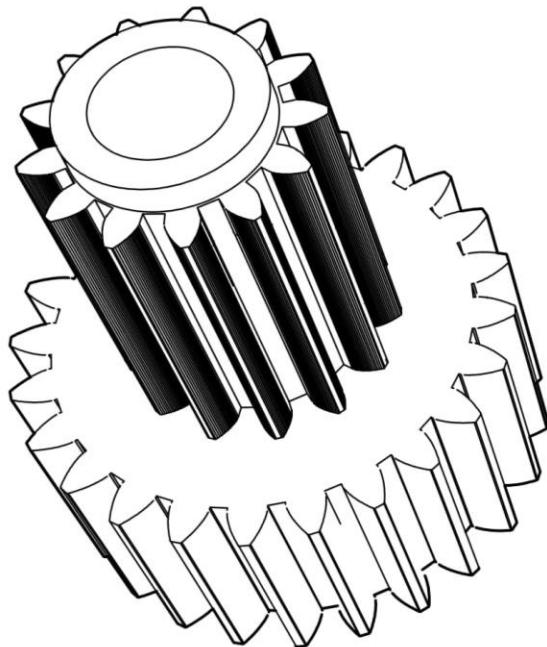
	NOMBRE	Densidad	30	UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO INGENIERÍA HIDRÁULICA
DIBUJÓ:	FRANCISCO LÓPEZ ORTIZ	Número de capas	4	
REVISÓ Y APROBÓ:	DR. JESÚS HORACIO HERNÁNDEZ ANGUANO	Temperatura °C	205	
Número total de dientes:	57	Vel. de impresión	40	
Tiempo de impresión:	1 h. 35 min.	Sopores	No	
MATERIAL: PLA 1.5, 3mm		PLANO NO: 2	P.E.2.V.	TÍTULO: PLANO ENGRANE 2 VÁLVULA
TOLERANCIAS: + - 0.03 mm		ESCALA 1:0.2	UNIDADES: MM	FECHA: 20 / junio / 2019

Anexo 4: Plano engrane 2 válvula renderizado.



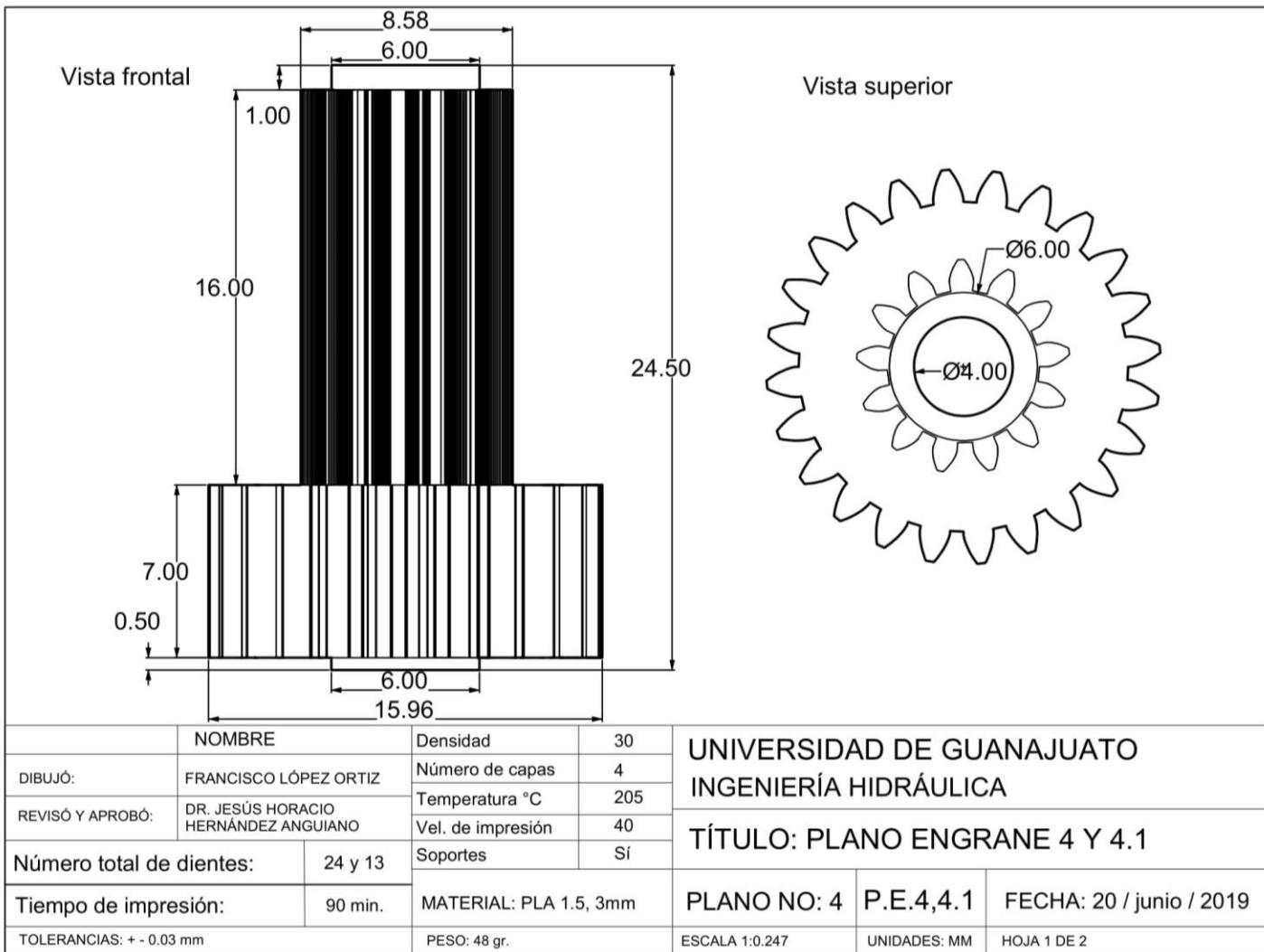
Anexo 5: Plano engranaje 3 y 3.1.

Vista renderizada



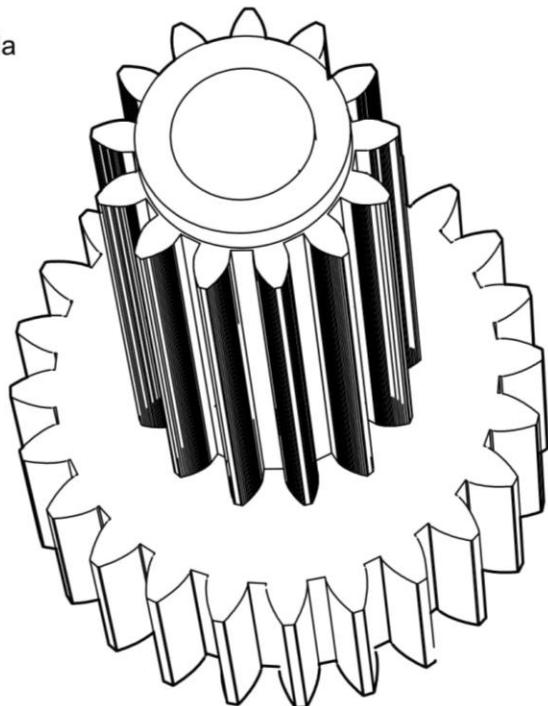
	NOMBRE	Densidad	30	<b>UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO INGENIERÍA HIDRÁULICA</b>
DIBUJÓ:	FRANCISCO LÓPEZ ORTIZ	Número de capas	4	
REVISÓ Y APROBÓ:	DR. JESÚS HORACIO HERNÁNDEZ ANGUANO	Temperatura °C	205	
Número total de dientes:	24 y 13	Vel. de impresión	40	
Tiempo de impresión:	50 min.	Soportes	Sí	<b>TÍTULO: PLANO ENGRANE 3 Y 3.1</b>
TOLERANCIAS: + - 0.03 mm	PESO: 36 gr.	MATERIAL: PLA 1.5, 3mm	PLANO NO: 3	P.E.3.3.1
			ESCALA 1:0.162	UNIDADES: MM
				HOJA 2 DE 2

Anexo 6: Plano engrane 3 y 3.1 renderizado.



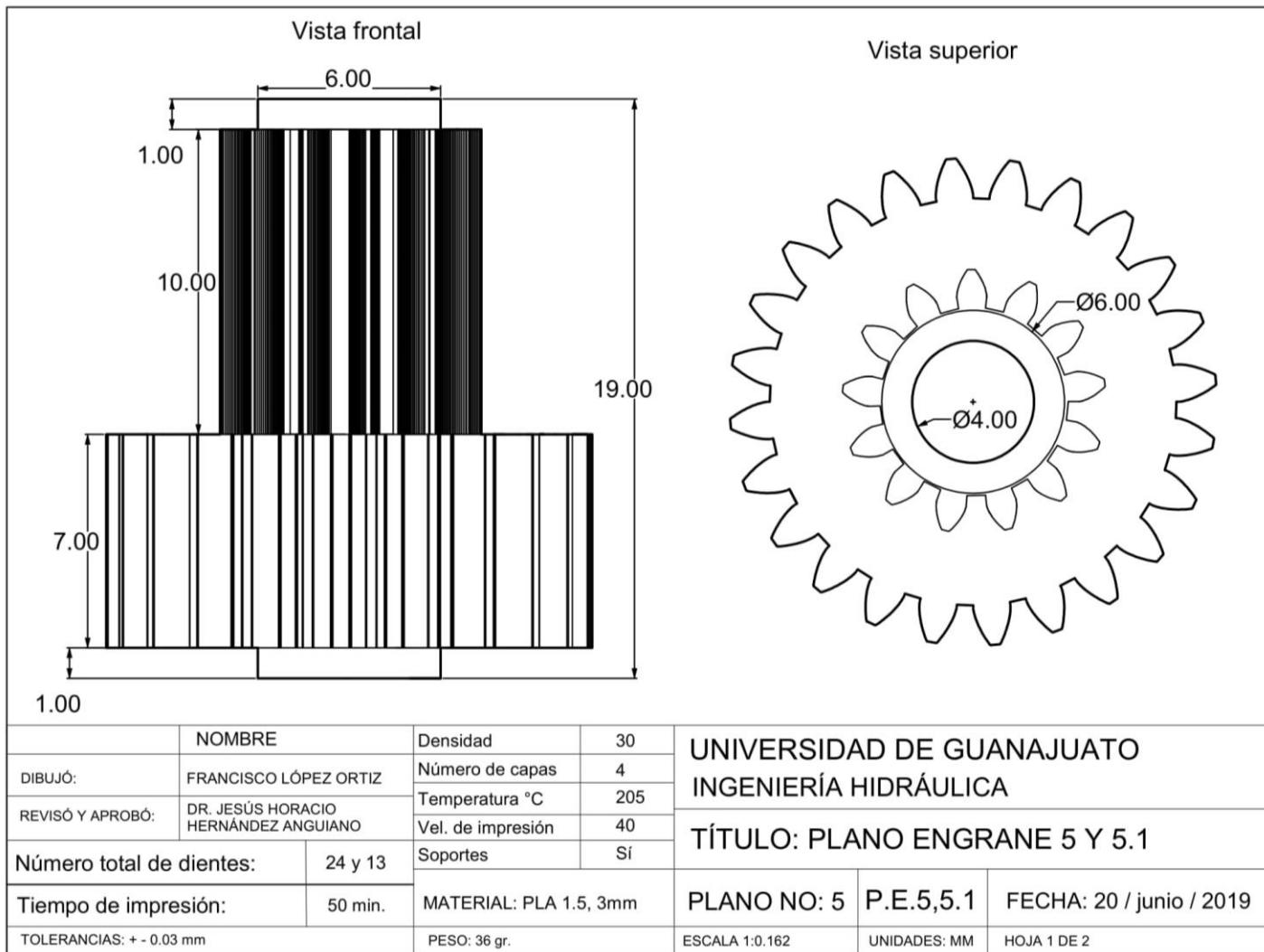
Anexo 7: Plano engrane 4 y 4.1.

Vista renderizada



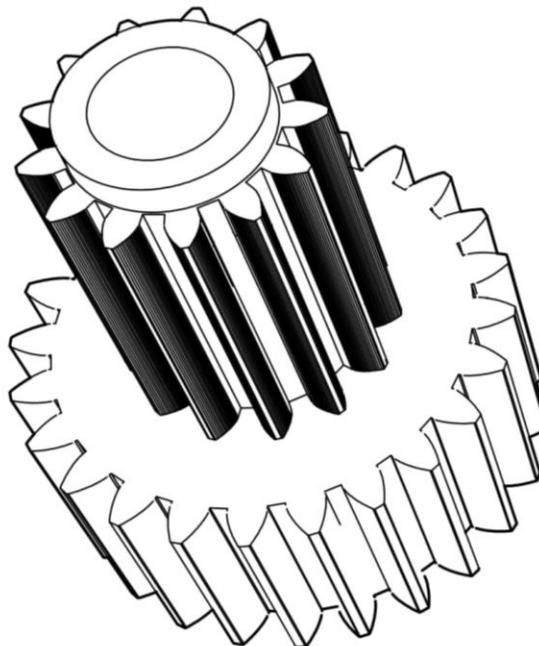
	NOMBRE	Densidad	30	UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO	
DIBUJÓ:	FRANCISCO LÓPEZ ORTIZ	Número de capas	4	INGENIERÍA HIDRÁULICA	
REVISÓ Y APROBÓ:	DR. JESÚS HORACIO HERNÁNDEZ ANGUITANO	Temperatura °C	205	TÍTULO: PLANO ENGRANE 4 Y 4.1	
Número total de dientes:	24 y 13	Vel. de impresión	40		
Tiempo de impresión:	90 min.	Sopores	Sí	PLANO NO: 4	P.E.4,4.1
TOLERANCIAS: + - 0.03 mm		MATERIAL: PLA 1.5, 3mm	FECHA: 20 / junio / 2019		
PESO: 48 gr.		ESCALA 1:0.2	UNIDADES: MM	HOJA 2 DE 2	

Anexo 8: Plano engrane 4 y 4.1 renderizado.



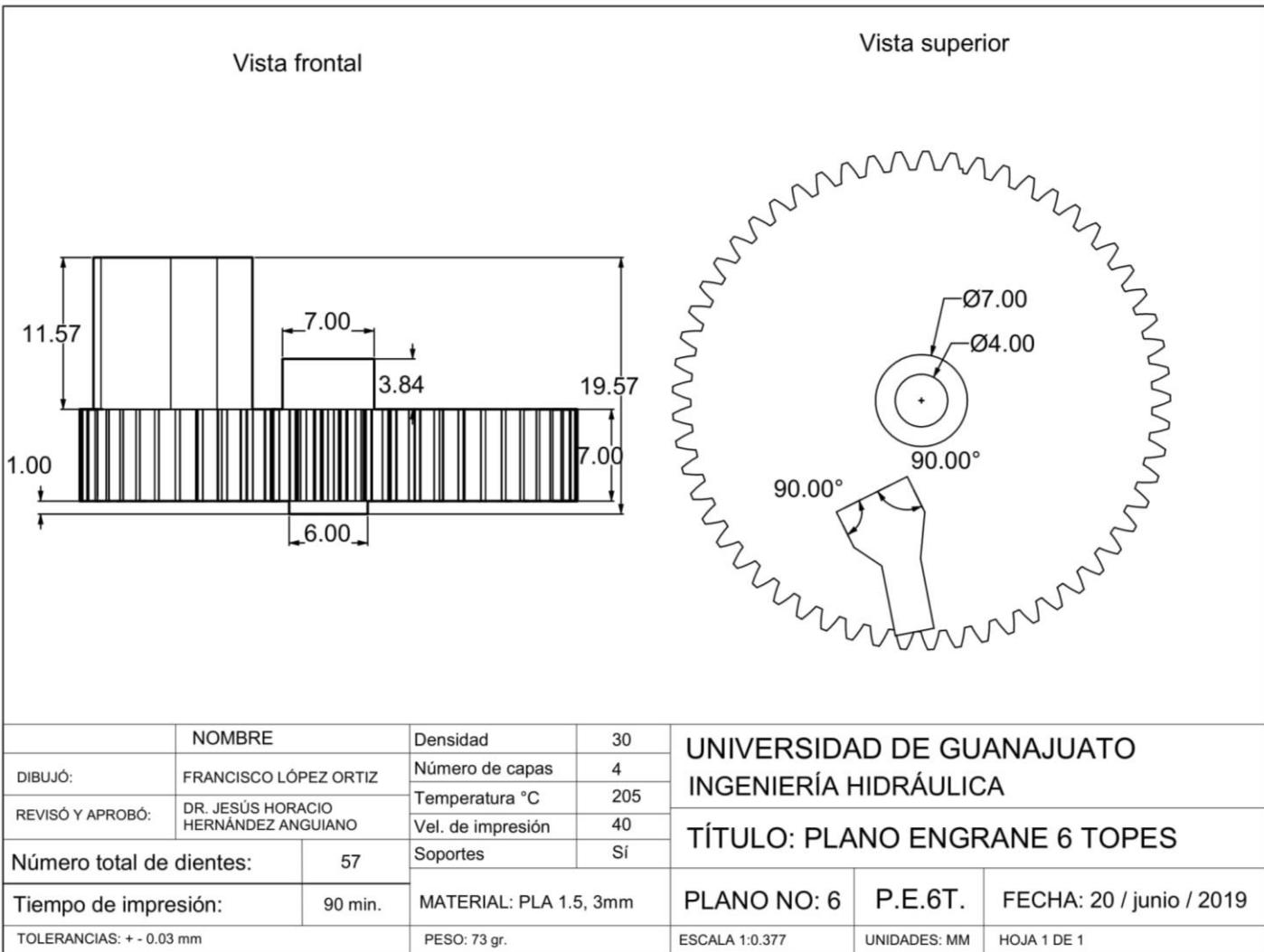
Anexo 9: Plano engrane 5 y 5.1.

Vista renderizada



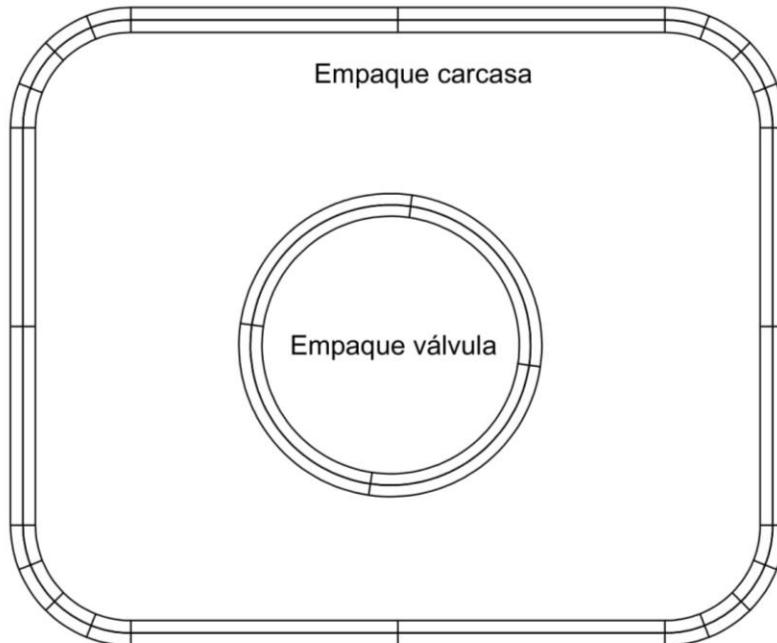
	NOMBRE	Densidad	30	UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO INGENIERÍA HIDRÁULICA
DIBUJÓ:	FRANCISCO LÓPEZ ORTIZ	Número de capas	4	
REVISÓ Y APROBÓ:	DR. JESÚS HORACIO HERNÁNDEZ ANGUIANO	Temperatura °C	205	
Número total de dientes:	24 y 13	Vel. de impresión	40	
Tiempo de impresión:	50 min.	Soportes	Sí	
TOLERANCIAS: + - 0.03 mm		MATERIAL: PLA 1.5, 3mm	PLANO NO: 5	P.E.5,5.1
		PESO: 36 gr.	ESCALA 1:0.162	UNIDADES: MM
				HOJA 2 DE 2

Anexo 10: Plano engrane 5 y 5.1 renderizado



Anexo 11: Plano engrane 6 topes.

Vista superior

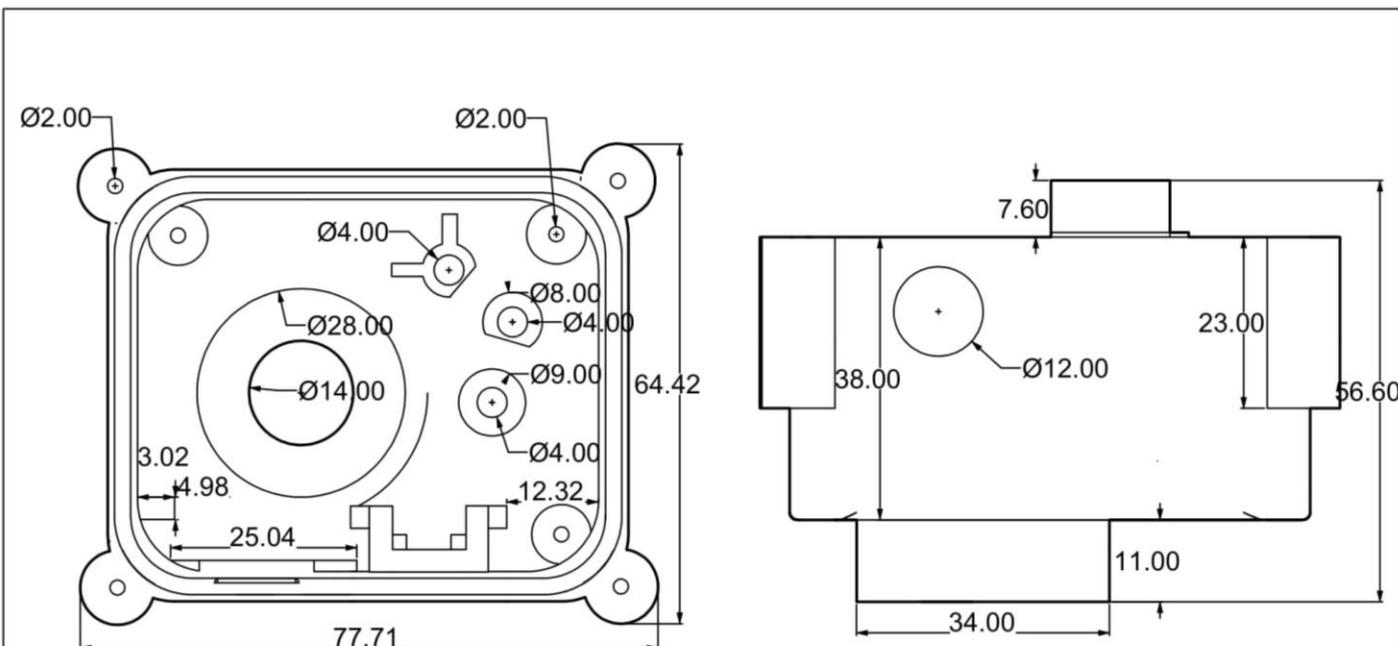


	NOMBRE	Densidad	30	UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO INGENIERÍA HIDRÁULICA  TÍTULO: PLANO EMPAQUES
DIBUJÓ:	FRANCISCO LÓPEZ ORTIZ	Número de capas	4	
REVISÓ Y APROBÓ:	DR. JESÚS HORACIO HERNÁNDEZ ANGUANO	Temperatura °C	215	
		Vel. de impresión	40	
		Sopores	Sí	
Tiempo de impresión:	50 min.	MATERIAL: PLA FLEXIBLE1.5, 3mm	PLANO NO: 12	P.EMP FECHA: 20 / junio / 2019
TOLERANCIAS: + - 0.03 mm		PESO: 103 gr.	ESCALA 1:0.594	UNIDADES: MM HOJA 1 DE 1

Anexo 12: Plano empaques

CARCASA BOTONES		EJE ENGRANE 3, 3.1	EJE ENGRANES 4,4.1,5,5.1 (X2)
<p>Vista frontal</p> <p>Vista superior</p>		<p>Vista renderizada</p> <p>Vista superior</p>	<p>Vista renderizada</p> <p>Vista superior</p>
DIBUJÓ: REVISÓ Y APROBÓ:	NOMBRE FRANCISCO LÓPEZ ORTIZ DR. JESÚS HORACIO HERNÁNDEZ ANGUIANO	Densidad 30 Número de capas 4 Temperatura °C 205 Vel. de impresión 40 Soportes Sí	<p>UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO INGENIERÍA HIDRÁULICA</p> <p>TÍTULO: PLANO ACCESORIOS 1</p>
Tiempo de impresión:	-	MATERIAL: PLA 1.5, 3mm PESO: 42, 30, 38 gr.	PLANO NO: 13 P.A.1 FECHA: 20 / junio / 2019
TOLERANCIAS: + - 0.03 mm		ESCALA 1:0.594	UNIDADES: MM HOJA 1 DE 1

Anexo 13: Plano accesorios 1



Vista derecha

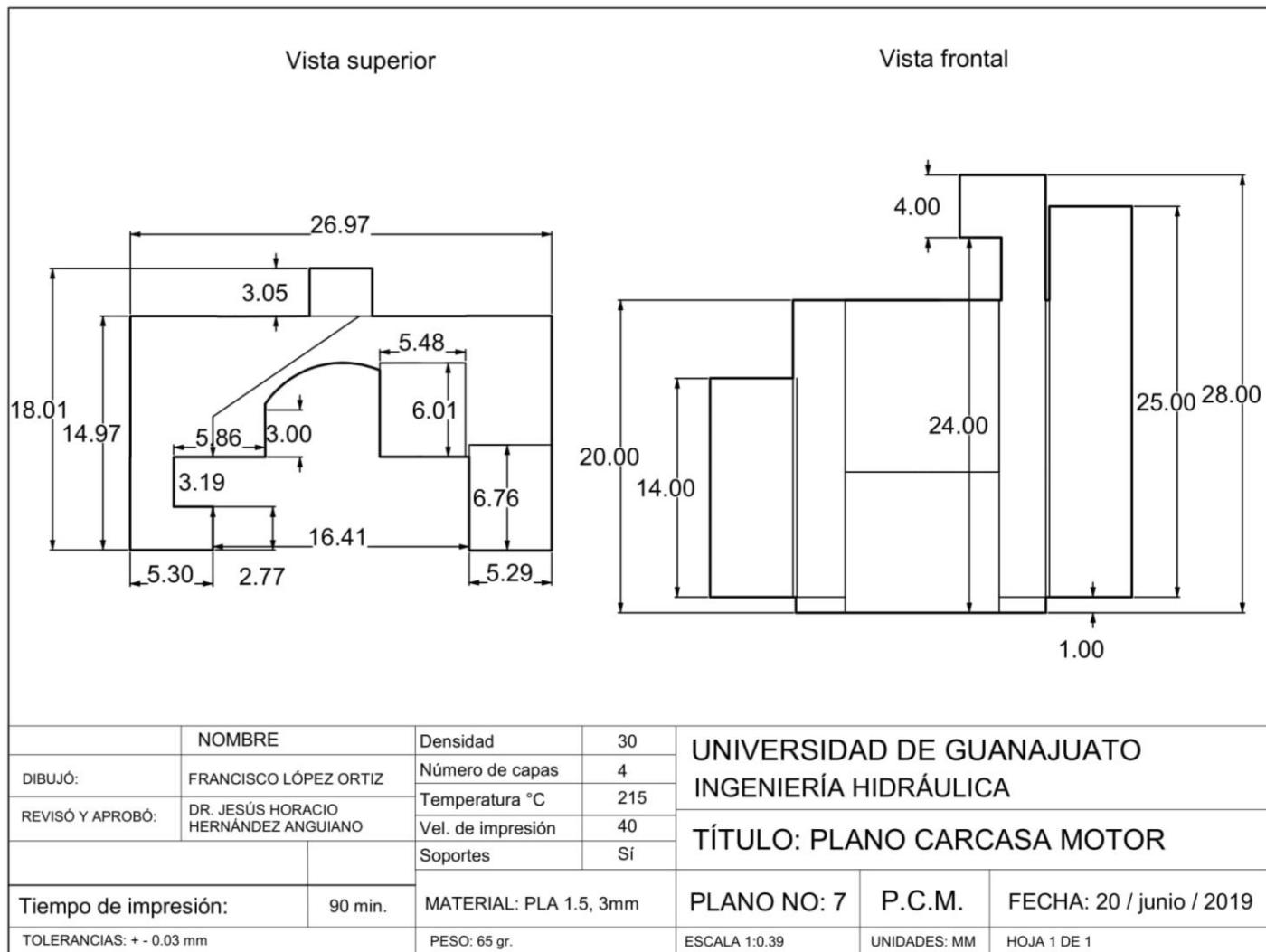
Vista frontal

	NOMBRE	Densidad	30	UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO	
DIBUJÓ:	FRANCISCO LÓPEZ ORTIZ	Número de capas	4	INGENIERÍA HIDRÁULICA	
REVISÓ Y APROBÓ:	DR. JESÚS HORACIO HERNÁNDEZ ANGUILANO	Temperatura °C	215		
		Vel. de impresión	100	TÍTULO: PLANO CARCASA VÁLVULA 1	
		Sopores	Sí		
Tiempo de impresión:	7h. 45m.	MATERIAL: PLA 1.5, 3mm	PLANO NO: 9	P.C.V.1	FECHA: 20 / junio / 2019
TOLERANCIAS: + - 0.03 mm		PESO: 221 gr.	ESCALA 1:0.734	UNIDADES: MM	HOJA 1 DE 2

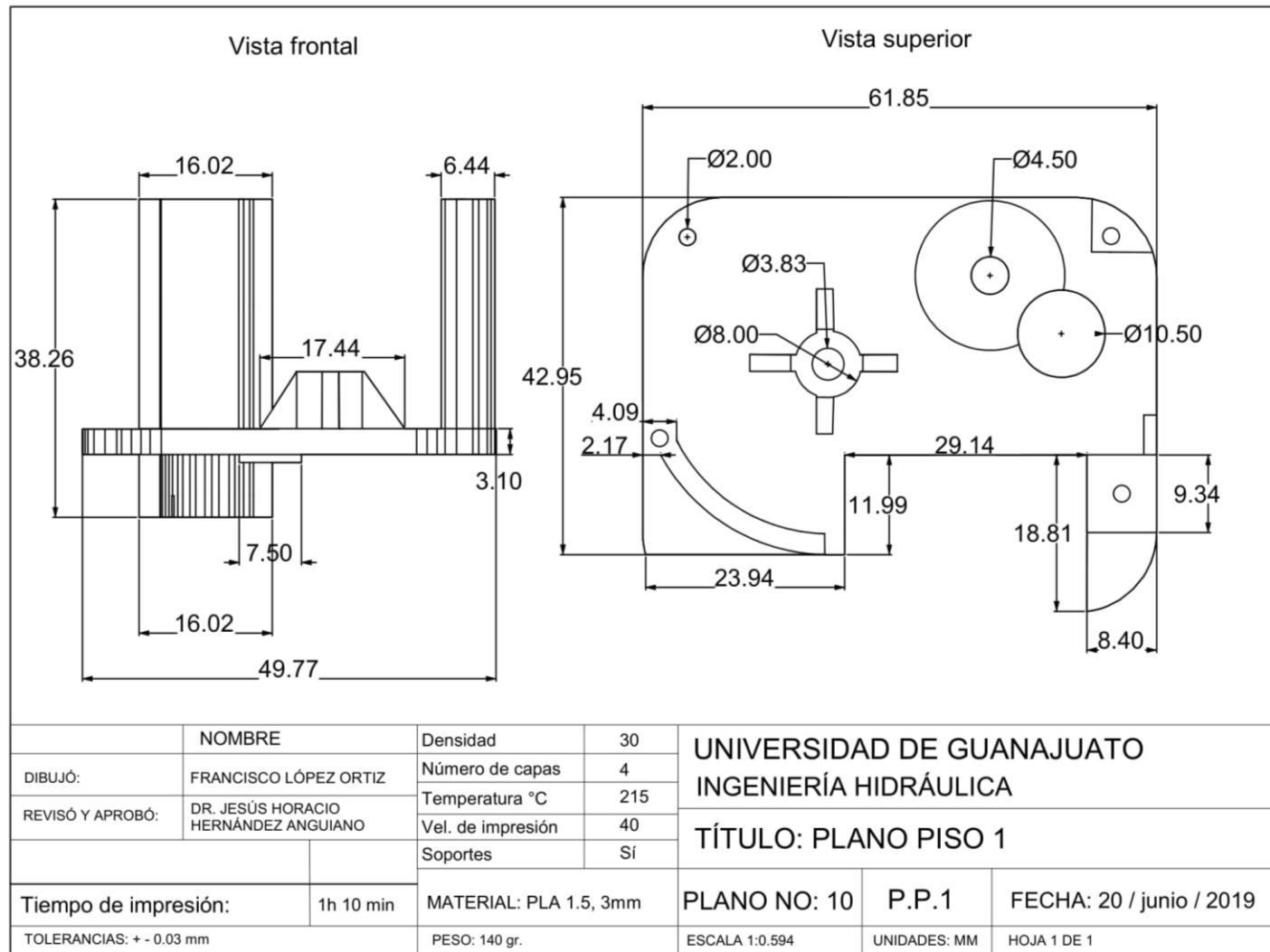
Anexo 14: Plano carcasa válvula 1

Carcasa motor en válvula 1	Entrada de prensaestopas	Entrada a válvula
<p>Vista frontal</p> <p>Vista superior</p>	<p>Vista frontal</p> <p>Vista renderizada</p>	<p>Vista superior</p> <p>Vista renderizada</p>
DIBUJÓ: FRANCISCO LÓPEZ ORTIZ REVISÓ Y APROBÓ: DR. JESÚS HORACIO HERNÁNDEZ ANGUIANO	Densidad 30 Número de capas 4 Temperatura °C 215 Vel. de impresión 100 Soportes Sí	UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO INGENIERÍA HIDRÁULICA TÍTULO: PLANO CARCASA VÁLVULA 1 PLANO NO: 8 P.C.V.1.2 FECHA: 20 / junio / 2019 UNIDADES: MM HOJA 2 DE 2
Tiempo de impresión: VARIABLE	MATERIAL: PLA 1.5, 3mm	PESO: VARIABLE ESCALA 1:0.481
TOLERANCIAS: + - 0.03 mm		UNIDADES: MM HOJA 2 DE 2

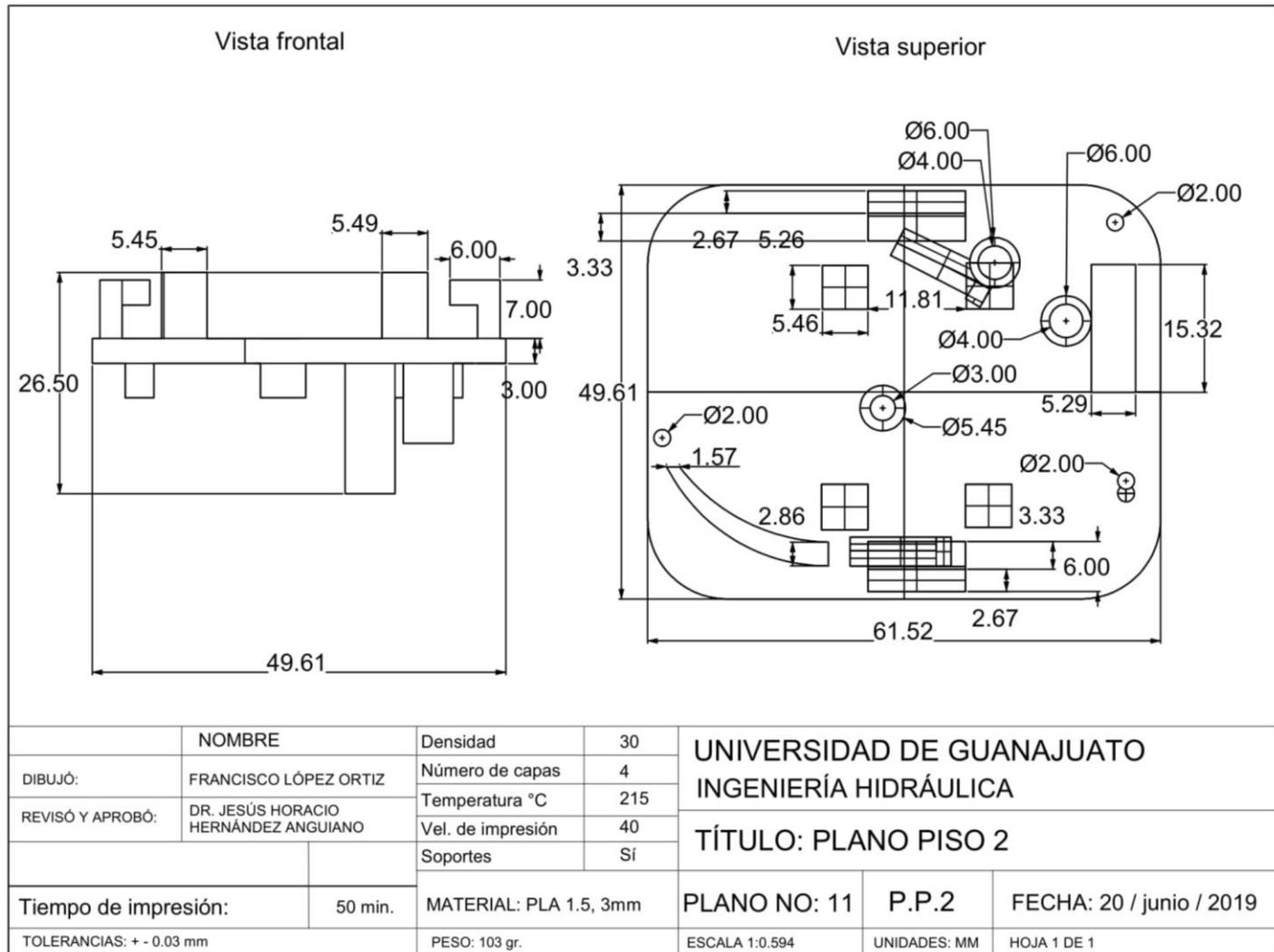
Anexo 15: Plano carcasa válvula 1.2



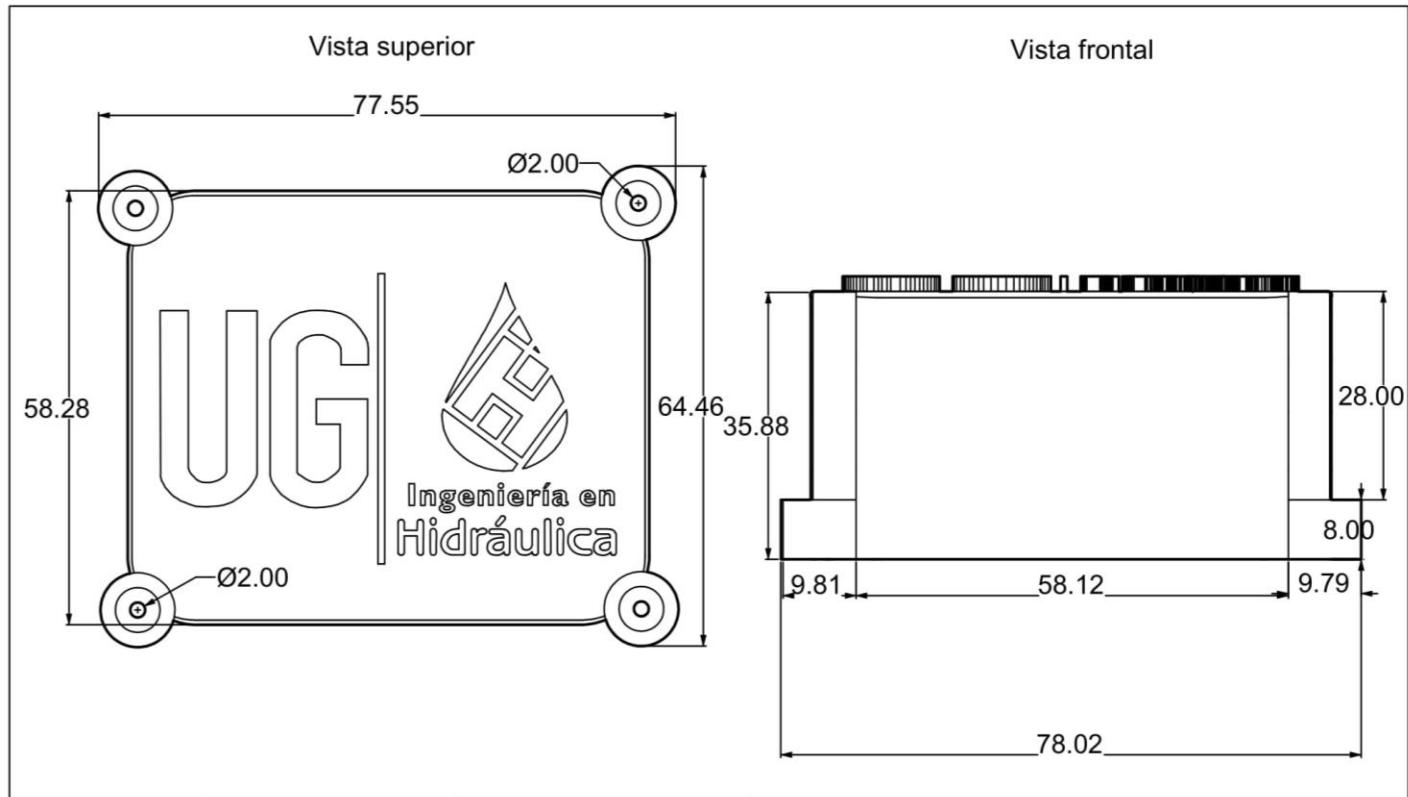
Anexo 16: Plano carcasa motor



Anexo 17: Plano piso 1



Anexo 18: Plano piso 2



	NOMBRE	Densidad	30	UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO INGENIERÍA HIDRÁULICA
DIBUJÓ:	FRANCISCO LÓPEZ ORTIZ	Número de capas	4	
REVISÓ Y APROBÓ:	DR. JESÚS HORACIO HERNÁNDEZ ANGUAÑO	Temperatura °C	215	
		Vel. de impresión	100	
		Sopores	Sí	TÍTULO: PLANO CARCASA VÁLVULA 2
Tiempo de impresión:	6h. 10min.	MATERIAL: PLA 1.5, 3mm	PLANO NO: 9	P.C.V.1.1
TOLERANCIAS: + - 0.03 mm		PESO: 187 gr.	ESCALA 1:0.734	FECHA: 20 / junio / 2019
			UNIDADES: MM	HOJA 1 DE 1

Anexo 19: Plano válvula 2

Vista frontal

1	Válvula de compuerta 3/4"	10	Tuerca para sujeción de engrane 2 válvula
2	Eje de válvula	11	Engrane 1 motor
3	Empaque Válvula - carcasa	12	Motor reductor de corriente directa con eje tipo "D"
4	Adaptación para entrada de válvula	13	Carcasa motor
5	Carcasa válvula 1	14	Engrane 3 y 3.1
6	Adaptación para el prensaestopas	15	Eje de engranes 3 y 3.1
7	Guía para colocación de motor	16	Engranes 4 y 4.1
8	Empaque de carcasa	17	Eje de engranes 4 y 4.1
9	Engrane 2 válvula		
DIBUJÓ:	FRANCISCO LÓPEZ ORTIZ	Número de capas	4
REVISÓ Y APROBÓ:	DR. JESÚS HORACIO HERNÁNDEZ ANGUIANO	Temperatura °C	215
Número total de piezas:	13	Vel. de impresión	40
Tiempo de impresión:	-	Soportes	Sí
TOLERANCIAS: + - 0.03 mm		MATERIAL: VARIOS	
		PESO: -	
		PLANO NO: 12	P.A.P
		ESCALA 1:0.594	UNIDADES: MM
			HOJA 1 DE 2

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO  
INGENIERÍA HIDRÁULICA

**TÍTULO: PLANO ARMADO DE PIEZAS**

Anexo 20: Plano armado de piezas 1

**Vista frontal**

18	Entrada para eje de Engrane 6topes	27	Huecos para entrada de botones
19	Tapa piso 1 con guía para subida de cables	28	Botones cerrados
20	Engranes 5 y 5.1	29	Entradas de ejes
21	Eje de engranes 5 y 5.1	30	Guía para cables
22	Eje de engrane 6 topes	31	Piso 2 con guía de sujeción de Puente H
23	Tornillos para sujeción de piso 1	32	Puente H
24	Engrane 6 topes	33	Entrada para tornillos de sujeción
25	Tornillo de sujeción de carcasa botones	34	Carcasa válvula 2
26	Carcasa botones	35	Tornillos de sujeción de carcasa válvula 1 y 2

DIBUJÓ:	FRANCISCO LÓPEZ ORTIZ	Densidad	30	UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO INGENIERÍA HIDRÁULICA	
REVISÓ Y APROBÓ:	DR. JESÚS HORACIO HERNÁNDEZ ANGUITANO	Número de capas	4		
		Temperatura °C	215		
		Vel. de impresión	40		
Número total de piezas:	20	Soportes	Sí	TÍTULO: PLANO ARMADO DE PIEZAS	
Tiempo de impresión:	-	MATERIAL: VARIOS	PLANO NO: 12	P.A.P.1.1	FECHA: 20 / junio / 2019
TOLERANCIAS: + - 0.03 mm		PESO: -	ESCALA 1:0.594	UNIDADES: MM	HOJA 2 DE 2

Anexo 21: Plano armado de piezas

## CAPITULO 7. REFERENCIAS

---

1. *Marisol Quintos Medina, Jesús Horacio Hernández Anguiano, Yanmei Li. (2017). DISEÑO Y OPERACIÓN DE UN SIMULADOR EXPERIMENTAL PORTABLE DE LLUVIA: PARA CUANTIFICAR EL PROCESO LLUVIA-ESCURRIMIENTO. División de Ingenierías -Universidad de Guanajuato. Tesis para título de Maestría.*
2. *Mohitpour Mo, Trefanenko B, Tolmasquim S, Kossatz H. Valve Automation for Oil Pipeline Safety. ASME. International Pipeline Conference, 2004 International Pipeline Conference, Volumes 1, 2, and 3 ():2133-2138. doi:10.1115/IPC2004-0022.*
3. <https://espacio.fundaciontelefonica.com/evento/3d-imprimir-el-mundo/>
4. *Lipson, Hod y Kurman, Melba (2014) La revolución de la impresión 3D. Editorial Anaya Multimedia. Págs. 38-43.*
5. *Redwood, Ben; Schöffer, Filemon; Garret, Brian (2017) The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications. Editorial: 3D HUBS B.V. Amsterdam (Holanda). Págs. 19-25.*
6. <http://www.stratasys.com/es/>
7. <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.en.html>
8. <http://reprap.org/>
9. <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>
10. <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>
11. <https://www.3dnatives.com/es/iris-van-herpen-impresas-3d-260120182/>
12. <https://www.3dnatives.com/es/markforged-impresoras-3d-carbono-28112016/>

13. <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-3>
14. <http://my3dmatter.com/influence-infill-layer-height-pattern/>
15. <http://www8.hp.com/es/es/printers/3d-printers.html#video-hero>
16. <http://www.stratasys.com/software>
17. <http://nagami.design/>
18. <http://apis-cor.com/>
19. <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/5985/el-futuro-de-la-impresion-3d-organos-humanos>
20. <https://www.3dbyflow.com/>
21. <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>
22. <https://www.solidworks.com/>
23. <https://www.rhino3d.com/>
24. <https://latinoamerica.autodesk.com/products/inventor/overview>
25. AP (2017). *Getting Started with Arduino and Genuino products.*  
<https://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>
26. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/sensores/>
27. J. Eduardo Padrón Ramírez, Jesús Horacio Hernández Anguiano, Roberto Díaz. (2018). Automatización del sistema de apertura/cierre, adquisición de información y gestión de un simulador de lluvia portable. División de Ingenierías – Universidad de Guanajuato. Tesis para título de Licenciatura.
28. <https://elblogdelprofesordetecnologia.blogspot.com/2016/02/microrruptor-o-final-de-carrera.html>

29. *<http://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/escolar/tecnologia-de-los-pulsadores-e-interruptores-904222.html>*
30. *<https://tercesa.com/noticias/que-es-un-motorrecuctor/>*
31. *<http://www.potenciaelectromecanica.com/calculo-de-un-motorreductor/>*
32. *<https://www.geargenerator.com/>*