



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica
Superior d'Enginyeria
Informàtica

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica
Universitat Politècnica de València

STEAMPOMP:
**Control y diseño impreso 3D para
máquina de hacer pompas**

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Informática

Autor: Jordi Pla Tortosa

Tutor: Floreal Acebrón Linuesa

2019-2020

Resumen

Las tecnologías actuales nos permiten mecanizar y controlar casi cualquier proceso que imaginemos. Un primer paso para crear una máquina suele ser crear un prototipo, para lo cual el diseño e impresión 3D, la electrónica de control y la conexión para su control remoto mediante un dispositivo *smartphone*, son de gran utilidad, dando gran libertad de creación durante el proceso de prototipado para su posterior fabricación.

El propósito del proyecto consiste en aunar estas tecnologías para conseguir un prototipo funcional de una máquina de hacer pompas de jabón. Ésta ofrece la posibilidad de realizar pompas de jabón en varios colores, así como de realizar pompas de jabón con humo en su interior.

El diseño en el Steampomp tiene un ligero toque estilo Steampunk, que se inspira en la época Victoriana, popular por sus máquinas de vapor, mecanismos con engranajes, estructuras remachadas en máquinas y edificios o relatos fantásticos.

Diseñando la estructura de la máquina en 3D mediante una herramienta CAD (*computer aided design*) como es Onshape. Realizando su impresión en PLA (ácido poliláctico). Mecanizándola con motores y con los elementos necesarios para su fin. Dotándola de una electrónica de control, como es Raspberry Pi, para manejar estos elementos usando el lenguaje Python. Y finalmente creando un control remoto desde un dispositivo *smartphone* mediante una aplicación móvil, con Blynk, a través de una conexión Bluetooth.

Siendo el resultado obtenido satisfactorio, como prototipo, las pruebas realizadas nos indican que pueden realizarse mejoras que corresponderían a un segundo prototipo, e incluso a concepciones diferentes de la máquina. Así mismo, confirman la posible viabilidad de esta máquina para su fabricación en serie.

Palabras clave: diseño, impresión 3D, Bluetooth, Raspberry, Python, Blynk



Resum

Les tecnologies actuals ens permeten mecanitzar i controlar quasi qualsevol procés que imaginem. Una primera passa per fer una màquina sol ser crear un prototip, per això el disseny i impressió 3D, l'electrònica de control i la connexió pel seu control remot mitjançant un dispositiu *smartphone*, són de gran utilitat, donant gran llibertat de creació durant el procés de prototipat per a la seua posterior fabricació.

El propòsit del projecte consisteix en ajuntar les tecnologies per a aconseguir un prototip funcional d'una màquina de fer bombolles de sabó. Ofereix la possibilitat de realitzar bombolles de sabó de colors, així com de realitzar bombolles de sabó amb fum dins seu.

El disseny al Steampomp té un lleuger toc d'estil Steampunk, que s'inspira a l'època Victoriana, popular per les màquines de vapor, mecanismes d'engranatges, estructures reblades a les màquines i edificis o relats fantàstics.

Dissenyant l'estructura de la màquina al 3D mitjançant una ferramenta CAD (*computer aided design*) com és Onshape. Fent la impressió amb PLA (àcid polilàctic). Mecanitzant-la amb motors i els elements necessaris pel seu funcionament. Fent servir una electrònica de control, com és Raspberry Pi, per dirigir dits elements usant el llenguatge Python. I finalment creant un control remot des d'un dispositiu *smartphone* amb una aplicació mòbil, Blynk, per mitjà d'una connexió Bluetooth.

Sent el resultat obtingut satisfactori, com a prototip, les proves realitzades ens indiquen que poden fer-se millores que correspondrien a un segon prototip, fins i tot a concepcions diferents de la màquina. Així com, confirmant la possible viabilitat de la màquina per a la seua fabricació en sèrie.

Paraules clau: disseny, impressió 3D, Bluetooth, Raspberry, Python, Blynk

Abstract

Nowadays technologies allow us to mechanize and control practically all processes we can imagine. The first step to do a machine is usually to create a prototype, for this reason design and 3D printing, control electronics and remote connection to control through a smartphone device, are very useful, providing a freedom of creation during the prototyping process to make its subsequent manufacture possible.

The purpose of this project is to use these technologies to achieve a functional prototype of a soap bubbles machine. It allows make soap bubbles in color, and soap bubbles with smoke inside.

The design on the Steampomp has a little Steampunk touch, which is inspired by the Victorian era, popular for its steam engines, gear mechanisms, riveted structures on machines and buildings or fantastic stories.

We design the structure of this machine in 3D using a tool CAD (computer aided design), Onshape. We print in PLA (polylactic acid) material. We mechanice it with electric engines and the necessary elements for its purpose. Equipping it with a control electronics, such as Raspberry Pi, to handle these elements using the Python language. And finally creating a remote control from a smartphone device with a mobile app, Blynk, via a Bluetooth connection.

The result obtained it is satisfactory, as a prototype, tests carried out indicate that improvements can be made that would correspond to a second prototype, or even to realize a machine completely different. They also confirm this machine it is be able for mass production.

Keywords: design, 3D print , Bluetooth, Raspberry, Python, Blynk

Tabla de contenidos

1. Introducción	9
1.1. Motivación	11
1.2. Objetivos.....	11
1.3. Impacto esperado	12
1.4. Estructura del documento	12
1.5. Metodología.....	13
2. Estado de la cuestión	14
2.1. Máquinas de hacer pompas de jabón	14
2.2. Pompas de jabón con humo en su interior	15
2.3. Pompas de jabón de colores.....	15
3. Análisis del problema.....	16
3.1. Introducción	16
3.2. Diseño e impresión 3D.....	16
3.3. Sistema fumígeno.....	17
3.4. Coloración de las pompas	17
3.5. Mecanizado	17
3.6. Control electrónico.....	18
3.7. Conexión inalámbrica con <i>smartphone</i>	18
3.8. Solución propuesta	18
3.9. Plan de trabajo planificación	18
4. Diseño de la solución.....	20
4.1. Diseño e impresión 3D.....	20
4.1.1. Diseño	20
4.1.2. Diseño 3D.....	23
4.1.3. Impresión 3D	24
4.2. Diseño del Sistema fumígeno	24
4.3. Diseño del Sistema de coloración de las pompas	25



4.4. Mecanizado	26
4.5. Sistema de control electrónico	26
4.6. Conexión de control inalámbrica	27
5. Implementación	28
5.1. Investigación.....	28
5.2. Montaje.....	29
5.3. Control electrónico.....	33
5.4. Conexión inalámbrica	39
6. Pruebas	45
6.1. Introducción	45
6.2. Diseño e impresión 3D.....	45
6.3. Sistema fumígeno.....	48
6.4. Sistema de coloración de pompas	50
6.5. Sistema de control	50
6.6. Aplicación de control.....	51
7. Conclusión.....	53
7.1. Relación del trabajo con los estudios cursados	55
7.2. Trabajos futuros.....	56
7.3. Valoración personal	56
Bibliografía.....	57
ANEXO I: Planos	59
Base	
Conexiones	
Cuerpo	
Tapadera	
Aspas	
Concentrador de humo	
Boquilla	
Tapa trasera	

Índice de Figuras

Figura 1: Ciclo de la metodología empírico analítica	14
Figura 2: Máquinas de pompas de jabón en Amazon (captura de pantalla) [1]	15
Figura 3: Diagrama de Gantt.....	19
Figura 4: Rueda de engranajes en Onshape	21
Figura 5: Concepto previo.....	22
Figura 6: Conceptos para parte trasera.....	23
Figura 7: Cuerpo de la maquina en 3D en Onshape	24
Figura 8: Concentrador de humo vistas	26
Figuras 9 y 10: Inserción motor de giro de las aspas	31
Figura 11: Encaje del motor para flujo de aire.....	31
Figura 12: Encaje de fumígeno vistas superior y trasera.....	32
Figuras 13 y 14: Bomba peristáltica encaje y tapa posterior	33
Figura 15: Concentrador de humo impreso en 3D	33
Figura 16: Starte Kit de Raspberry Pi Zero W	34
Figura 17: Colocación de tarjeta Raspberry Pi y conexiones	35
Figura 18: Montaje de Motor Stepper FeatherWing de Adafruit	36
Figura 19: Montaje del módulo Mosfet Power D4184.....	36
Figura 20: Depósito de líquido fumígeno con sensor de nivel de líquido.....	37
Figura 21: Captura de código activación mecanismo fumígeno	39
Figuras 22 y 23: Captura de código de evento y shell con eventos producidos	40
Figura 24: Sistema y dispositivo utilizados.....	41
Figura 25: Icono de acceso directo personalizado a nuestra aplicación Blynk	42
Figuras 26 y 27: Project settings	42
Figura 28: Widgets predefinidos	43
Figuras 29 y 30: Asignación de pines virtuales e interfaz final	44
Figura 31: Raspbery Pi conectada y esperando comunicación con smartphone.....	44
Figuras 32, 33, 34: Selección de dispositivo, acceso a la conexión y dispositivo conectado	45
Figuras 35 y 36: Conexión y desconexión de la aplicación	45
Figura 37: Proceso de encajado de volúmenes en el diseño 3D.....	46
Figuras 38, 39 ,40: Primer encaje erróneo, chimenea original y chimenea final.....	47
Figura 41: Proceso de impresión con la impresora 3D XYZ Davinci 1.0	47
Figura 42: Rotura de pieza de conexión	48
Figura 43: Posible diseño alternativo para la tapadera.....	48
Figura 44 Pruebas con el concepto básico	49
Figuras 45 y 46: Maquinas alternativas.....	49
Figura 47: Generador de humo de Metal para tanque 1/16 Henglong a RC, versión 6,0/6,1 Fotografía de Aliexpress.com [23]	50
Figura 48 y 49: Montaje y prueba del concentrador de humo.....	51
Figuras 50 y 51: Montaje y resultado final de MotorZero.....	51
Figura 52: Captura de la instalación en smartphone de aplicaciones en pruebas	52
Figura 53: Captura de pantalla de intento de interfaz con Bluetooth Serial Controller. 52	52
Figura 54: Captura de pantalla del móvil con BlueDot en funcionamiento.....	53
Figura 55: Captura de pantalla de Raspberry Pi con programa de BlueDot en funcionamiento.....	53
Figuras 56, 57, 58 y 59: Vistas frontal, superior, trasera e interior de la máquina terminada	54

1. Introducción

1.1. Motivación

La influencia de las nuevas tecnologías proporciona gran fluidez y libertad en el proceso de diseño y fabricación de maquinaria.

La impresión 3D nos permite diseñar piezas rápidamente y con cualquier característica que necesitemos en el momento, con materiales como plástico o metal.

Los mecanismos de control electrónico disponibles son hoy en día tan pequeños, potentes y asequibles, tanto en su programación como en precio, que pueden ser empleados casi para cualquier fin que podamos imaginar.

La comunicación entre personas y máquinas está empezando a ser casi imprescindible con el Internet de las cosas (IOT), donde todo va a estar conectado, incluso cosas que hoy en día no podemos concebir, todo gracias a la mejora en el mundo de las telecomunicaciones, que nos permite estar siempre conectados.

Aún no sabemos el alcance de la tecnología móvil, pero se perfila que el *smartphone* va a convertirse en una especie de mando universal de nuestras vidas.

Este proyecto pretende aunar estas tecnologías para ser un breve ejemplo práctico de estas influencias y de cómo obtener un resultado tangible.

Todas estas tecnologías son interesantes, tanto profesional como personalmente, así como es posible que algunas de ellas marquen el camino que está por venir.

1.2. Objetivos

Principalmente este proyecto quiere demostrar cómo estas tecnologías son útiles en el prototipado durante el proceso de fabricación, consiguiendo un prototipo funcional de una máquina de hacer pompas de jabón.

Los objetivos propuestos son:

- El primer objetivo es diseñar e imprimir un modelo 3D de la máquina.
- El segundo objetivo es mecanizar la máquina para que sea capaz de funcionar.
- El tercero es controlar la máquina mediante los mecanismos de control electrónico necesarios.
- El cuarto objetivo consiste en controlar la máquina con un dispositivo móvil o *smartphone*.

1.3. Impacto esperado

Realizar un sencillo proyecto, con unas técnicas empleadas que son válidas para cualquier tipo de maquinaria independientemente de su función, tamaño u objetivo.

Este es un primer prototipo en el proceso de fabricación, que intenta cumplir ciertas expectativas, genera nuevas incógnitas y problemas a resolver en sucesivos prototipos, hasta llegar al producto final.

Una vez obtenido un prototipo viable será factible un correcto despiece de la estructura 3D para su moldeado e inyectado en plástico, optimizar la mecanización, una simplificación de la electrónica de control para abaratamiento de costes y realizar una aplicación móvil y una comunicación entre el *smartphone* y la máquina más adecuadas. Todo ello siguiendo las normas de seguridad que toda máquina debe cumplir para poderse comercializar.

1.4. Estructura del documento

Este proyecto se divide en siete capítulos, así como bibliografía y un anexo.

- **Capítulo primero: Introducción**, donde se pone en contexto al lector de en qué consiste el proyecto.
- **Capítulo segundo: Estado de la cuestión**, donde analizamos los antecedentes del producto y de las técnicas existentes para conseguir los resultados deseados.
- **Capítulo tercero: Análisis del problema**, comentaremos los problemas con las distintas tecnologías y técnicas empleadas para conseguir nuestro objetivo.
- **Capítulo cuarto: Diseño de la solución**, soluciones concretas adoptadas.
- **Capítulo quinto: Implementación**, llevar a término las soluciones adoptadas del punto anterior.
- **Capítulo sexto: Pruebas**, documentar las pruebas realizadas durante todo el proceso, y tener en cuenta que al ser un método empírico estas han influido en parte de los puntos anteriores.
- **Capítulo séptimo: Conclusión**, exposición de resultados y valoración.
- **Bibliografía**
- **Anexo I: Planos**, documentación de la impresión 3D, sus piezas y medidas.

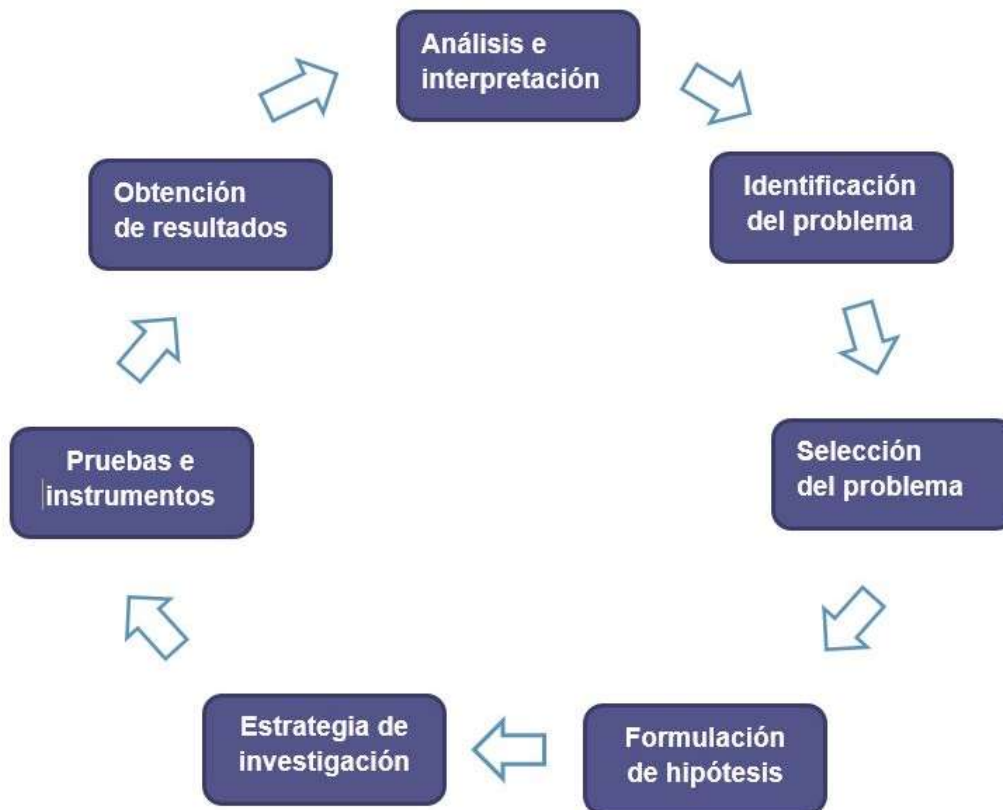


Figura 1: Ciclo de la metodología empírico-analítica

1.5. Metodología

La metodología empleada (figura 1) es empírico-analítica y contempla las siguientes fases:

- **Análisis e interpretación:** saber dónde queremos llegar y donde nos encontramos.
- **Identificación del problema:** qué nos impide conseguir el resultado deseado.
- **Selección del problema:** de los múltiples obstáculos determinar el prioritario en ser abordado.
- **Formulación de hipótesis:** determinar los caminos posibles para llegar al objetivo.
- **Estrategia de investigación:** escoger el camino que consideramos más adecuado.
- **Pruebas y aplicación de instrumentos:** aplicar la estrategia escogida.
- **Obtención de resultados:** obtener y contrastar los resultados obtenidos.

Una vez obtenidos los resultados volvemos a la fase de Análisis e interpretación para valorar de nuevo la situación. De forma iterativa iremos resolviendo los problemas que surjan, tanto durante el diseño 3D, como en la mecanización, en el sistema de control electrónico y control remoto.

2. Estado de la cuestión

En este capítulo hablaremos de los antecedentes que encontramos en referencia a las máquinas de hacer pompas que existen en la actualidad, así como a la historia de las pompas de jabón con humo en su interior y de la de las pompas de colores.

2.1. Máquinas de hacer pompas de jabón

Existen diversos tipos de máquinas de hacer pompas de jabón en el mercado (figura 2), mayormente están enfocadas a juguetería, aunque también existen de carácter profesional para eventos.

Nuestro proyecto está encaminado a la primera vertiente, aunque no hemos encontrado ningún referente a una máquina de similares características que fuese controlada de modo inalámbrico. Tampoco que incluya un control electrónico similar al nuestro, suelen ser mucho más sencillas, sin ofrecer la posibilidad de pompas con humo o de diferentes colores.

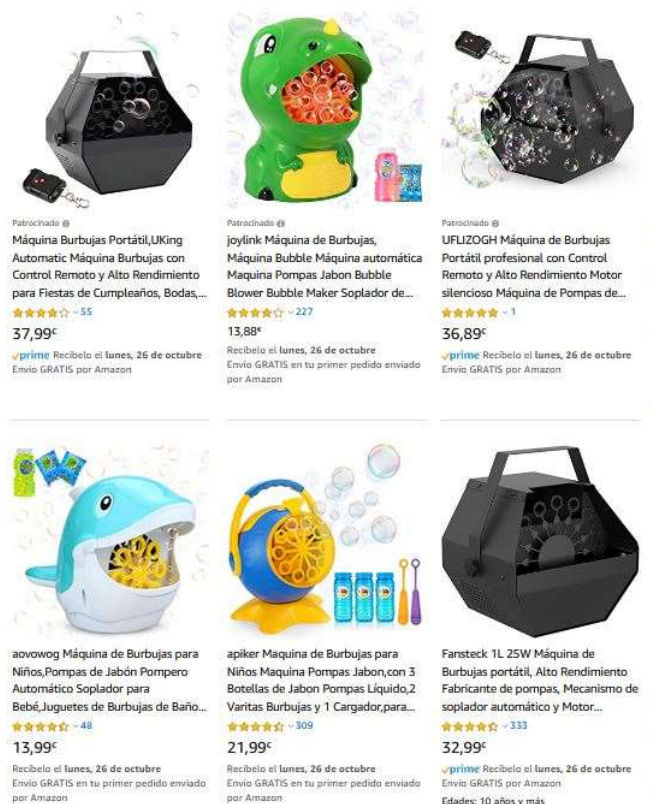


Figura 2: Máquinas de pompas de jabón en Amazon (captura de pantalla) [1]

2.2. Pompas de jabón con humo en su interior

El fenómeno de las pompas de jabón con humo en su interior no es reciente, no es complicado soplar humo en un pompero y conseguirlo. Pero cuando hacer pompas se convierte en un arte encuentras ejemplos como el de Pep Bou [2], que lleva más de 40 años haciendo pompas encima del escenario. Hoy en día ya no utiliza tabaco, si no un sistema muy original con cigarrillos electrónicos.

Un sistema capaz de generar humo existente en juguetería es uno usado en maquetas de vehículos conocido como sistema fumígeno. Insertado en vehículos como tanques, coches o locomotoras de vapor genera un flujo de humo, al quemar en una resistencia eléctrica, un líquido fumígeno muy similar al de los cigarrillos electrónicos que está compuesto por glicerina y propilenglicol. Este sistema necesita de un ventilador que propulse el humo al exterior del quemador que contiene la resistencia.

2.3. Pompas de jabón de colores

Las pompas de colores tampoco son nuevas, encontramos referencias a un producto jabonoso llamado con el nombre comercial de Zubbles creado por Tim Kemhoe, con ayuda del químico Ram Sabnis en 2005. La problemática principal era conseguir que el tinte se repartiera por toda la superficie de la pompa, dado que los tintes convencionales tendían a desplazar su contenido a la parte inferior de la burbuja, concentrándose en un punto [3].

Desgraciadamente este líquido es imposible de conseguir, no está disponible hoy en día en el mercado y es difícil de encontrar.

Aun así, puede fabricarse con compuestos como la fenolftaleína [4]. Esta sustancia altera su color dependiendo del pH del líquido donde se encuentra, virando en diversos colores [5], siendo los más vistosos azul y rosa. Se utiliza en pruebas de laboratorio, para medir el pH, y puede encontrarse más fácilmente. Éste parece tener las características adecuadas para mantenerse alrededor de la pompa. Se añade al líquido jabonoso a la par que una sustancia base o alcalina [6] dependiendo del color deseado.

3. Análisis del problema

En este capítulo comentaremos los problemas con las distintas tecnologías y técnicas empleadas, así como la solución propuesta para conseguir nuestro objetivo.

3.1. Introducción

Básicamente una máquina de hacer pompas de jabón necesita un flujo de aire proporcionado por un ventilador, un pompero (aro donde se producen las pompas) y un recipiente con líquido jabonoso.

Pero cómo conseguir que algo hecho de piezas de otras máquinas encajen y funcionen, que a primera vista no suele parecer un problema, como descubrimos, produce en el proceso que surjan contratiempos con los que no contábamos. Esto nos obligará a veces a crear nuestras propias piezas, o partes modificadas, algo mucho más fácil hoy en día gracias a tecnologías como la impresión 3D, o simplemente a cambiar un componente electrónico por otro más adecuado.

Teniendo en cuenta que es un primer prototipo no todos los problemas se van a solventar en este paso del proceso de producción, ya que en sucesivos prototipos se mejorará y se solucionarán los posibles problemas que queden o que se generen nuevos del primer prototipo, para finalmente generar un modelo que no dependa de piezas “prestadas”.

3.2. Diseño e impresión 3D

El diseño de la máquina en 3D requiere de conocer los programas CAD (*computer aided design*) y dedicarle unas cuantas horas a desarrollar el concepto que queremos. Posteriormente si algo tiene la necesidad de ser remodelado puede rediseñarse y reimprimirse, por esto la tecnología de impresión 3D es tan adecuada para prototipado.

En nuestro caso uno de los problemas a la hora de diseñar ha sido el de colocar todos los elementos en el interior del cuerpo de la máquina, ya que dadas sus reducidas dimensiones todo ha sido medido al milímetro.

Al mismo tiempo la estanqueidad del cuerpo ha sido muy importante, dado que la máquina aloja líquidos, el jabonoso, así como el fumígeno, a la par que elementos eléctricos y electrónicos.

Del mismo modo, de la impresión se derivan otros problemas menores, pero que hay que tener en cuenta como la tolerancia o margen de error de las impresoras, que hacen imprescindible prever una holgura en las uniones de las piezas para que éstas puedan encajar. Otro problema es la fragilidad del material ya sea PLA (*polylactic acid*)

como ABS (*acrylonitrile butadiene styrene*), tanto frente a roturas como a temperaturas elevadas. En el caso del PLA 60° son suficientes para que empiece a alterarse, y 90° en el caso del ABS.

3.3. Sistema fumígeno

La integración de un generador de humo tiene principalmente tres problemáticas, su alimentación de líquido fumígeno, que el quemador donde la resistencia quema el líquido fumígeno produce calor y que necesita un ventilador propio que sopla sobre la resistencia del quemador, para producir el humo, y que éste debe añadirse al interior reducido de la máquina.

La alimentación del líquido fumígeno debe ser constante, pero a su vez bastante espaciada en el tiempo ya que demasiado líquido ahoga el quemador y no produce humo. Se ha de prever su automatización y un depósito de líquido fumígeno estanco.

El calor puede ser un problema debido al material en que está impreso el cuerpo de la máquina, pero mientras no se superen ciertos valores no debe ser un problema ya que estos mecanismos son utilizados en maquetas de vehículos realizadas en material plástico.

El espacio ocupado por el ventilador debe ser previsto, así como sus posibles vibraciones, siendo importante asignarle una posición estable si fuera necesario.

3.4. Coloración de las pompas

La máquina ofrece la posibilidad de hacer pompas de diferentes colores, esto crea la necesidad de un mecanismo capaz de acceder a varios tipos de líquido jabonoso, en compartimentos separados y estancos con la parte eléctrica de la máquina.

3.5. Mecanizado

El encontrar piezas existentes que solucionen las funciones de la máquina puede ser otro problema, no siempre encontramos elementos que se ajusten con precisión a nuestras necesidades.

La alimentación eléctrica de la máquina es otro punto importante a tener en cuenta, debe suministrar la potencia suficiente para su funcionamiento adecuado.

3.6. Control electrónico

Hoy en día tenemos sistemas electrónicos asequibles en manejo y precio, como pueden ser las tarjetas Arduino, Raspberry Pi, etc. Son programables y tiene la potencia de un pequeño ordenador. Van muchas veces asociados a circuitos controladores (*drivers*) con el fin de obtener recursos como pueden ser una conexión wifi o Bluetooth, recibir información de un sensor o controlar actuadores como puede ser un motor o un punto de luz.

El problema puede venir cuando usamos controladores que no son compatibles con nuestra tarjeta o no tiene librerías en el lenguaje de programación que nosotros queremos usar.

3.7. Conexión inalámbrica con *smartphone*

Comunicar dos máquinas entre sí de manera inalámbrica es una cuestión muy sencilla actualmente. Existen muchas tecnologías como el wifi y el Bluetooth, ampliamente desarrolladas.

El problema se puede derivar de la compatibilidad entre la aplicación del móvil y la tarjeta que utilicemos para el control a la hora de comunicarse entre sí.

3.8. Solución propuesta

Realizar la máquina impresa en 3D, su mecanizado, implementar la circuitería electrónica necesaria, crear la conexión inalámbrica para su control desde el *smartphone* y realizar las pruebas necesarias y oportunas durante el proceso.

3.9. Plan de trabajo planificación

La planificación ha sido imposible de cumplir debido a que se ha visto afectada por la pandemia que ha azotado al mundo este 2020, conocida como COVID-19, amén de otros problemas ajenos a ésta, con lo cual lo siguiente es más un calendario de sucesos, y como sucedieron, que una planificación propiamente.

A groso modo consta de los siguientes apartados:

- **Preparación de la memoria:** ha sido un trabajo continuado en el tiempo.
- **Investigación:** ha sido un trabajo durante todo el proceso.
- **Diseño 3D:** mayormente se realizó en un principio, aunque debido a la evolución de la máquina se realizaron intervenciones durante el tiempo.

- **Impresión 3D:** la etapa de impresión fue la más afectada por la pandemia, dado que debía haber sido realizada en la Universidad Politécnica de Valencia. El cierre de esta abrió un periodo de incertidumbre, que obligó a estar a la espera durante meses de su reapertura, para finalmente buscar otros medios.
- **Mecanización:** Entendido como montaje de piezas mecánicas y eléctricas.
- **Electrónica de control:** colocación y pruebas de los controladores de la mecanización.
- **Control remoto:** conexión inalámbrica con *smartphone* y aplicación móvil.

Las casillas en gris representan la inactividad del proyecto debida a la pandemia y otros motivos personales.

AÑO 2020	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Preparación de la memoria	■	■	■	■	■	■	■	■
Investigación	■	■	■	■	■	■	■	■
Diseño 3D								
Impresión 3D								
Mecanización								
Electrónica de control								
Control remoto								

Figura 3: Diagrama de Gantt

4. Diseño de la solución

En este capítulo hablaremos de la ejecución de la solución propuesta adoptada para solucionar los problemas del capítulo anterior.

4.1. Diseño e impresión 3D

4.1.1. Diseño

El diseño de la máquina no difiere mucho de las existentes en el mercado, ahondando en la sencillez del diseño nos inclinamos por la forma esférica para el cuerpo de la máquina, sostenida por un pie independiente, o base, con unas conexiones que permiten variar su posición para ganar altura gracias a su modularidad.

Se le ha querido dar un ligero estilo Steampunk [7], haciendo juego con su nombre Steampomp, dado que este estilo inspirado en la época Victoriana, tiene una fuerte relación con las máquinas de vapor de dicho período, mecanismos con engranajes (figura 4), estructuras con remaches propios de edificios tan populares como la icónica torre Eiffel o evocadores relatos como los escritos por Jules Verne.

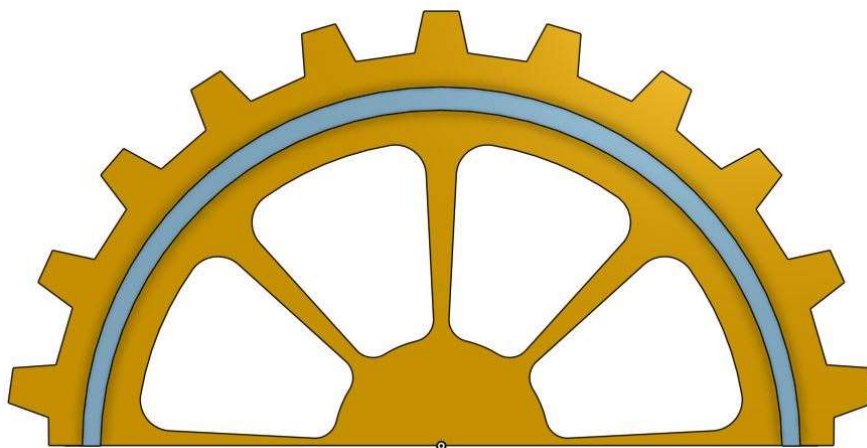


Figura 4: Rueda de engranajes en Onshape

Partimos la esfera en dos mitades (figura 5), una aloja la parte mecánico-eléctrica y de control electrónico, mientras que la otra mitad está dedicada a la parte que aloja los depósitos de líquido jabonoso y las aspas con los pomperos, donde se producen las pompas.

Para conseguir que produzca pompas en dos colores diferentes creamos dos recipientes, ambos esféricos concéntricos con la propia esfera, ocupando una cuarta parte de esta, siguiendo las aspas igualmente un patrón esférico y concéntrico, permitiendo así el movimiento circular de éstas, de modo que los pomperos puedan repostar el líquido jabonoso en el fondo y posteriormente pasar por el flujo de aire que está en la parte superior y que produce la pompa.

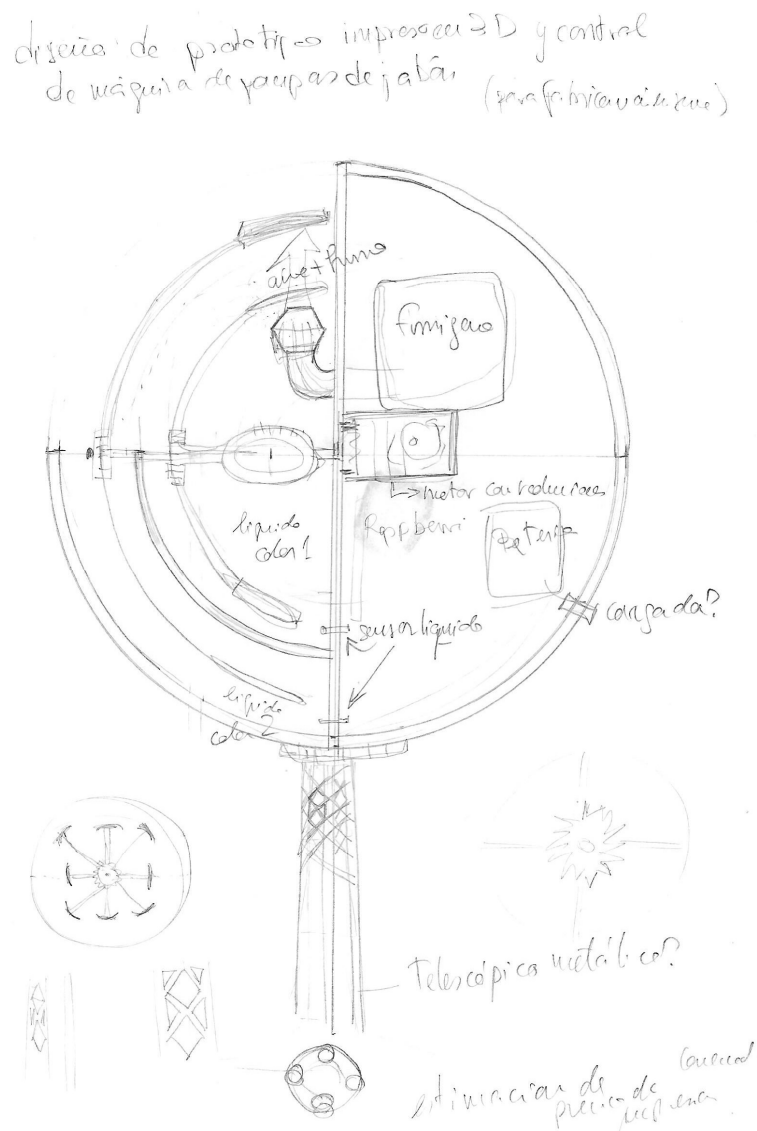


Figura 5: Concepto previo

STEAMPOMP: Control y diseño impreso en 3D para máquina de hacer pompas

El diseño inicial fue modificado posteriormente, para incluir las partes mecánicas que se escogieron después de testarlas, como el sistema fumígeno explicado más adelante (figura 6).

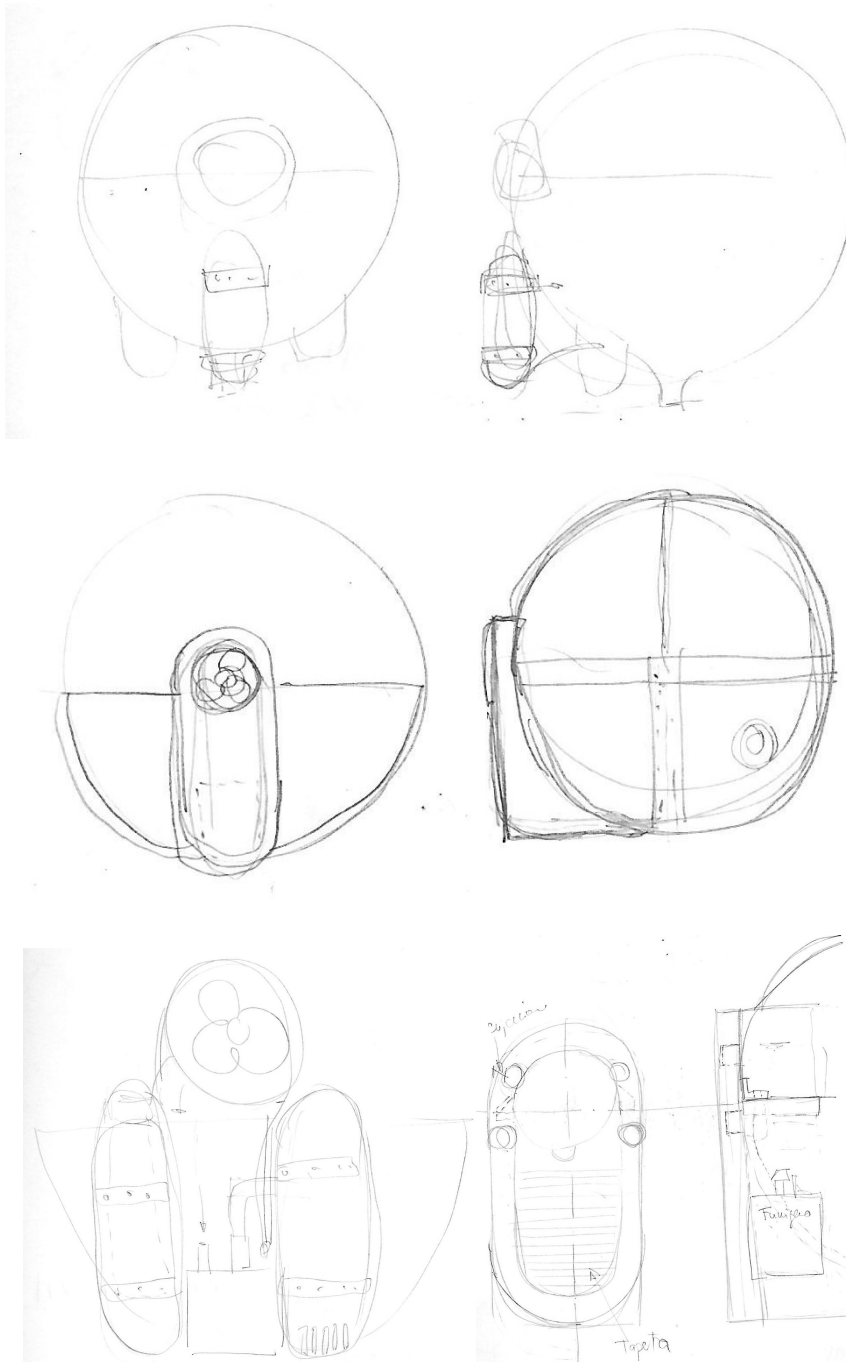


Figura 6: Conceptos para parte trasera

Se barajaron otros diseños, más alejados de lo comercial, pero debido a su complejidad y tiempo de estudio requerido fueron rechazados.

4.1.2. Diseño 3D

Para el diseño 3D empleamos la plataforma Onshape [8]. Consiste en un *software* CAD basado en la nube, gratuito para estudiantes, sencillo de manejar y bastante completo. Nos ofrece la posibilidad de crear planos CAD en formato PDF, DWG, ... Acotar las medidas de manera básica, ensamblar las partes de la máquina para ver el encaje de sus piezas, e incluso, dotarla de movimiento como si fuesen piezas físicas. Los planos de las piezas están recogidos en el anexo I.

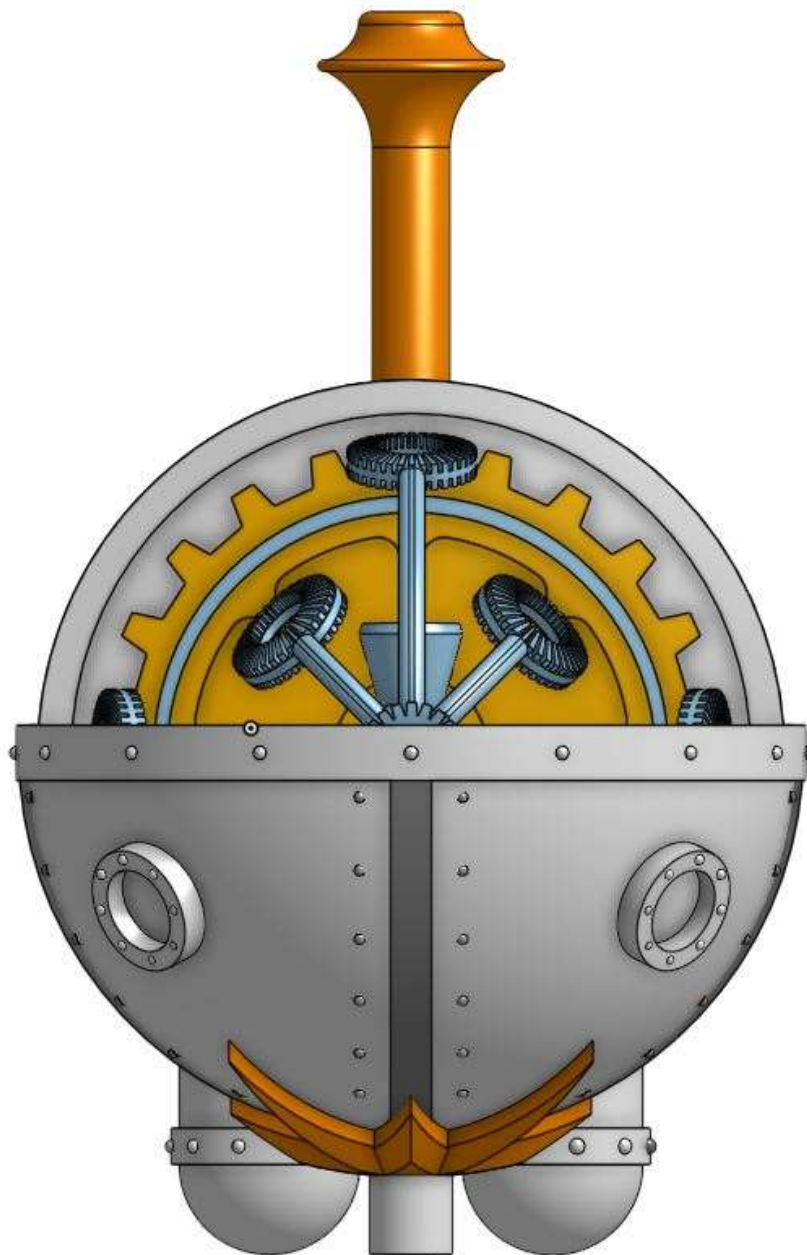


Figura 7: Cuerpo de la maquina en 3D en Onshape

4.1.3. Impresión 3D

La impresión 3D, como indicamos anteriormente, fue imposible de realizar en la Universidad Politécnica de Valencia. Finalmente, ante ésta imposibilidad y después de unas pruebas fallidas con una impresora (capítulo sexto, punto segundo) la impresión fue encargada a una empresa de Valencia llamada Imprimakers [9].

En el caso de haberse realizado en la Universidad Politécnica de Valencia, hubiésemos utilizado las impresoras de que ésta dispone, se hubiera realizado con la impresora Prusa i3 MK3 y se hubiera necesitado un *software* de rebanado, que es el que convierte los modelos 3D en capas para ser impresos, en este caso el *software* de que dispone la universidad es *Slic3R 3D*.

4.2. Diseño del Sistema fumígeno

Si bien en un primer momento sopesamos la posibilidad de insertar hidrógeno en lugar de humo, que ayudaría a la flotabilidad de las burbujas, lo descartamos por los problemas que implicaba, tanto de seguridad como de manejo de dicho gas, aunque como vertiente lúdica tiene muchas posibilidades [10].

Ciñéndonos al propósito inicial nos decantamos por usar un sistema usado por las maquetas de vehículos, llamado sistema fumígeno. Considerando las pruebas realizadas con distintas máquinas fumígenas nos decidimos por un modelo donde el quemador fuese metálico, su tamaño reducido y su constitución en bloque separados de quemador y ventilador. El modelo escogido y en base al cual se diseñó parte del cuerpo de la máquina es el Generador de humo de Metal para tanque 1/16 Henglong a RC, versión 6'0.

El sistema fumígeno debe estar dotado a su vez de una alimentación constante de líquido fumígeno, lo cual nos hace plantearnos la incorporación de dos elementos más, un depósito que aloja este líquido fumígeno, así como un alimentador, que en este caso será una bomba peristáltica de reducidas dimensiones.

El depósito podría haber sido impreso e incluso formar parte del cuerpo de la máquina, o que fuese un elemento estético del diseño en una parte bien visible. Finalmente se optó por adquirir un pequeño ejemplar de plástico he insertarlo en el cuerpo.

El nivel del líquido fumígeno es una variable a tener en cuenta, ya que debe ser rellenado a su fin, porque su falta podría ocasionar efectos no deseados como el sobrecalentamiento del quemador. Esto será controlado por un sensor de nivel de líquido, concretamente el sensor de nivel de líquido Funduino para Arduino. En caso de la falta de líquido el sistema fumígeno deberá detenerse.

La bomba peristáltica fue seleccionada por estética he insertada de forma visible en la parte trasera del cuerpo. Durante la investigación, descubrimos la multitud de usos de estas bombas, desde máquinas de diálisis, hasta dosificadores de sustancias en acuarios. Tamaños que van desde varios centímetros hasta bombas peristálticas piezoeléctricas de varios milímetros. Si hubiese existido la posibilidad de conseguir una de un tamaño más reducido nos hubiésemos decantado por esta opción. El modelo escogido es la Bomba peristáltica DIY de 6v CC, con cabezal de dosificación.

Así mismo, el humo producido debe ser conducido hasta el ventilador principal que genera el flujo de aire para las pompas y evitar que éste se disipe. Para este fin diseñamos una pieza específica que imprimimos en 3D y a la cual hemos llamado concentrador de humo (figura 8).

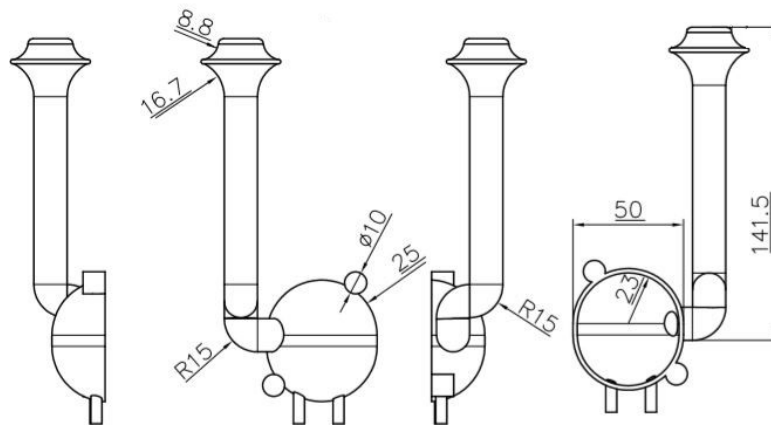


Figura 8: Concentrador de humo vistas

El humo generado puede generarse con líquido específico para máquinas fumígenas de maquetas de vehículos, pero durante la investigación descubrimos que tiene el mismo principio que el líquido usado en los cigarrillos electrónicos compuesto por propilenglicol y glicerina, que no es tóxico.

4.3. Diseño del Sistema de coloración de las pompas

El sistema para producir pompas de dos colores diferentes está constituido por dos cuencos separados, así como la necesidad de un jabón con propiedades especiales como indicamos en el capítulo segundo apartado tercero.

Se planteo un sistema que pudiese inyectar de alguna forma el colorante, mediante unos depósitos en un cabezal giratorio donde estuvieran integrados los pomperos, sustituyendo las aspas y los depósitos antes descritos. En dicho caso tendríamos un cuenco con líquido jabonoso al cual se le podría añadir la sustancia fenolftaleína comentada en el capítulo segundo y en dicho cabezal depósitos con sustancias ácidas y base que cambiaran el pH, pero solo en el pompero afectado.

Otra idea de sistema de coloración consistiría en un cambio total del diseño, con pomperos fijos con depósitos con el líquido jabonoso preparado que fuese suministrado por bombas peristálticas directamente en el pompero y luego recuperado al mismo depósito, como encontramos en algunas pistolas de pompas de juguete.

Ambas fueron rechazadas, una por la complejidad que presentaba y la otra por representar un cambio radical en el paradigma, que representaba un planteamiento global nuevo y tener que volver a empezar un diseño ya consolidado.

4.4. Mecanizado

La parte de mecanización incluye el ventilador que proporciona el flujo del aire que produce las pompas y el motor que hace girar las aspas con los pomperos.

Buscando la economía del espacio y la practicidad en su función, escogemos estos dos elementos:

El modelo del motor que gira aspas elegido es el Motor de engranajes de CC de reducción de caja de engranajes 6v eje de salida tamaño M4 x 100mm (6v, 30rpm).

Este primer motor es el encargado de hacer rotar las aspas, consta de una reducción de velocidad por engranajes y aún con su reducido tamaño de 1'5x2 cms es suficiente para mover las aspas. Va insertado en un pequeño cajetín en el centro del cuerpo.

El modelo para el motor del flujo de aire será el Ventilador de refrigeración CC sin escobillas 12v, 0'25A.

Este ventilador con motor en jula de ardilla suministra un caudal correcto y su tamaño permite su alojamiento en el interior del cuerpo ya que otros modelos se excedían en tamaño, potencia y en precio.

La alimentación eléctrica es otro punto importante, sopesamos la posibilidad de que la máquina fuera autónoma, alimentada por una pila, o por una reducida placa solar flexible, pero finalmente optamos por conectarla a la red mediante un transformador de voltaje de entrada 240v AC a salida 12v, 5A CC. Capaz de alimentar todos los elementos eléctricos y electrónicos del sistema.

4.5. Sistema de control electrónico

Después de sopesar varias cualidades de las placas existentes en el mercado, primamos el tamaño como principal característica, dejando como secundarios aspectos como la potencia computacional, dado que esta última no es muy necesaria para una máquina de estas características.

Elegimos así la tarjeta Raspberry Pi Zero W, excelente por su reducido tamaño de 8x3 cms, que incluye conexión wifi, así como Bluetooth, y un reducido coste.

Equipada con una tarjeta de memoria de 16 GB y el sistema operativo Raspbian funciona como un pequeño computador. Con ella controlaremos el motor de giro de las aspas, el ventilador del flujo de aire para las bombas y el sistema fumígeno al completo.

Para controlar los cuatro motores existentes (a saber: 1- motor de giro de aspas, 2- motor de ventilador de flujo de aire, 3- motor de ventilador de sistema fumígeno y 4- bomba peristáltica) es necesario un controlador de motores (*driver*), en su caso escogemos MotoZero específico para Raspberry Pi Zero, capaz de controlar hasta cuatro motores.

Elegimos para la programación del funcionamiento el lenguaje de programación Python por su sencillez. Un sencillo *script* en este lenguaje nos basta para programar todas las funciones de la máquina, que son:

- Girar en sentido horario
- Girar en sentido antihorario
- Generar pompas con humo en su interior
- Indicar el nivel de líquido fumígeno
- Paro

4.6. Conexión de control inalámbrica

Aunque podría manejarse con wifi, la conexión será por Bluetooth, es más lógico, dado que la cercanía con la máquina es lo más deseable, para poder disfrutar de su uso *in situ*, así como evitar la necesidad de una conexión a internet.

Raspberry Pi consta de una conexión Bluetooth 4.0, con la cual puede comunicarse.

Por otro lado, precisamos de un aplicación móvil, escogemos Blynk por su versatilidad, fácil manejo y su librería `blynklib.py` [11], que permite la comunicación entre ambos.



5. Implementación

En este capítulo explicaremos como llevamos a término las soluciones adoptadas en el capítulo anterior. Podría dividirse en cuatro bloques: investigación, montaje, control electrónico y conexión inalámbrica.

5.1. Investigación

Aunque la investigación se desarrolla durante todo el proceso, dado que hemos de indagar en la solución de los problemas a medida que surgen en éste a cada paso, aquí nos referimos a la investigación inicial de las cuestiones primordiales como son: ¿Es posible hacer pompas de colores? ¿Cómo podemos introducir humo dentro de una burbuja de manera mecánica? ¿Alguien ha hecho algo semejante antes?

A priori todo esto parece sencillo, pero al indagar en la red descubrimos la dificultad de algunas de ellas, por ejemplo, el realizar pompas de colores. Pensamos que con sólo añadir un colorante al líquido jabonoso es suficiente, pero la realidad de una burbuja es más complicada lo suficiente para que esto no funcione. La superficie de la pompa está conformada por tres capas las exteriores son de jabón conformadas por moléculas tensoactivas y la central por agua. El colorante disuelto en el agua tiende a caer por gravedad y acumularse en la parte baja de la pompa agrupado en un punto. Además, las burbujas de colores incluyen otros problemas como que dejen rastro de color allá donde explotan y manchen.

Como comentamos en el capítulo segundo, apartado tercero, encontramos un líquido especial para hacer pompas de jabón con colores llamado Zubbles, que existió, pero que hoy en día nos ha sido imposible adquirir. En el mismo apartado reseñamos como producir pompas de colores incorporando la sustancia fenolftaleína al jabón.

La generación del humo tiene un par de consideraciones. En principio sopesamos la idea de hacer un sistema con una boquilla de cigarro electrónico y descubrimos que usan el mismo sistema de quemador que los sistemas fumígenos de las maquetas, consistente en una resistencia eléctrica que quema un algodón empapado en líquido fumígeno. La complejidad de alimentarla eléctricamente y la necesidad de un flujo de aire constante nos hizo desistir y optar por la segunda opción mucho más segura.

Incógnitas como la posible toxicidad del humo o del propio líquido fumígeno. La composición del líquido usado en los cigarrillos es muy clara y explícita, obligada por las leyes de consumo, en cambio la composición del líquido fumígeno usado en maquetas no termina de estar del todo claro, habiendo encontrado varios tipos en el mercado no encontramos claramente expuesta su composición. Asumimos que el líquido usado en los cigarrillos electrónicos es el adecuado, por la similitud del sistema quemador en ambos y su falta de toxicidad.

La generación de pompas, cómo afecta el tamaño del aro del pompero, el flujo del aire, un exceso de fuerza hace que se rompan, aunque estas son cuestiones más empíricas que teóricas y algunas de ellas se escapan al objetivo del proyecto.

Como dosificar el líquido fumígeno, una pequeña bomba hidráulica aportaría demasiado caudal, una bomba peristáltica se perfiló como la más idónea. Dentro de este tipo de bombas encontramos un sinfín, algunas tan pequeñas como un mico chip (bombas piezoeléctricas), elegimos la más asequible por precio, tamaño reducido y estética, aunque hubiésemos preferido algo más pequeño, integrado en el interior, fue imposible su adquisición.

5.2. Montaje

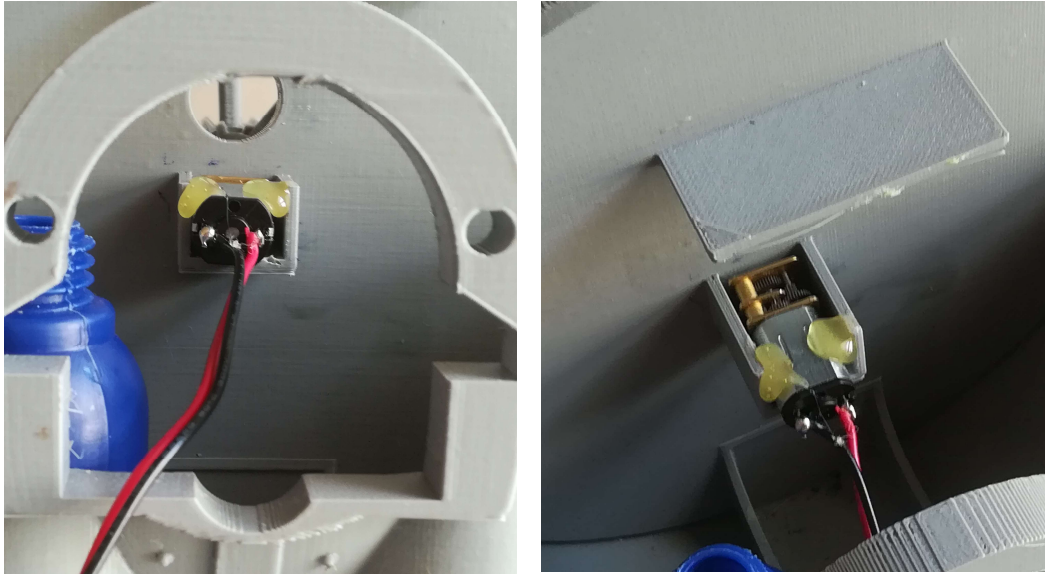
Siguiendo las pautas marcadas anteriormente transferimos el concepto del diseño a un modelo 3D, para ser impreso y montar todos los elementos.

Ante la imposibilidad de la impresión en la Universidad Politécnica de Valencia, intentamos otros medios, realizamos unas pruebas con una impresora antigua, modelo 3D XYZ Davinci 1.0 pero los resultados no fueron satisfactorios, la impresión no resultó de calidad suficiente en los detalles de los pomperos, posiblemente por el material utilizado (ABS), pero aun así su antigüedad producía otros problemas como el uso de unos cartuchos especiales para ésta y velocidades que hacían prácticamente imposible imprimir piezas de gran tamaño, las cuales podrían tardar incluso varios días en ser impresas. Finalmente se decidió solicitar los servicios de impresión de una empresa de Valencia de nombre Imprimakers [9].

El material elegido es el PLA (ácido poliláctico), pese a ser menos resistente a roturas y a temperaturas elevadas es el que ofrece mejores resultados en cuanto a detalle de las piezas, y es menos tóxico que el plástico ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), siendo su precio también algo menor.

Al mismo tiempo que creamos el diseño en 3D fuimos haciendo acopio de los componentes necesarios, mediante un trabajo de búsqueda ardua en internet, dada la diferente variedad de tamaños, funcionalidades, precios y un sinfín de características. Dada la situación pandémica este acopio tuvo que realizarse por internet, haciendo un poco más difícil si cabe el escoger las piezas al tener que confiar en una imagen y no en un objeto tangible, ya que el tamaño de estas es muy importante a la hora de integrarlas en el interior de la máquina. No obstante, algunas piezas no son sencillas de encontrar en una tienda física, o directamente en nuestro país.

En primer lugar, se consiguió el motor que hace girar las aspas, y diseñamos un cajetín en el centro de la máquina, su eje posee un tornillo de rosca, que posteriormente a su inserción permite unir las aspas de manera solidaria con él gracias a unas tuercas. El cajetín fue diseñado a priori antes de la llegada del motor y tanto este como el orificio por el cual atraviesa la pared que separa la parte eléctrica de la parte húmeda, ambos fueron óptimos basándonos en las medidas obtenidas del proveedor (figuras 9 y 10). Su tensión nominal es de 6v.



Figuras 9 y 10: Inserción motor de giro de las aspas

A un tiempo, se pidió, mientras se diseñaba el espacio que ocuparía posteriormente, el motor que provee el caudal de aire que forma las burbujas. Había muchos modelos desde industriales hasta ventiladores para respiradores de uso hospitalario, de múltiples formas y orientaciones. La orientación y ubicación en un principio no estaba clara. No estaba claro si el humo debería entrar atravesando la turbina, lo que podría producir que el humo se disipara, o debería estar a la salida del aire. Según las pruebas realizadas es indiferente. Finalmente, el encaje en el cuerpo (figura 11) fue correcto solo hubo que modificar ligeramente la salida del aire recortando su boquilla, practicando un nuevo orificio y colocando la boquilla propia diseñada para este efecto impresa en 3D. El ajuste es perfecto entre el cajetín del motor de las aspas y la pequeña plataforma destinada a la placa Raspberry Pi. Su alimentación es de 12v y esto ayudó a definir la tensión nominal del transformador de alimentación del conjunto.



Figura 11: Encaje del motor para flujo de aire

El sistema fumígeno empezó con la decisión sobre qué sistema fumígeno sería el más adecuado a su fin, así que se adquirieron tres diferentes modelos, dos de ellos con ventilador y quemador en una sola pieza, con la esperanza de que el flujo de aire emitido fuera suficiente para generar pompas. Las pruebas determinaron que no era así, ya que éste solo sirve para expulsar el humo fuera del quemador. Los dos primeros de material plástico eran más susceptibles a sufrir daños por calor en caso de aumento de tensión en el quemador como pudimos comprobar en algunas pruebas (ver pruebas en el capítulo sexto).

Finalmente, por su robustez, ser metálico y tener el ventilador separado del quemador escogimos el Generador de humo de Metal para tanque 1/16 Henglong a RC, versión 6'0. Dadas sus características viene provisto de un limitador de tensión en el quemador, que limita su tensión de entrada a 6v, que coincide con la tensión del ventilador del mismo sistema fumígeno. Vemos su encaje en figura 12.

La elección de éste, influyó en la parte posterior del diseño (como vimos en el capítulo cuarto, punto primero), donde sopesamos varias opciones para alojar el quemador, ventilador, depósito de líquido fumígeno y la bomba peristáltica (figura 12).

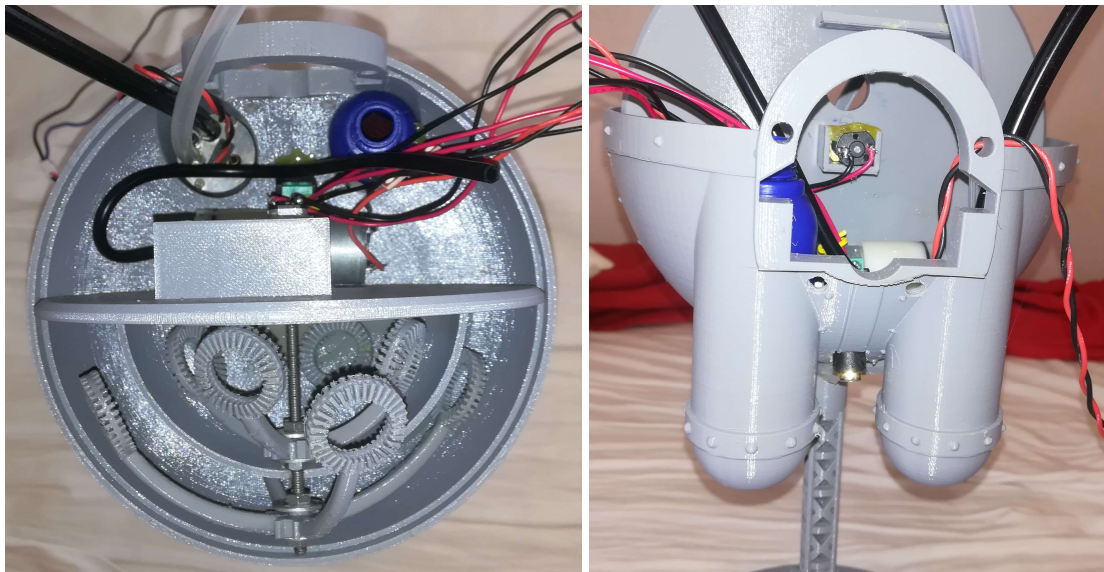
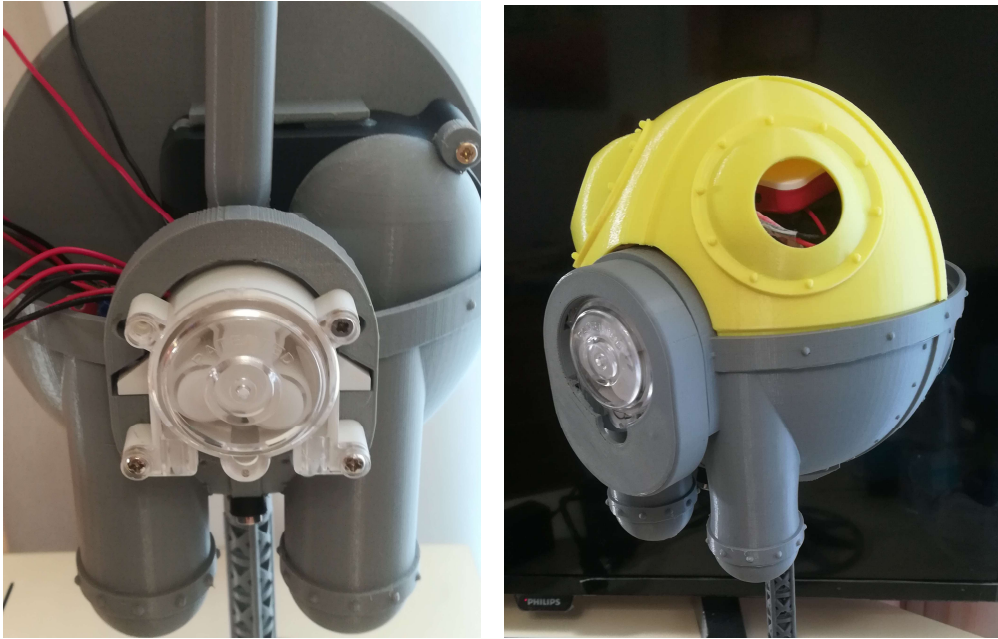


Figura 12: Encaje de fumígeno vistas superior y trasera

La bomba peristáltica por tamaño y estética está alojada en esta parte posterior en un lugar privilegiado donde puede verse funcionar y es uno de los últimos elementos incorporados (figura 13). Para ocultarla parcialmente y que solo se viera su esfera transparente, así como para ocultar los tubos de goma que transportan el líquido fumígeno, se creó una tapadera (figura 14), a la cual denominaremos tapa trasera. También funciona a una tensión de 6v.



Figuras 13 y 14: Bomba peristáltica encaje y tapa posterior

La pieza llamada concentrador de humo, que posteriormente fue rechazada tras las pruebas (ver capítulo sexto), dado que el flujo de aire suministrado no era suficiente para que se produjeran las pompas (figura 15).



Figura 15: Concentrador de humo impreso en 3D

Esto cambió ligeramente la configuración de la máquina y el sistema fumígeno, conectando directamente la salida de humo del quemador a la salida de aire del ventilador que genera las pompas. De igual modo alteró el diseño de la tapa, que en previsión de cambios fue diseñada al final.

Una vez terminado este montaje se hicieron pruebas de todos los elementos en conjunto para observar su correcto funcionamiento.

5.3. Control electrónico

5.3.1. Arquitectura *hardware*

Una vez decidido el uso de la tarjeta Raspberry Pi Zero W, por sus características de sencillez y tamaño, y a la par el llevar incorporadas funciones como wifi y Bluetooth, se adquirió un *kit* compuesto entre otras partes por (figura 16):

- Tarjeta Raspberry Pi Zero W
- Caja oficial Raspberry Pi Zero W con varias tapas
- Adaptador HDMI-mini HDMI, para su conexión a un monitor
- Adaptador USB, para su conexión con ratón y teclado inalámbricos
- Una MicroSD con el sistema operativo Raspbian preinstalado



Figura 16: Starter Kit de Raspberry Pi Zero W

Se decidió su alojamiento en la parte superior de la esfera (figura 17), facilitando su acceso, en una pequeña plataforma en la pared central del cuerpo creada para este fin. Esto facilita su conexión por cable, en caso de ser necesario, y la aísla de cualquier líquido en caso de fuga.

Su alimentación se realiza a través de un puerto USB, en una tarjeta convertidora de tensión: Módulo Dual USB 12v a 5v Convertidor 3A de la marca IIs. Ésta se alimenta de la fuente de alimentación general de la máquina que es el transformador de 12v. Proporciona una tensión e intensidad correctas para el funcionamiento de la tarjeta Raspberry Pi, así como protección contra sobretensiones. Estará alojada y adherida a la pared central del cuerpo.

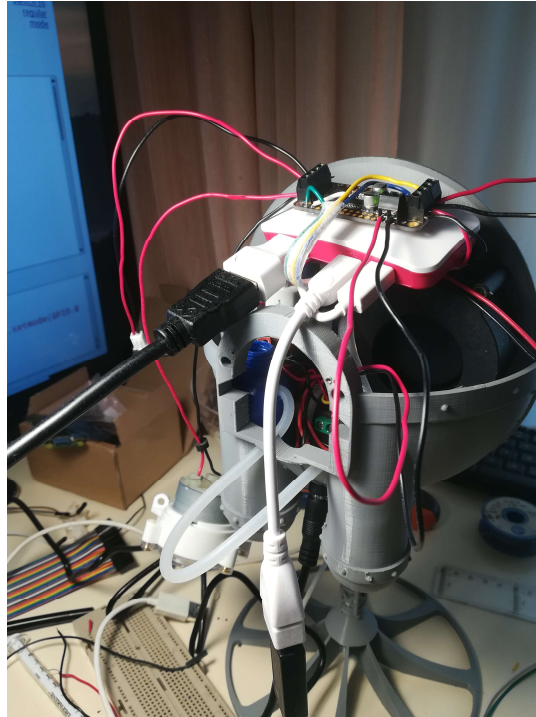


Figura 17: Colocación de tarjeta Raspberry Pi y conexiones

Pero la tarjeta Raspberry Pi no es suficiente para controlar los mecanismos. No tiene una potencia suficiente para suministrar a elementos como son los motores. Los pines de que consta suministran una tensión máxima de 5v. Además, como más adelante descubrimos, el modelo Raspberry Pi Zero W no consta de ninguna salida analógica.

Por ello necesitamos un *driver*, o controlador, para manejar los cuatro motores. Escogimos MotoZero, por su afinidad con Raspberry Pi Zero. Capaz de manejar cuatro motores gracias al uso del integrado L293D especial para pequeños motores, con la capacidad de controlar corriente hasta 600 mA en cada circuito y una tensión entre 4'5v a 36v. Adquirido como un kit, requiere montaje [12].

La tardanza en su entrega nos hace buscar alternativas, encontramos el DC Motor Stepper FeatherWing de Adafruit (figura 18), que posee un circuito integrado TB6612 que puede proveer hasta 1'2A, posee protección de apagado térmico y maneja motores de entre 4'5v a 13'5v. Siendo, además, de menor tamaño que el MotoZero. Encontramos un excelente manual [13], así como un video sobre como implementar el manejo de cuatro motores con Raspberry Pi y en el lenguaje Python [14].

Tiene además una gran ventaja, que aprovechando los pines con I2C (puerto y protocolo serie) de la Raspberry Pi reduce a cuatro pines los que son necesarios, dos de alimentación 3'3v y GND (pin 1 y pin 6) y dos para el manejo de los motores (SCL y SCA) en este caso (pin 3 y pin 5).

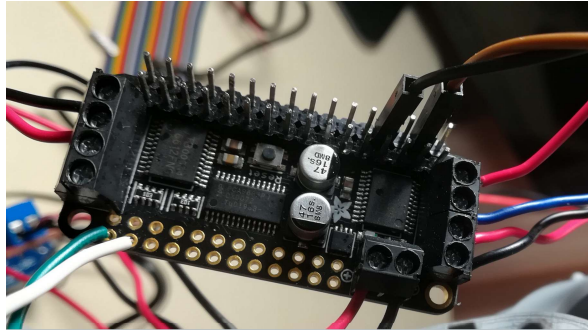


Figura 18: Montaje de Motor Stepper FeatherWing de Adafruit

Además, utiliza PWM (*pulse width modulation*). La PWM aprovecha la variación del ancho de pulso en una señal cuadrada regular. La señal cuadrada tiene un periodo a tensión máxima llamado T_{on} y un periodo a tensión mínima llamado T_{off} . Otra característica de la onda es el llamado ciclo de trabajo (*Duty Cycle*), que consiste en el periodo T_{on} dividido por el periodo total de la señal (T), lo que representa el tiempo que la señal está a valor alto respecto al tiempo total del periodo de la señal. La tensión media (V_m), o efectiva, que obtenemos de la señal en el tiempo está directamente relacionada con el ciclo de trabajo, representando la tensión máxima o de pico (V_p) por este ciclo de trabajo. Si el ciclo de trabajo es del 50 %, representa que la tensión media es la mitad de la tensión de pico alcanzada, lo que significa que si nuestra tensión de pico es de 5v obtenemos una tensión media suministrada de 2'5v, lo que en el caso de un motor que funciona a 5v representa la reducción de su velocidad a la mitad [15].

El control del quemador del sistema fumígeno se realiza de manera independiente, conectado a un pin el GPIO17 (*general purpose input output*), en la posición pin 11 de la Raspberry Pi. Debido a la tensión y a la corriente que necesita, hemos de agregar un controlador, elegimos el módulo Mosfet Power D4184 (figura 19), capaz de funcionar en un rango de tensiones de 5v a 36v, y de suministrar hasta una corriente de 15A. De igual manera, incorporamos el limitador de tensión que venía con el quemador y que limita su tensión a 6v, para evitar sobretensiones que puedan recalentar el quemador y ocasionar daños en el cuerpo de plástico de la máquina.

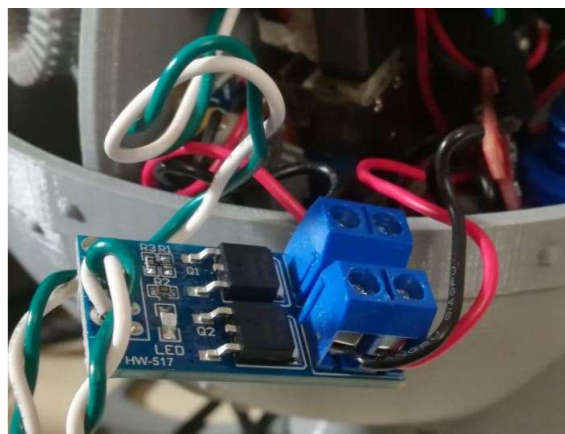


Figura 19: Montaje del módulo Mosfet Power D4184

Finalmente, el depósito que aloja el líquido fumígeno consta de un sensor de nivel Funduino (figura 20), conectado al pin 17 (3,3 v) y al pin 25 (GND) para su alimentación, y al pin 15 o GPIO 22 para su control. Desafortunadamente, al realizar esta tarea descubrimos que Raspberry Pi Zero W, no tiene ningún pin analógico, con lo cual necesita un decodificador analógico/digital para poder leer la información del sensor. Decidimos aplazar esta funcionalidad para el próximo prototipo.



Figura 20: Depósito de líquido fumígeno con sensor de nivel de líquido en su interior

5.3.2. Arquitectura software

En la parte de *software*, el sistema operativo Raspbian lleva instalada una herramienta de desarrollo de *software* integrada, o IDE (*integrated development environment*), llamada Thonny que viene equipada con Python3.6. Nos permite editar y ejecutar los *scripts*, en lenguaje Python, de manera sencilla. Consta de un editor de *scripts* y un *shell*, además de una interfaz sencilla. También es posible usar el terminal.

Por otra parte, el protocolo I2C [16] que usan los pines del mismo nombre, es capaz de controlar hasta 127 dispositivos con una comunicación en serie, con solo dos cables, por ello es también conocido como TWI (*two wire interface*) con velocidades de transferencia de 100, 400 y 1000 kbits/s. La trama de bits que comunica permite enviar mensajes completos y detallados, que incluyen información como la confirmación de datos recibidos, o la recepción del dato de un sensor, su identificación y a que registro va dirigido.

Tiene una arquitectura de bus maestro-esclavo, donde los pines anteriormente mencionados corresponden a dos líneas del bus. *SDA* (*serial data*) que sirve para transferir los datos en serie y *SCL* (*serial clock*) que transmite una señal de reloj.

El maestro controla la comunicación, el canal de datos, puede enviar y recibir datos y sus funciones son:

- Iniciar la comunicación
- Enviar 7 bits de dirección
- Generar 1 bit de Lectura/Escritura

- Enviar 8 bits de dirección de memoria
- Transmitir 8 bits de datos
- Confirmar la recepción de datos
- Generar confirmación de No-recepción
- Finalizar la comunicación

Los esclavos sólo tienen dos tareas a un tiempo:

- Enviar/recibir información en paquetes de 8 bits.
- Enviar confirmaciones de recepción

La trama de bits que transmite el protocolo I2C consta de las siguientes partes:

- 1 bit de inicio
- 1 bit de parada
- 1 bit de confirmación
- 1 bit de no confirmación
- 1 bit de Lectura-/Escritura
- 7 bits para la dirección del dispositivo esclavo/maestro
- 8 bits de dirección
- 8 bits de datos

La tarjeta Raspberry Pi será nuestro maestro mientras que nuestro esclavo será la tarjeta DC Motor Stepper FeatherWing de Adafruit. Ésta funciona para nuestro propósito con la librería MotorKit de adafruit_motorkit [17] instalada en Raspbian sencillamente con la orden:

```
~$ sudo pip3 install adafruit-circuitpython-motorkit
```

Y seguidamente importada en nuestro script de Python, así controlamos los motores con la orden:

```
Kit.motorX.throttle = Y
```

Donde X corresponde al número del motor de los cuatro que posee la tarjeta DC Motor Stepper FeatherWing de Adafruit, mientras que la Y corresponde a un valor entre 1 y 0 que corresponderá, en proporción, al valor de la tensión que se suministrará al motor. En nuestro caso 1 correspondería a 12v, dado que la tensión de potencia que suministra el circuito es la que viene del transformador de tensión nominal 12v.

Esta tensión corresponde plenamente con la del ventilador del flujo de aire de las pompas (X=2), con lo cual le corresponde valores Y entre 1 y 0. Al motor de giro de las aspas de tensión nominal 6v (X=1), le otorgamos, después de las pruebas, el valor óptimo Y de 0.2 que se corresponde con una tensión de 2'4v. Al ventilador del sistema fumígeno (X=3) de tensión nominal 6v, un valor Y máximo de 0.5, equivalente a 6v.

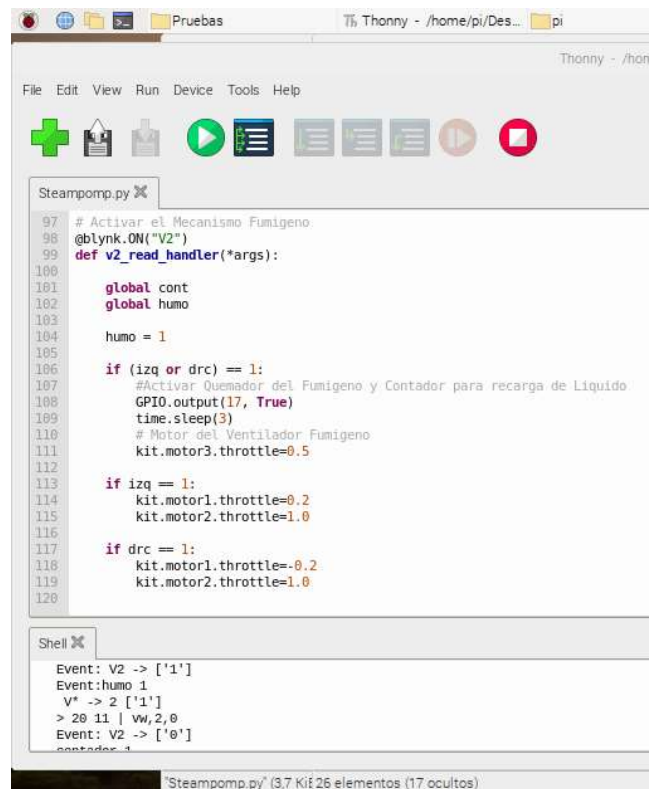


STEAMPOMP: Control y diseño impreso en 3D para máquina de hacer pompas

Finalmente para la bomba peristáltica del sistema fumígeno (X=4), de tensión nominal 6v, un valor Y de 0.5, igual a 6v. Ejemplo en figura 21.

El quemador del fumígeno, que funciona de manera independiente a los motores, está controlado mediante su controlador, el módulo Mosfet Power D4184, el cual está conectado al pin GPIO 17 (configurado como salida), únicamente se activa y se desactiva con las ordenes (figura 21):

```
GPIO.output(17, True)
GPIO.output(17, False)
```

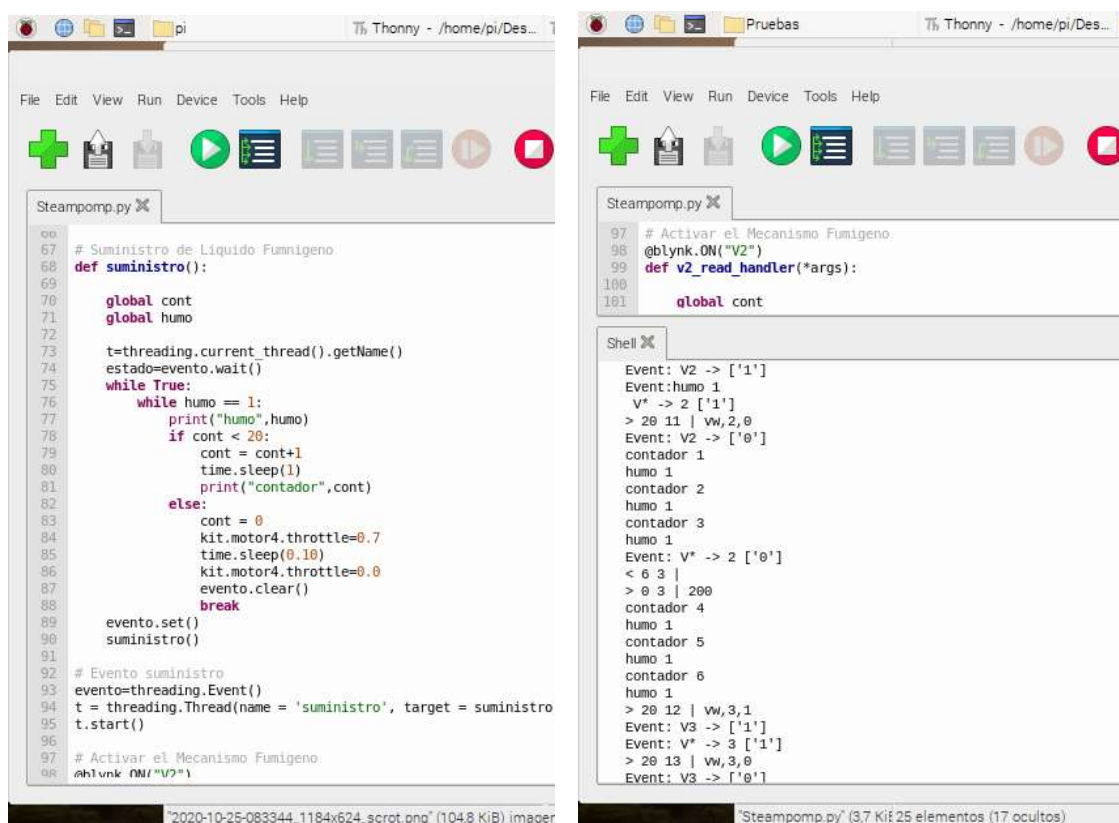


```
Steampomp.py
97 # Activar el Mecanismo Fumígeno
98 @blynk.ON("V2")
99 def v2_read_handler(*args):
100
101     global cont
102     global humo
103
104     humo = 1
105
106     if (izq or drc) == 1:
107         #Activar Quemador del Fumígeno y Contador para recarga de Líquido
108         GPIO.output(17, True)
109         time.sleep(3)
110         # Motor del Ventilador Fumígeno
111         kit.motor3.throttle=0.5
112
113     if izq == 1:
114         kit.motor1.throttle=0.2
115         kit.motor2.throttle=1.0
116
117     if drc == 1:
118         kit.motor1.throttle=-0.2
119         kit.motor2.throttle=1.0
120
Shell
Event: V2 -> ['1']
Event: humo 1
V* -> 2 ['1']
> 20 11 | vw,2,0
Event: V2 -> ['0']
contador: 1
'Steampomp.py' (3,7 KiB 26 elementos (17 ocultos))
```

Figura 21: Captura de código activación mecanismo fumígeno

La única complicación en el código resultó al implementar un contador para saber cuándo dosificar el líquido fumígeno. Implementamos una tarea que discurre paralela usando la clase Threading. Esta tarea cuenta el tiempo que el fumígeno está encendido y lo guarda de modo que cuenta el tiempo transcurrido únicamente cuando el quemador está encendido y lo acumula para saber cuándo hay que alimentarlo. Queríamos usar el objeto Timer de la clase Threading para crear un contador que contase el tiempo transcurrido únicamente cuando la opción con humo estuviera conectada y dejase de contar cuando no estuviese funcionando, pero que guardase la cuenta. No obtuvimos los efectos deseados en la cuenta del tiempo así que decidimos hacerlo sencillo implementando un contador, con una tarea, en otro hilo.

En cuanto al programa en general, utilizamos programación dirigida a eventos. Para un evento determinado como puede ser pulsar un botón, el programa está a la escucha y reacciona en consecuencia. Presenta la forma que observamos en la figura 22. Podemos ver estos eventos impresos en el *Shell* a medida que se producen y los pines involucrados en el proceso (figura 23).



Figuras 22 y 23: Captura de código de evento y shell con eventos producidos

5.4. Conexión inalámbrica

La conexión inalámbrica por Bluetooth entre la tarjeta Raspberry Pi y el *smartphone*, la realizamos con la aplicación para móvil Blynk. Aunque probamos varias como BlueDot, Bluetooth Serial Controller, y algunas exclusivas de Raspberry Pi (que sólo tienen que ver con la monitorización de su funcionamiento) esta fue la mejor opción.

Blynk [18] es una plataforma para realizar aplicaciones en el mundo de la IOT (*internet of things*). Es una aplicación con *middleware* (que permite la comunicación de esta aplicación con otros programas, redes o *hardware*), y además combina esta capa *middleware* con la capa de aplicación (que es la aplicación de cara al usuario) [19]. Ésta se comunica mediante los servidores de Blynk, y con ella podemos diseñar un



STEAMPOMP: Control y diseño impreso en 3D para máquina de hacer pompas

mando de control [20], con elementos que permiten enviar y recibir información con la tarjeta Raspberry Pi.

Por el lado de la Raspberry Pi instalamos las librerías que encontramos, blynklib.py de Blynk [11], que instalamos a través de Python3 con [21]:

```
~$ Sudo pip install blynklib
```

Al mismo tiempo la importamos en nuestro *script* con la instrucción:

```
~$ Import blynklib
```

El sistema operativo del *smartphone* soportado puede ser los o Android. El utilizado en este caso es Android y el dispositivo Huawei P8 Lite 2017 (figura 24).



Figura 24: Sistema y dispositivo utilizados

El diseño de la interfaz se empieza definiendo un proyecto, en este caso Steampomp, como vemos en la figura 26, y los elementos implicados en la comunicación, en este caso la Raspberry Pi. De igual manera, la opción *Add Shortcut* (figura 27), nos permite añadir un acceso directo en la pantalla del móvil exclusivo de nuestra aplicación (figura 25). Y otro paso aún más importante consiste en generar el *Auth token*, (figura 27), éste consiste en una clave de 32 cifras hexadecimales, sin el cual nuestro dispositivo Raspberry no estará autorizado a conectarse con el *smartphone*, y que podemos recibir por *e-mail* [22].

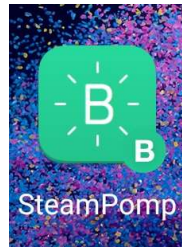
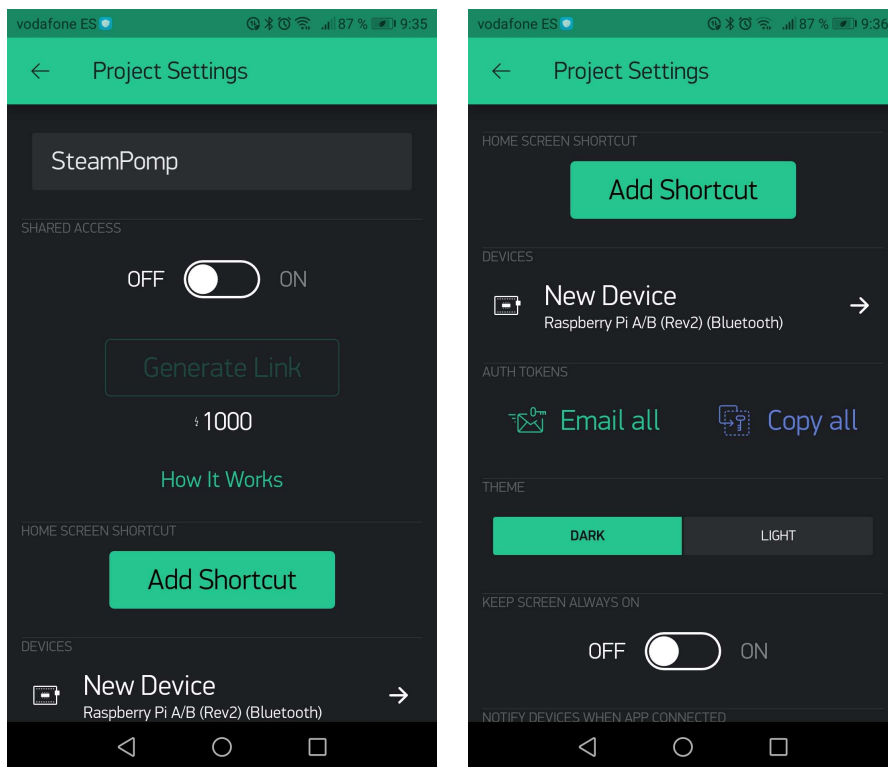


Figura 25: Icono de acceso directo personalizado a nuestra aplicación Blynk



Figuras 26 y 27: Project settings

STEAMPOMP: Control y diseño impreso en 3D para máquina de hacer pompas

El interfaz se puede componer de múltiples combinaciones con modelos predefinidos de controladores (botones, *sliders*, ...), *displays*, se pueden usar los sensores del *smartphone*, notificaciones (*e-mail*, Twitter, ...), entre otros (figura 28). Inicialmente está disponible un crédito que permite hacer un sencillo interfaz, pero para añadir funcionalidades debe abonarse una cantidad que se traduce en un concepto de “*your energy balance*”, que consiste en un sistema de puntos con los que adquirir estos elementos simbolizado con la imagen de una batería que indica cuanto crédito queda.

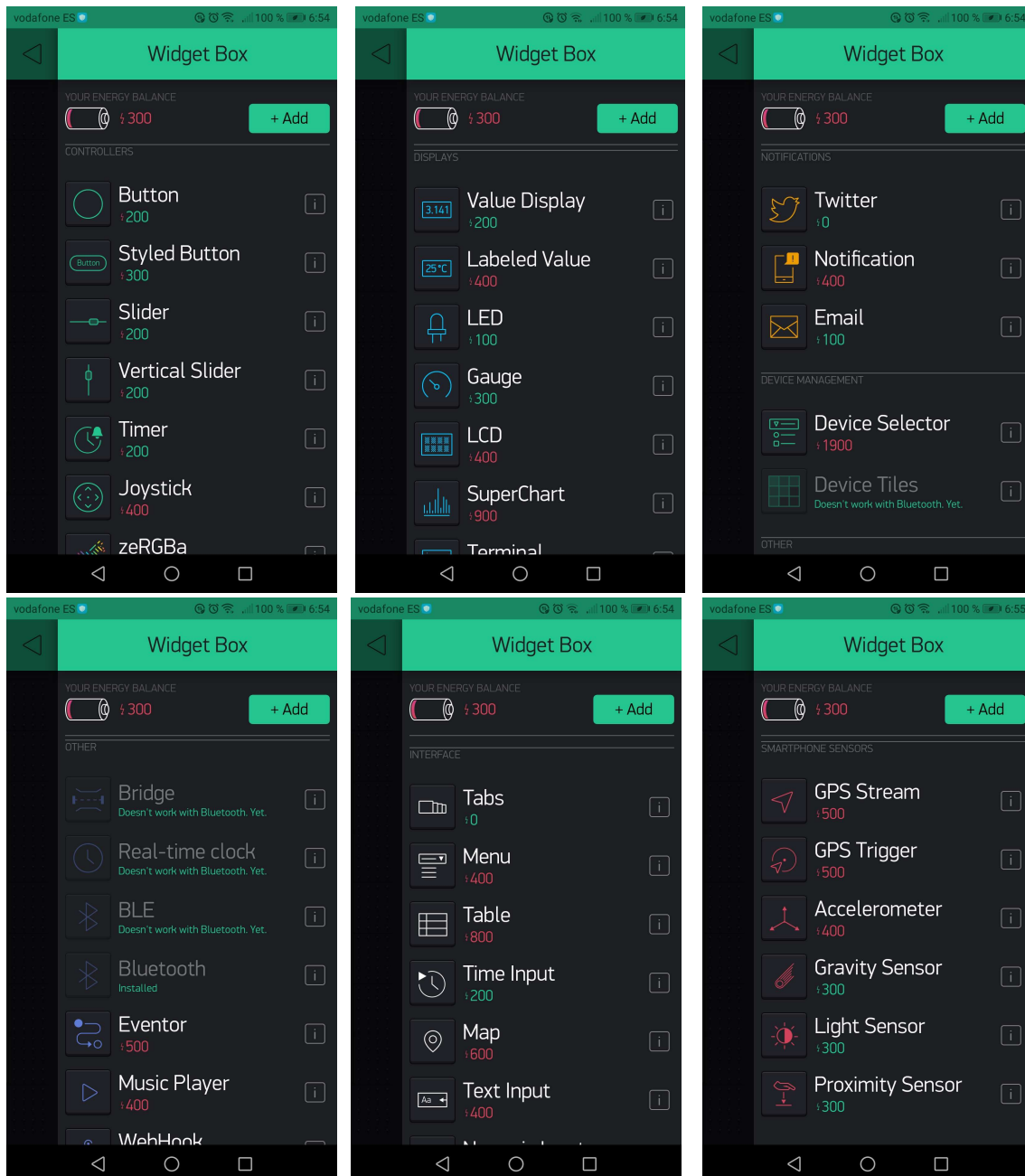
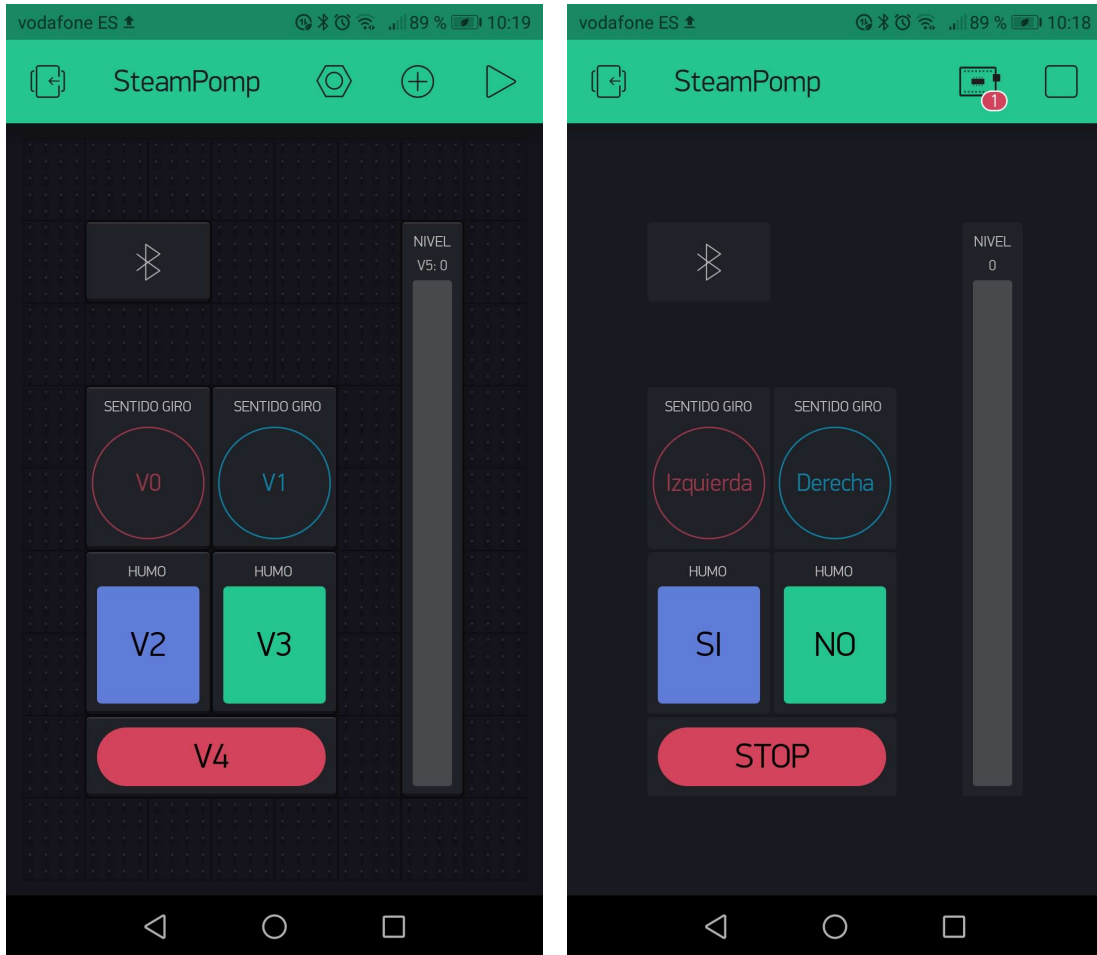


Figura 28: Widgets predefinidos

Confeccionamos una interfaz compuesta por las funciones antes mencionadas, de sentido de giro, humo, paro, lectura de nivel y conexión Bluetooth. Les asignamos pines virtuales en la Raspberry Pi (Vx), ver figuras 29 y 30, obteniendo este resultado:



Figuras 29 y 30: Asignación de pines virtuales e interfaz final

Para la conexión Bluetooth, es necesario que el *script* de Python esté en funcionamiento y listo (figura 31). Seguidamente, conectamos la aplicación con la tarjeta Raspberry Pi (Figuras 32, 33, 34).

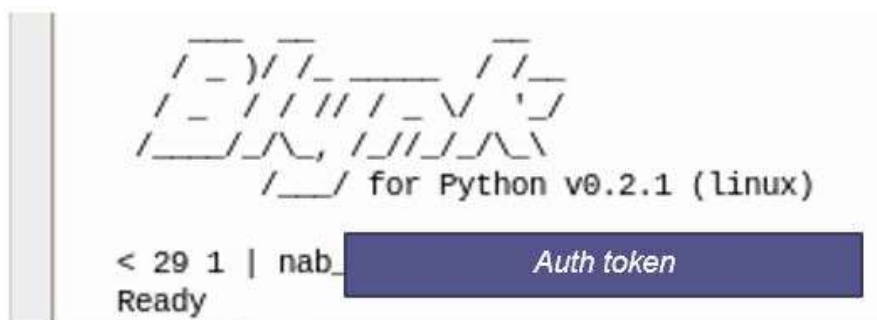
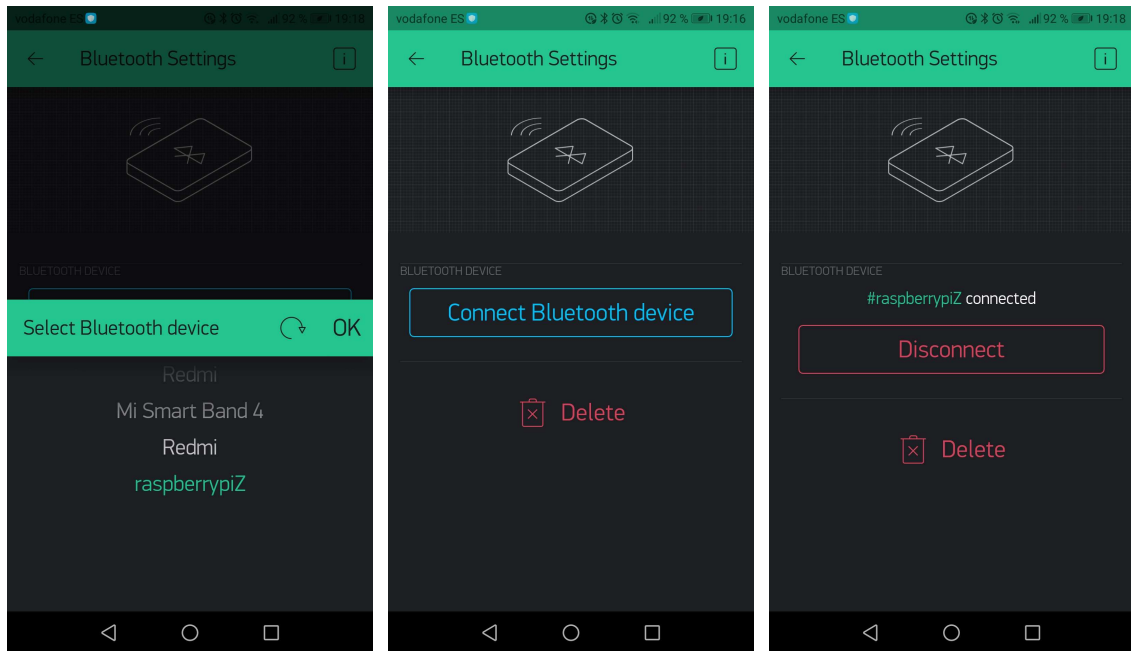


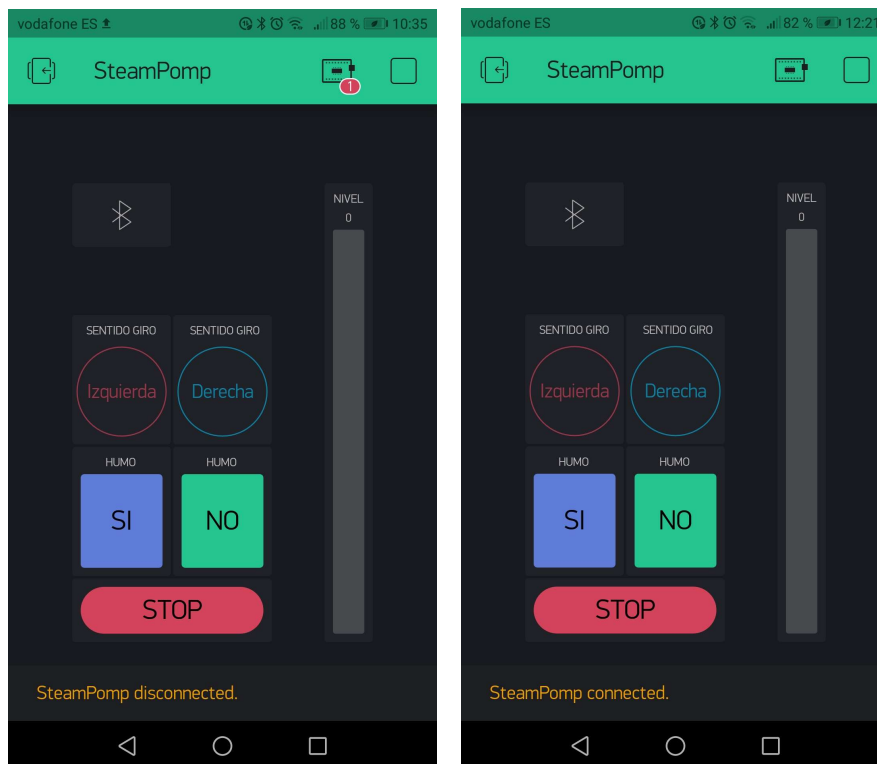
Figura 31: Raspberry Pi conectada y esperando comunicación con smartphone

STEAMPOMP: Control y diseño impreso en 3D para máquina de hacer pompas



Figuras 32, 33, 34: Selección de dispositivo, acceso a la conexión y dispositivo conectado

Durante el uso puede conectarse y desconectarse (figuras 35 y 36).



Figuras 35 y 36: Conexión y desconexión de la aplicación

6. Pruebas

6.1. Introducción

Al tratarse de un proceso empírico las pruebas que hemos ido realizando, han influido durante todo el proceso de creación por sus resultados y las características de los elementos, como tamaño o funcionalidad.

6.2. Diseño e impresión 3D

Durante el diseño, las pruebas realizadas en el modelo 3D han consistido en crear volúmenes con el tamaño de las piezas a insertar en el interior del cuerpo la máquina, una vez conocidas las piezas finales (figura 37).

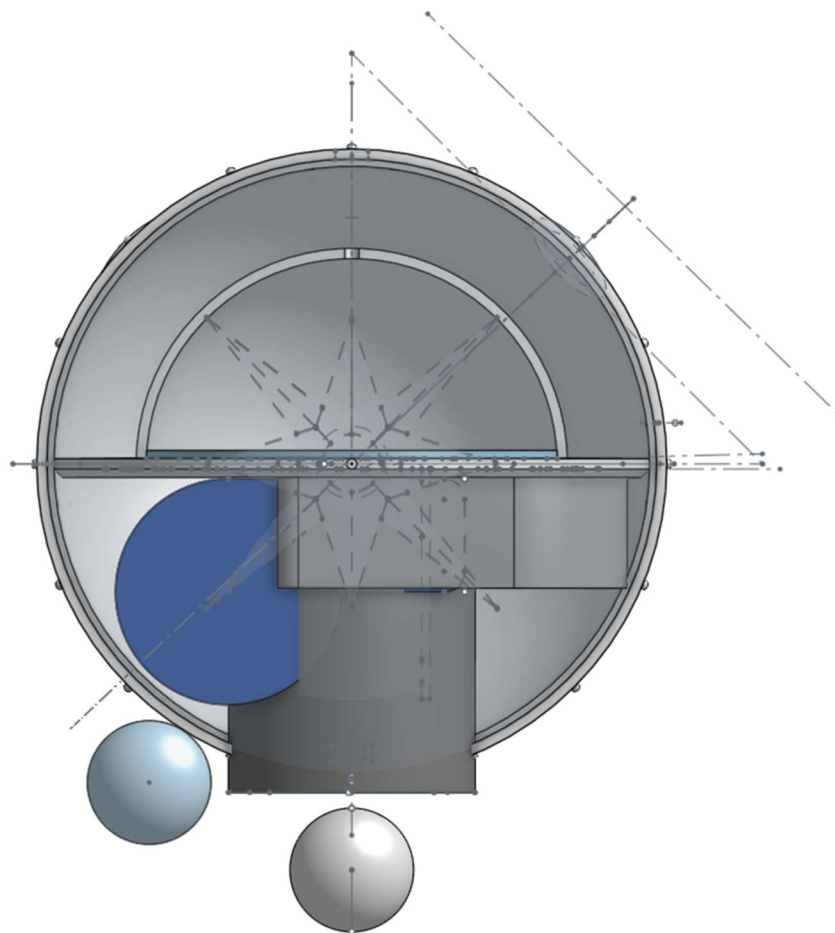
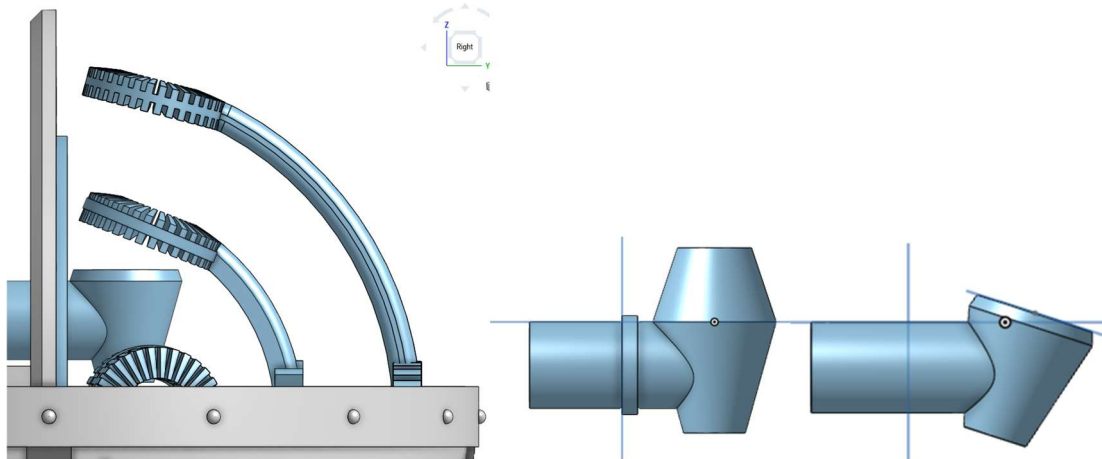


Figura 37: Proceso de encajado de volúmenes en el diseño 3D

Además del ajuste de las aspas, para que pudiesen rotar libremente y que la orientación entre pomperos y la boquilla de aire fueran correctas, tuvo que ser corregida. Debimos tener en cuenta que ambos elementos coincidieran y además que tuvieran una cierta inclinación para que las pompas no estallaran contra la pared central que separa ambas mitades de la esfera. Podemos observar la posición incorrecta del flujo del aire, el modelo original de la boquilla (que intenta imitar una chimenea de locomotora de vapor) y finalmente la solución adoptada (fig. 38, 39 y 40).



Figuras 38, 39 ,40: Primer encaje erróneo, chimenea original y chimenea final

En el apartado de la impresión realizamos la instalación de la impresora 3D XYZ Davinci 1.0. Realizamos diversas pruebas de impresión que finalmente no resultaron satisfactorias por la calidad, probablemente debida al material, ABS más durable que el PLA, pero más difícil de manejar, necesita mayor temperatura de fusión y el resultado no es tan preciso como con el PLA (figura 41).

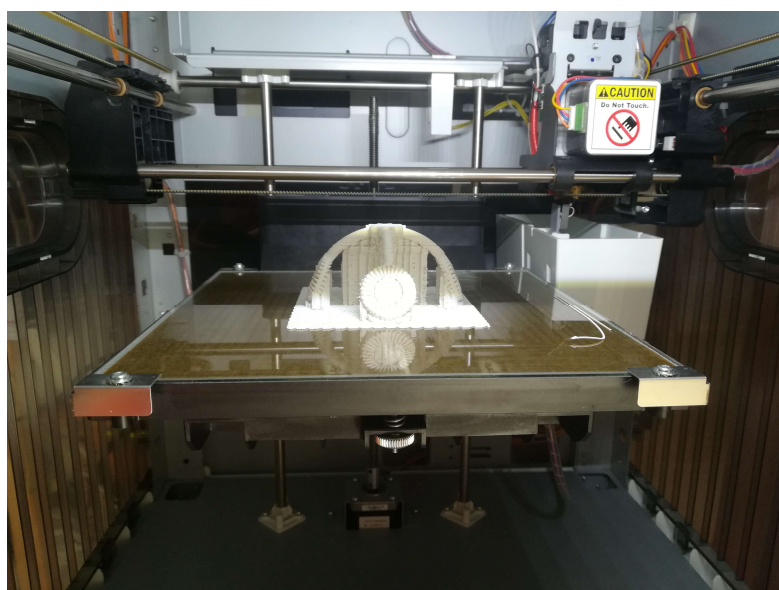


Figura 41: Proceso de impresión con la impresora 3D XYZ Davinci 1.0

También comprobamos la resistencia del material PLA (figura 42).

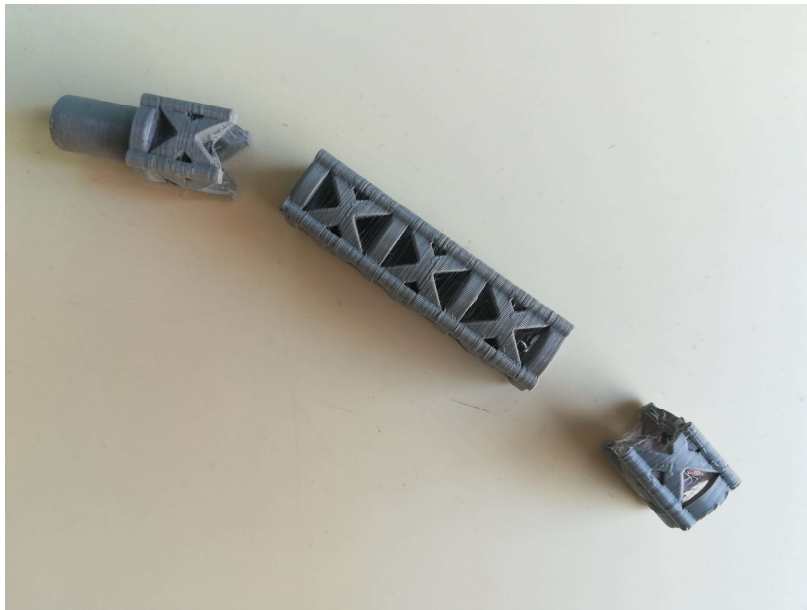


Figura 42: Rotura de pieza de conexión

La tapadera fue la última pieza en ser diseñada, en función del contenido, y pudo haber tenido un aspecto diferente y mayor capacidad en su interior (figura 43).

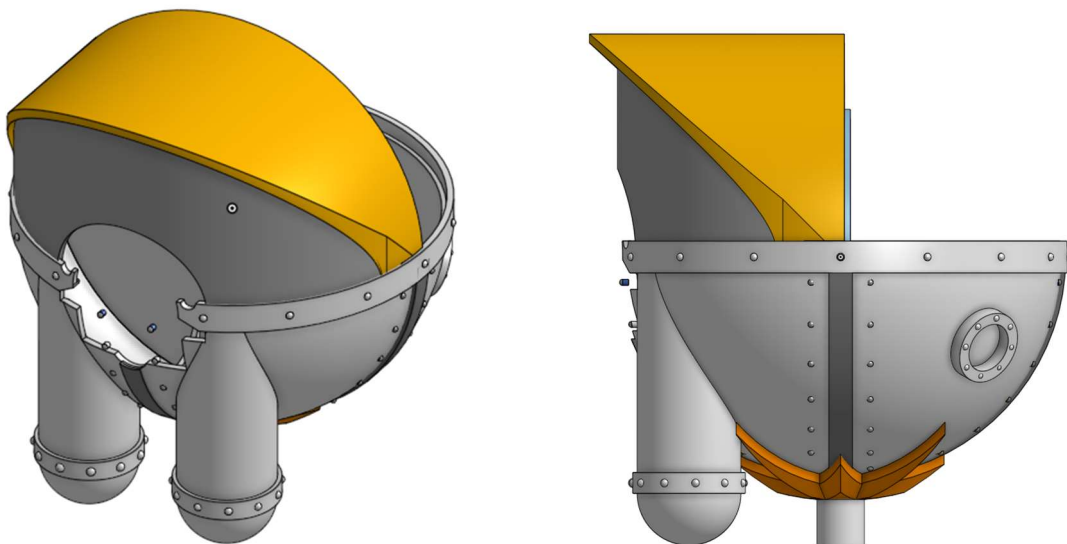


Figura 43: Posible diseño alternativo para la tapadera

6.3. Sistema fumígeno

Empezamos con la idea básica, un ventilador que sopla humo. Conseguimos varias máquinas fumígenas para maquetas de vehículos y probamos el ventilador de refrigeración con un pompero normal (figura 44).



Figura 44: Pruebas con el concepto básico

Probamos un par de máquinas fumígenas (figuras 45 y 46), pero finalmente decidimos buscar una que no fuere de material plástico, dados los daños producidos en una de estas, debido al calor producido en el quemador.



Figuras 45 y 46: Maquinas alternativas

Del mismo modo el modelo encontrado poseía la ventaja de tener separados los mecanismos de quemador y ventilador, y un acceso independiente (figura 47) para la alimentación del líquido fumígeno que las otras no poseían y que suponía un problema para este fin.



Figura 47: Generador de humo de Metal para tanque 1/16 Henglong a RC, versión 6,0/6,1

Fotografía de Aliexpress.com [23]

Una de las ideas iniciales fue el concentrador de humo, es un repositorio donde recoger el humo producido antes de entrar en el ventilador del flujo de aire. La pieza fue impresa y montada. Acoplada a la entrada del ventilador del flujo de aire, encajaba perfectamente en su lugar y quedaba estanco con el ventilador. Pero tras diversas pruebas descubrimos que el flujo de aire que suministraba por su estrecha chimenea no permitía la creación de pompas y nos vimos en la disyuntiva de realizar una perforación importante en la pieza, para permitir la entrada del aire, o eliminar esta pieza y pasar la salida de humo a la salida del ventilador. La perforación producía pérdidas de humo (figuras 48 y 49), así que optamos por lo segundo por ser más sencillo, y dejar esta pieza para futuros prototipos.



Figura 48 y 49: Montaje y prueba del concentrador de humo

6.4. Sistema de coloración de pompas

Las pruebas que realizamos con este sistema, consistente en dos cuencos independientes y dos aspas con pomperos para cada uno, fueron satisfactorias en cuanto al funcionamiento de giro. Referente a la separación de los líquidos pudimos apreciar que al girar los pomperos exteriores recogen un exceso de líquido jabonoso que cae en el cuenco interior haciendo que se mezclen los líquidos. Es un problema a solventar en futuros prototipos, pero representa un problema importante y es posible que obligue a cambiar todo el modelo en pro de una máquina fija y sin aspas, como algunas de las propuestas iniciales, con pomperos fijos a los que se suministra líquido.

En cuanto a la sustancia colorante, fenolftaleína, no llegamos a probar sus efectos y queda pendiente para futuros prototipos.

6.5. Sistema de control

Con el modelo de controlador DC Motor Stepper FeatherWing de Adafruit las pruebas fueron satisfactorias. Todo funcionó bien a la primera.

Aun así, cuando tuvimos ocasión de probar el modelo MotoZero (figuras 50 y 51), que sufrió retraso en llegar, no se comportaba de manera esperada y volvimos al primero. Encajaba perfectamente, como apreciamos en la imagen, con la Raspberry Pi, pero al programarlo algo fallaba y dejamos de intentarlo, porque el Stepper FeatherWin funcionaba bien, era de menor tamaño y utilizaba menos pines.



Figuras 50 y 51: Montaje y resultado final de MotoZero

En cuanto a la programación, la sencillez de Python no requirió muchas pruebas, solo ajustar los valores de tensión de los motores y el quemador para su correcto funcionamiento.

6.6. Aplicación de control

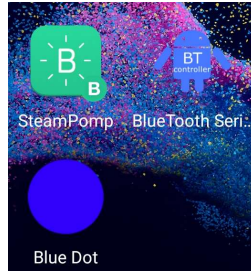


Figura 52: Captura de la instalación en smartphone de aplicaciones en pruebas

Para decidir qué aplicación usar observamos varias (figura 52). De menor a mayor interés empezaremos con Bluetooth Serial Controller. Resultaba poco intuitiva a la par que muy básica (figura 53), no tenía mucha versatilidad y no tenía ningún indicador de *feedback*, como de nivel del líquido fumígeno. Quedó descartada sin llegar a probarla.

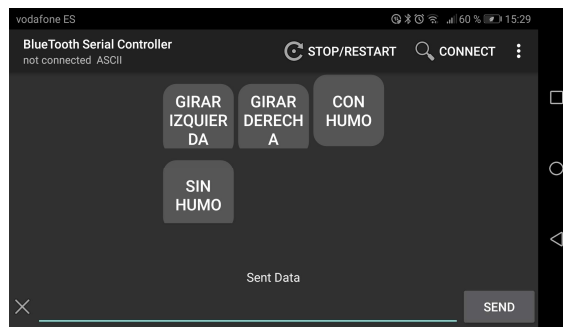


Figura 53: Captura de pantalla de intento de interfaz con Bluetooth Serial Controller

En segundo lugar, BlueDot, que es una aplicación programada en Python [24]. Como su nombre indica es un enorme punto azul (figura 54), que se puede presionar como un botón o utilizarse como un joystick deslizando el dedo en su interior. La conectividad es muy sencilla y rápida a través de los puertos RFCOMM [25].

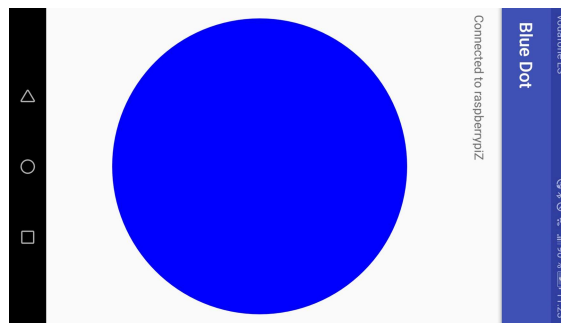


Figura 54: Captura de pantalla del móvil con BlueDot en funcionamiento

De fácil instalación [26] su librería BlueDot, nos permite una sencilla conexión y llegamos a ejecutar un sencillo código que, pulsando en el móvil, indica que hemos presionado el botón (figura 55). El servidor es la propia tarjeta Raspberry Pi, mientras que el cliente es el *smartphone*.



```
Shell X
Python 3.7.3 (/usr/bin/python3)
>>> %Run mydot.py

Server started XX:XX:XX:XX:XX:XX
Waiting for connection
Client connected XX:XX:XX:XX:XX:XX
You pressed the blue dot!!!
You pressed the blue dot!!!

>>> Client disconnected
```

Figura 55: Captura de pantalla de Raspberry Pi con programa de BlueDot en funcionamiento

Con tiempo, se podría en base a esta tecnología implementar en nuestro prototipo por su sencillez, aunque no tiene ningún tipo de seguridad y cualquiera podría conectarse a la máquina. Pero la sencillez de este botón azul también hizo que nos decantásemos por la tercera opción, Blynk. Su interfaz, sería el tipo de aplicación ideal que la gente podría descargarse para usar su Steampomp si se comercializase.

Durante las pruebas, monitorizamos el uso de los pines y la conexión y desconexión del Bluetooth mediante la instrucción *Log=print* que nos imprime el archivo *log* a medida que se ejecuta.

Una diferencia importante de BlueDot con Blynk, que descubrimos con las pruebas, es que la primera convierte a nuestra Raspberry Pi en un servidor local al cual podemos conectarnos mediante Bluetooth directamente, mientras que la segunda necesita una conexión de wifi que conecte con su servidor. También es posible convertir nuestra Raspberry Pi en un servidor local con Blynk, pero es una opción que queda para futuras investigaciones.

7. Conclusión

Finalmente hemos conseguido un resultado satisfactorio al conformar un prototipo funcional usando las tecnologías actuales como nos proponíamos en un principio. La versatilidad de éstas nos ha permitido modelar esta máquina dando las soluciones puntuales que necesitábamos en cada momento.

Las piezas diseñadas e impresas en 3D, encajaron perfectamente y funcionaron correctamente, a la vez que nos permitieron probar la utilidad de piezas, como en el caso del concentrador de humo, mejorable para un segundo prototipo.

Las piezas mecánico-eléctricas seleccionadas y adquiridas por sus características fueron óptimas, flujo de aire, velocidad de giro de las aspas, generación de humo. Algunas se podrían mejorar para un segundo prototipo, como el motor de giro que podría ser sustituido por un motor paso a paso, más preciso y que posibilitaría un control mejor y con más funciones como selección de color o tamaño de pompa.

El sistema de control funcionó perfectamente. Al ser una máquina sencilla, no representó un trabajo complejo en su programación. Pero el trabajo de conectar la tarjeta Raspberry Pi con los actuadores y sensores a través de los controladores y sus distintas formas de comunicarse, en nuestro caso con el bus I2C de manera serie, resultó interesante y algo más complejo de lo previsto. La falta de pines analógicos de la misma también nos dificultó un poco algunas funciones, aunque no gravemente.

El control desde un *smartphone* por medio del Bluetooth también fue bastante sencillo. La complejidad en este caso estuvo más en encontrar las librerías adecuadas de la aplicación Blynk para trabajar con el lenguaje Python, ya que está mucho más orientada a Arduino que a Raspberry Pi. Sería un buen trabajo en sí desarrollar aplicaciones para ésta última, ya que las encontradas tienen más que ver con su funcionamiento interno que con una aplicación para aprovechar sus funcionalidades.

En definitiva, nos propusimos hacer un prototipo funcional y lo logramos, a la par que experimentamos con diversas tecnologías muy distintas entre sí, para obtener un fin común como vemos en las figuras siguientes 56,57,58 y59.





Figuras 56, 57, 58 y 59: Vistas frontal, superior, trasera e interior de la máquina terminada

7.1. Relación del trabajo con los estudios cursados

Por el lado del diseño 3D, los programas CAD parece que no son propios de la titulación en el Grado en Ingeniería Informática, pero existen unas asignaturas optativas que demuestran lo contrario.

Diseño y fabricación 3D, una asignatura que nos muestra como se parametrizan los elementos que deseamos construir, como esta máquina, para poder ser llevados a la realidad. Donde aprendimos como las superficies de un objeto pueden descomponerse en triángulos, la forma más sencilla capaz de definir un plano, y a su vez convertir estos triángulos en puntos de sus vértices y almacenarlos en un archivo de texto. Al fin, convertir una forma en dígitos, en unos y ceros.

Impresión 3D, otra asignatura sin aparente relación, pero que representa el auge de unas máquinas realmente complejas, y cada vez más con el tiempo. El movimiento preciso, la temperatura que funde el material, la velocidad de desplazamiento de la boquilla, entre otros, algo que parece tan sencillo lleva un trabajo arduo de cálculos, control, y programación, difíciles de imaginar a priori.

La parte *hardware* de este trabajo engloba un poco de las asignaturas de este lado de la informática, la base. Asignaturas como Tecnología de Computadores, con los transistores MOSFET que usamos en los controladores de los motores, Estructuras de computadores y Arquitectura de computadores con las direcciones de memoria, instrucciones y rutas de datos a bajo nivel. Sistemas empujados y tiempo real, programando tareas con lenguaje Ada. Diseño de sistemas digitales programando el *hardware* en placas FPGA.

La parte *software*, la programación, aunque a un nivel casi de lenguaje máquina con el lenguaje Python aprendido en las prácticas de Seguridad en los Sistemas Informáticos. Las aplicaciones de Interfaces persona computador. La capa lógica y de aplicación, que hemos usado con Blynk, de asignaturas como Ingeniería del *software*. Computación paralela con sus hilos, nuestro *threading* en el *script* de Python.

De las redes, el *middleware*, como el de Blynk que hemos usado, de Concurrencia y sistemas distribuidos, de Tecnologías de sistemas de información en la red. La comunicación entre máquinas, como la plataforma Zigbee en Tecnología de redes, con sus envíos de tramas de datos y su protocolo CA (*collision avoidance*).

No hemos hecho en este proyecto un desarrollo extenso de ninguna de ellas, y de algunas otras que olvidamos mencionar. Pero juntar un poco de todas nos ha permitido llevar a término un trabajo que ha dado su fruto.

7.2. Trabajos futuros

Como primer prototipo el trabajo ha dejado casi más dudas que resuelto problemas.

Como resolver el problema de que se mezcle el líquido jabonoso de los colores podría ser la principal. Poder conseguir que solo hiciese pompas de un color sería otro, pero la precisión de este motor no es adecuada, sería mucho mejor con un motor paso a paso.

La densidad del humo podría ser mejor, en las pruebas iniciales era mejor que en el resultado final. Sin duda el sistema fumígeno se podría mejorar.

La parte electrónica es correcta, incluso excede lo que se le pide, Raspberry Pi Zero W tiene potencia para controlar mucho más. Podríamos simplificarla de cara a su producción en serie.

En la parte de programación falta algo importante que es configurar la tarjeta Raspberry Pi para que al iniciar ejecute directamente nuestro *script* de Python, sin necesidad de un monitor teclado ni del programa Thonny.

En la parte de la aplicación, crear una propia sin necesidad de servidor, pero con una clave como es el *authorisation token* de Blynk.

7.3. Valoración personal

Este trabajo ha supuesto para mí un reto personal en el sentido en que no sabía si podría conseguir que las piezas casaran y todo el sistema funcionara. La complejidad no reside tanto en sus partes separadas, que son sencillas, si no en unir las en una.

El propósito era quizás más ambicioso que el resultado, pero el esfuerzo ha merecido la pena. Este año ha sido especial por muchos motivos, que me han afectado tanto a mí personalmente, como han afectado al proyecto.

El Grado en Ingeniería Informática no es un fin, es una base de conocimientos para empezar, centrarse en un camino y empezar a andar.

Bibliografía

- [1] Máquinas de pompas de jabón, «Amazon.es,» [En línea]. Disponible en: [\[https://www.amazon.es/s?k=maquinas+de+pompas&__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85M\]](https://www.amazon.es/s?k=maquinas+de+pompas&__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85M).
- [2] Companya Pep Bou, «Pep Bou,» [En línea]. Disponible en: <http://www.pepbou.com/es/>.
- [3] El 'loco' de las pompas de colores, «Elmundo.es,» [En línea]. Disponible en: <https://www.elmundo.es/elmundo/2005/11/25/ciencia/1132935543.html>.
- [4] ¿Cómo es que la fenolftaleína cambia de color?, «Farbe.com,» [En línea]. Disponible en: <https://farbe.com.mx/la-fenolftaleina-cambia-color/> .
- [5] Fenolftaleína.Experimentos, «Youtube.com,» [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=izsJiGfXhZg>.
- [6] How to make colored soap bubbles , «Thoughtco.com,» [En línea]. Disponible en: <https://www.thoughtco.com/make-colored-soap-bubbles-605985>.
- [7] Steampunk, «Wikipedia.org,» [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Steampunk> .
- [8] Onshape, «Onshape.com,» [En línea]. Disponible en: <https://cad.onshape.com> .
- [9] 3D Impresión Imprimakers, «Imprimakers.com,» [En línea]. Disponible en: <https://imprimakers.com/es/>.
- [10] Exploding hydrogen bubbles, «Youtube.com,» [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=d49TzVF1gmY>.
- [11] V. Shymansky, «Github,» [En línea]. Disponible en: <https://github.com/blynkkk/blynk-library> .
- [12] MotorZero Manual, «Thepihut.com,» [En línea]. Disponible en: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0176/3274/files/MotoZero_User_Guide_1.2.pdf .
- [13] Motor Stepper FeatherWing from Adafruit Manual, «Adafruit.com,» [En línea]. Disponible en: <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-stepper-dc-motor-featherwing.pdf?timestamp=1603276077>.
- [14] How to control motors from Raspberry Pi with Adafruit DC Motor Controller | Twitter Controlled Robot, «Youtube.com,» [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=r9AXgc59if4>.



- [15] Que es PWM y para que sirve, «Rinconingenieril.es,» [En línea]. Disponible en: <https://www.rinconingenieril.es/que-es-pwm-y-para-que-sirve>.
- [16] I2C – Puerto, Introducción, trama y protocolo, «Hepro-store.com,» [En línea]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/i2c/>.
- [17] Adafruit circuitpython motorkit, «Pypi.org,» [En línea]. Disponible en: [\https://pypi.org/project/adafruit-circuitpython-motorkit/.
- [18] Página oficial de Blynk, «Blynk.io,» [En línea]. Disponible en: <https://blynk.io/>
- [19] R. Asnawi et al 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1413 012007, «Journal of Physics: Conference Series,» [En línea]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1413/1/012007/pdf>.
- [20] Diseñando aplicaciones IOT con Blynk, «Profetolocka.com.ar,» [En línea]. Disponible en: <https://www.profetolocka.com.ar/2020/05/07/disenando-aplicaciones-iot-con-blynk/>.
- [21] Install Blynklib, «Pypi.org,» [En línea]. Disponible en: <https://pypi.org/project/blynklib/>.
- [22] Community Blynk, «Community.blynk.cc,» [En línea]. Disponible en: <https://community.blynk.cc/>.
- [23] Generador de humo metal, «Aliexpress.com,» [En línea]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/4000583269094.html>
- [24] Página oficial de BlueDot, «Bluedot.readthedocs.io,» [En línea]. Disponible en: <https://bluedot.readthedocs.io/en/latest/bluedotandroidapp.html>
- [25] Protocolo BlueDot, «Bluedot.readthedocs.io,» [En línea]. Disponible en: <https://bluedot.readthedocs.io/en/latest/protocol.html#bluetooth>.
- [26] Getting started with BlueDot, «Bluedot.readthedocs.io,» [En línea]. Disponible en: <https://bluedot.readthedocs.io/en/latest/gettingstarted.html>

ANEXO I: Planos

Base

Conexiones

Cuerpo

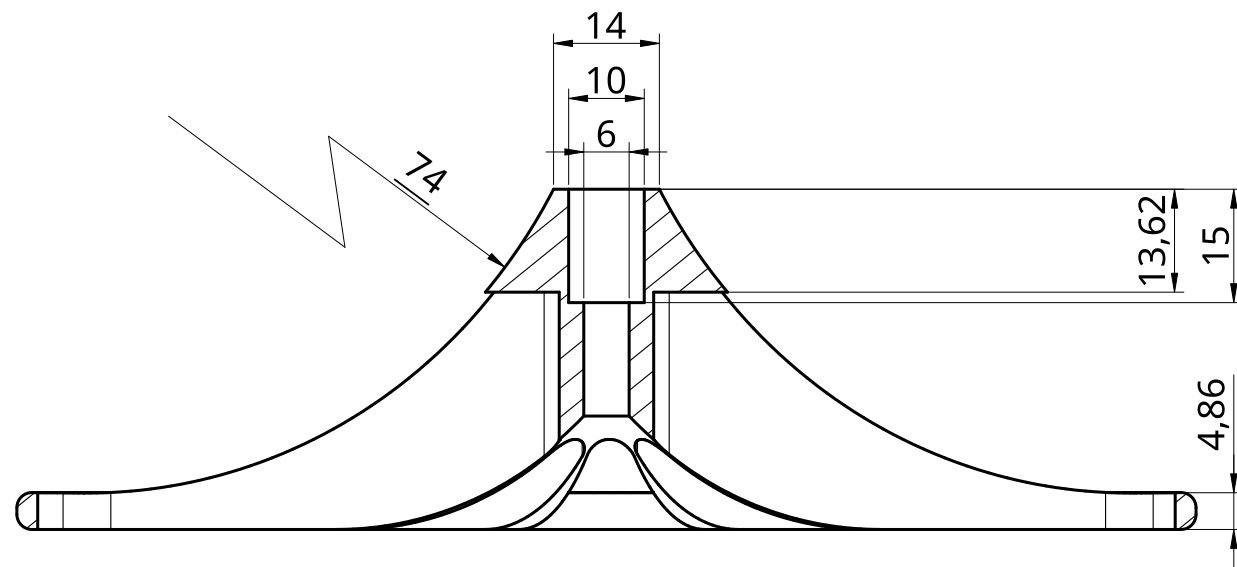
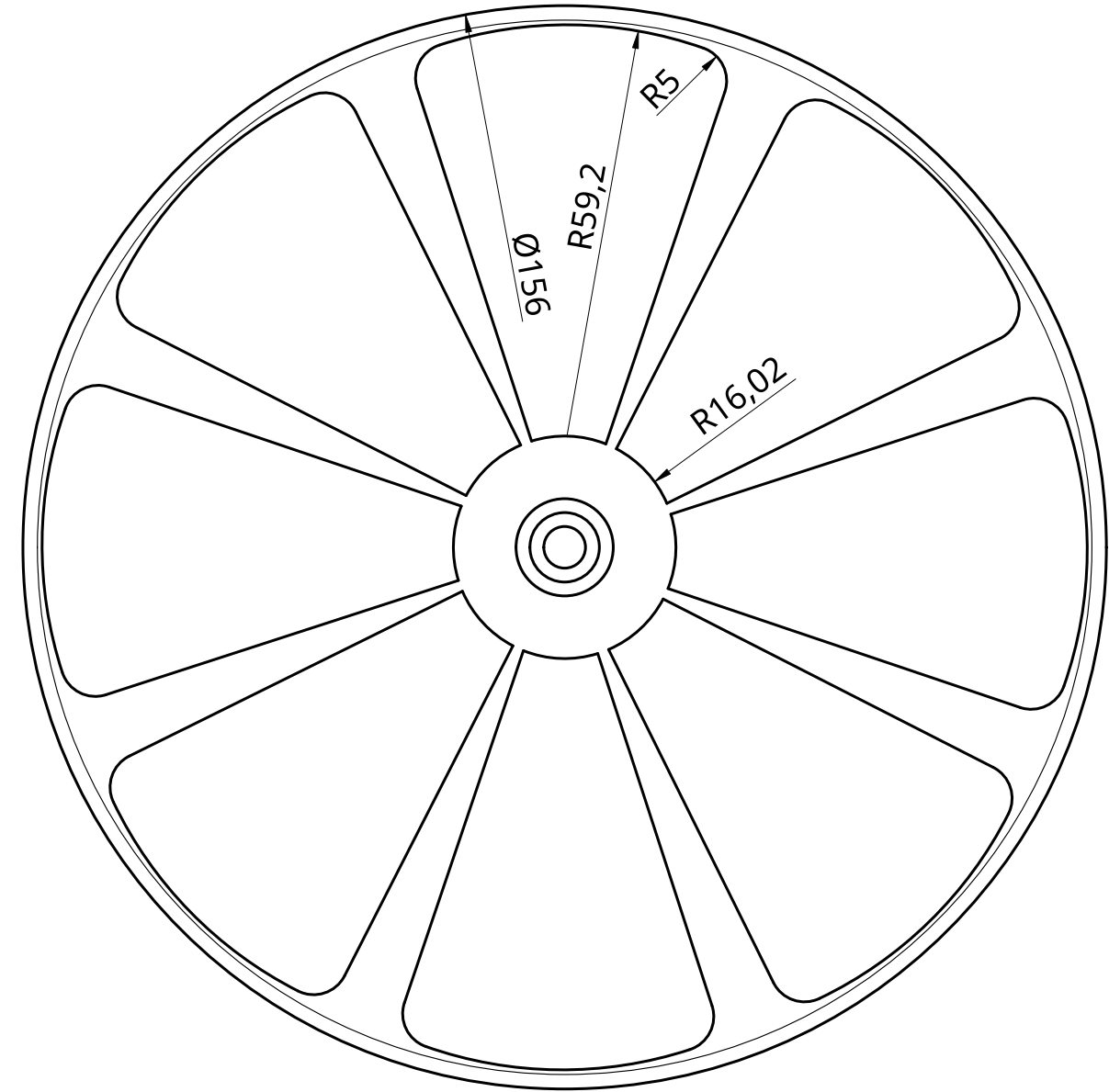
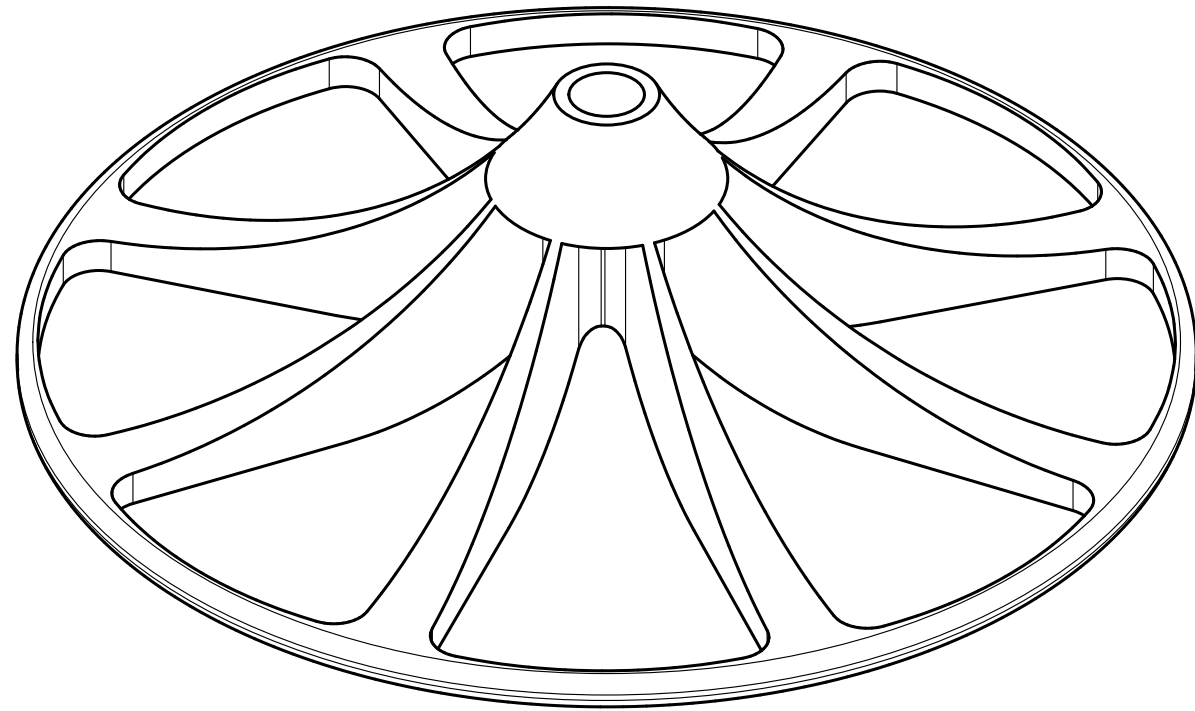
Tapadera

Aspas

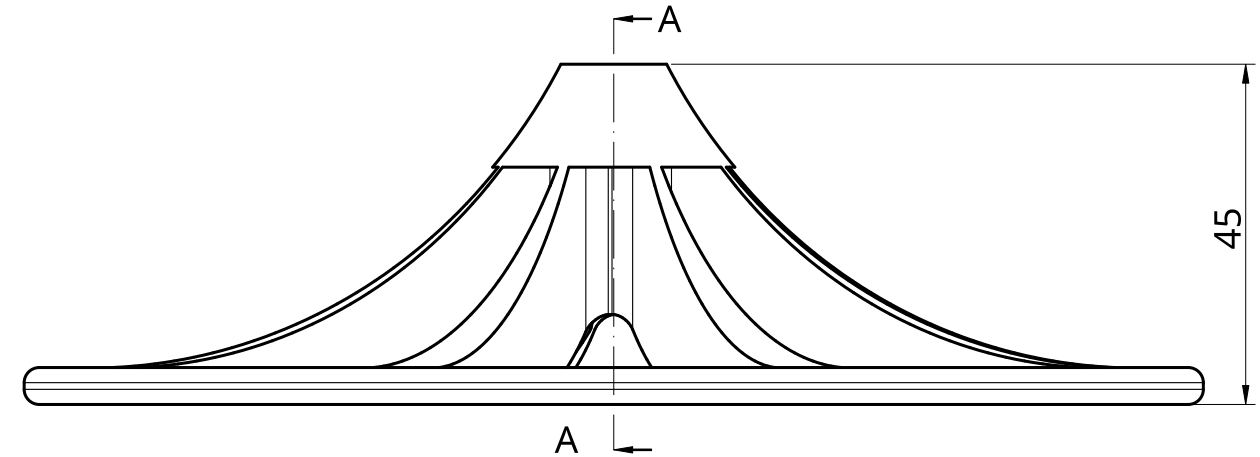
Concentrador de humo

Boquilla

Tapa trasera

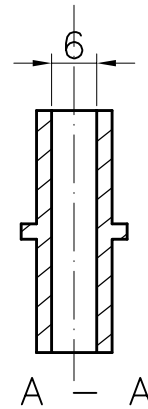
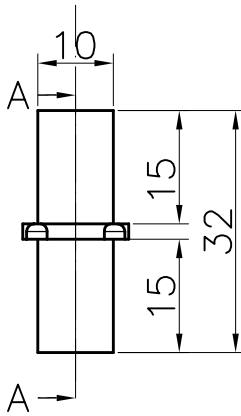
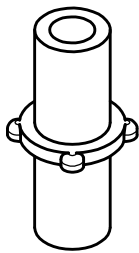
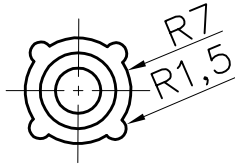
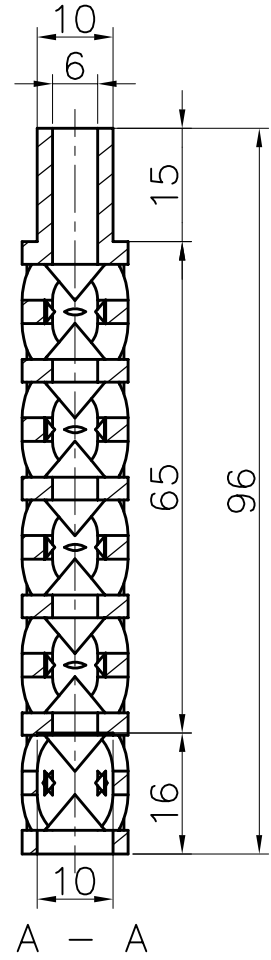
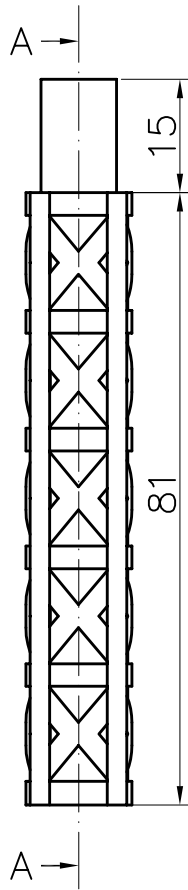
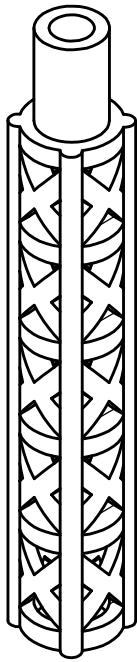


A - A

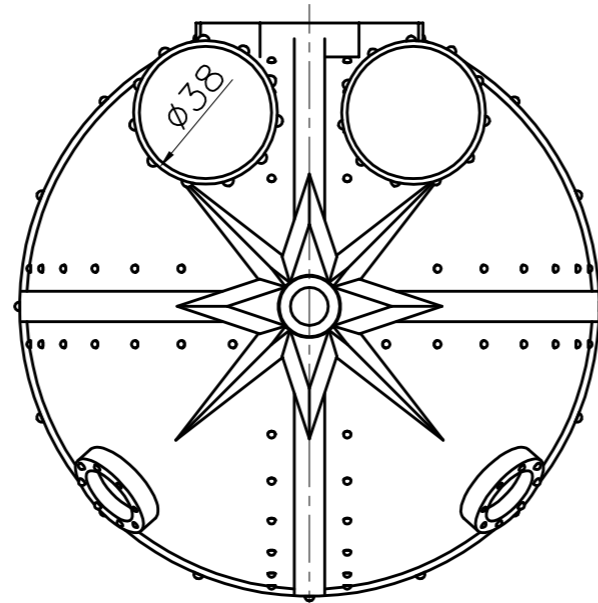


A

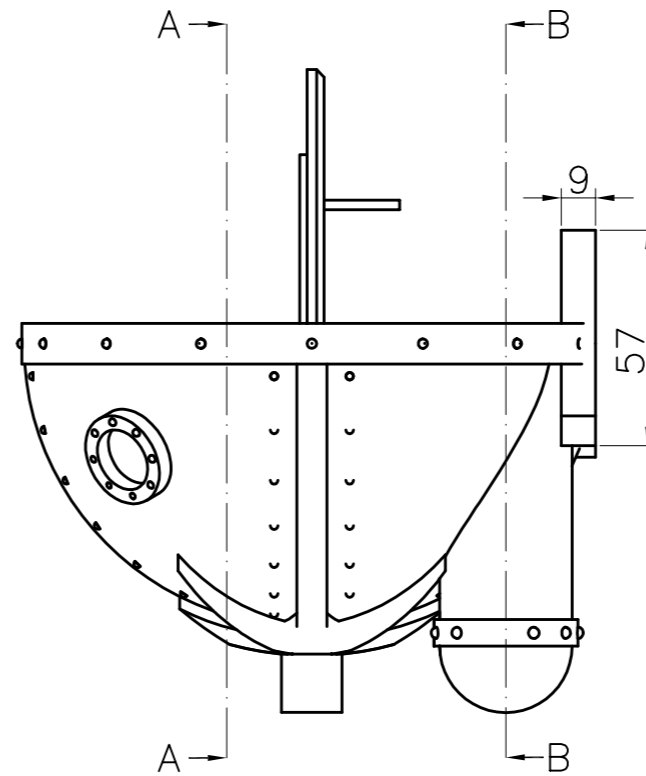
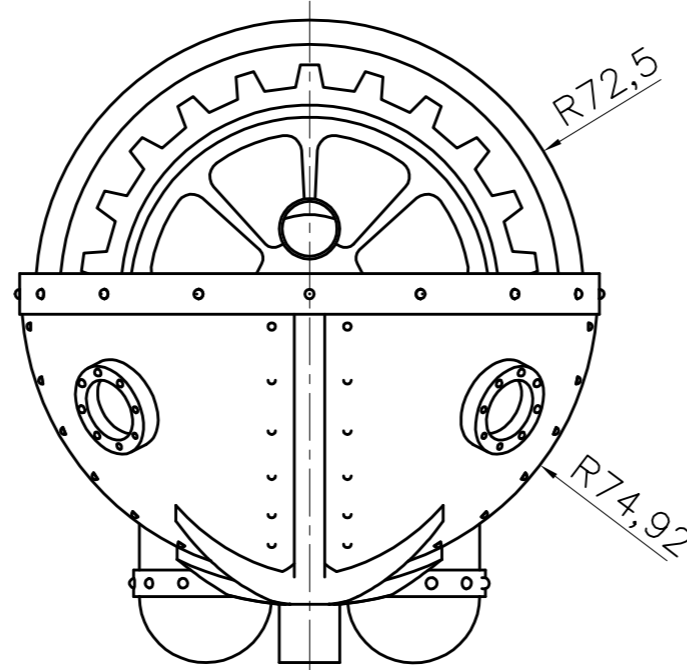
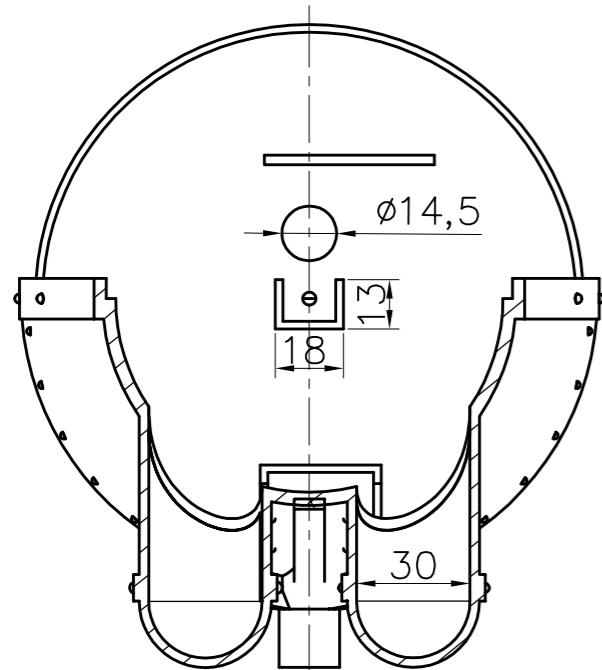
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		NAME	SIGNATURE	DATE		
ANGULAR = ± °		DRAWN	JORDI PLA		TITLE	
SURFACE FINISH		CHECKED			Base SteamPomp	
DO NOT SCALE DRAWING		APPROVED				
BREAK ALL SHARP EDGES AND REMOVE BURRS					SIZE	DWG NO.
FIRST ANGLE PROJECTION		MATERIAL	FINISH		A3	
					SCALE	WEIGHT
					1:1	
					SHEET	1 of 1



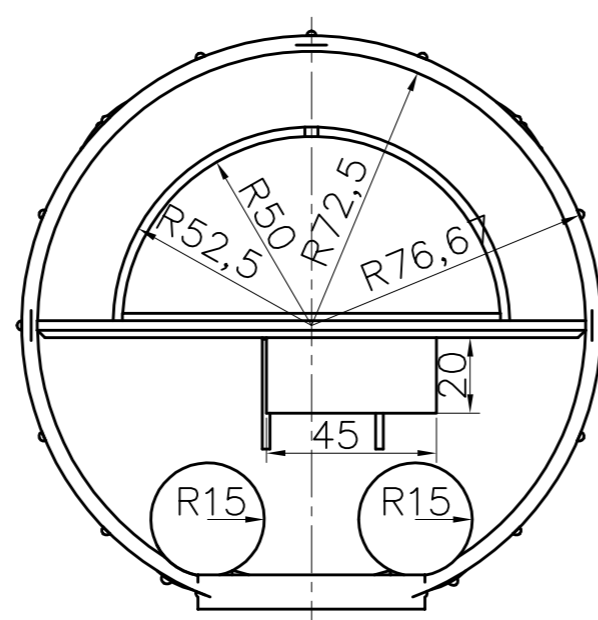
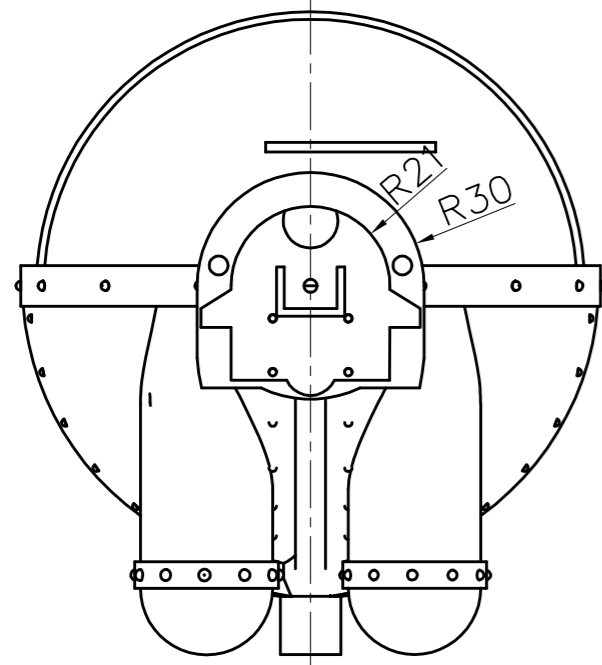
	NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN	JORDI PLA			TITLE Conexiones SteamPomp		
CHECKED						
APPROVED						
MATERIAL	FINISH		SIZE A4	DWG NO.	REV.	
			SCALE 1:1	WEIGHT	SHEET 1 of 1	




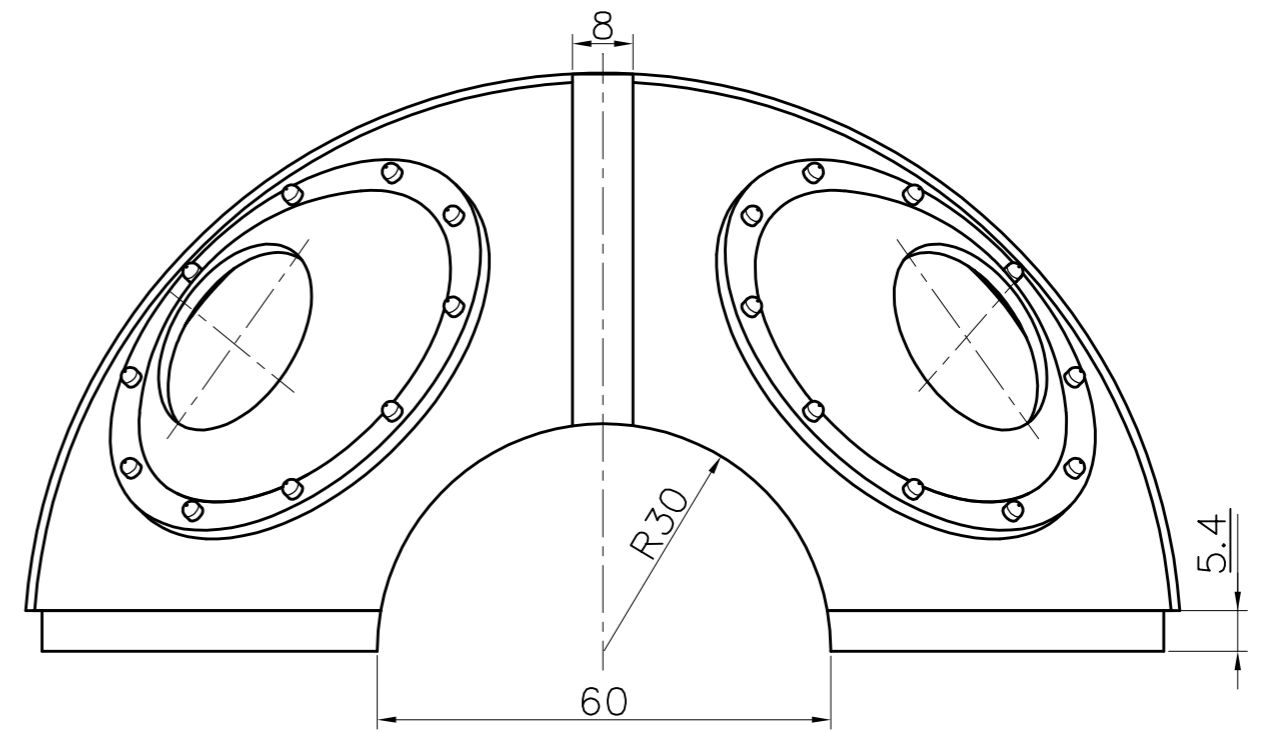
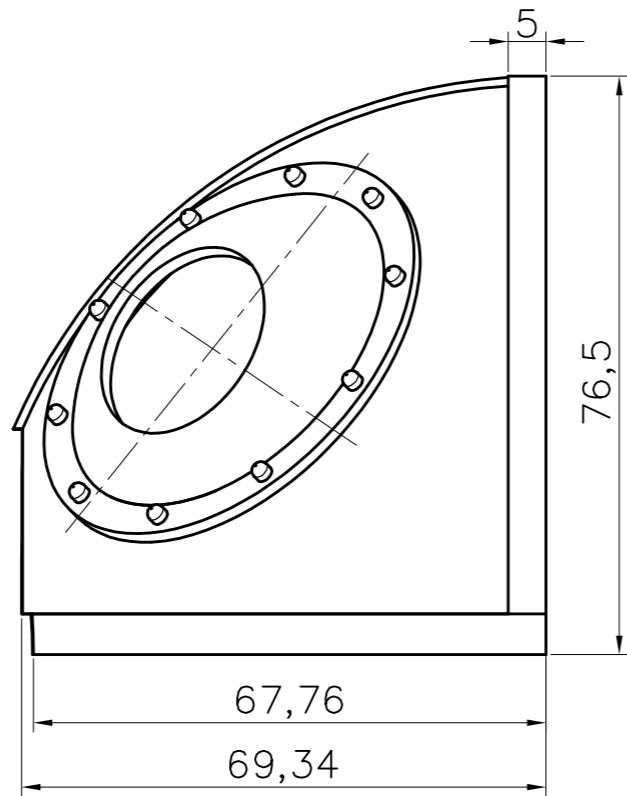
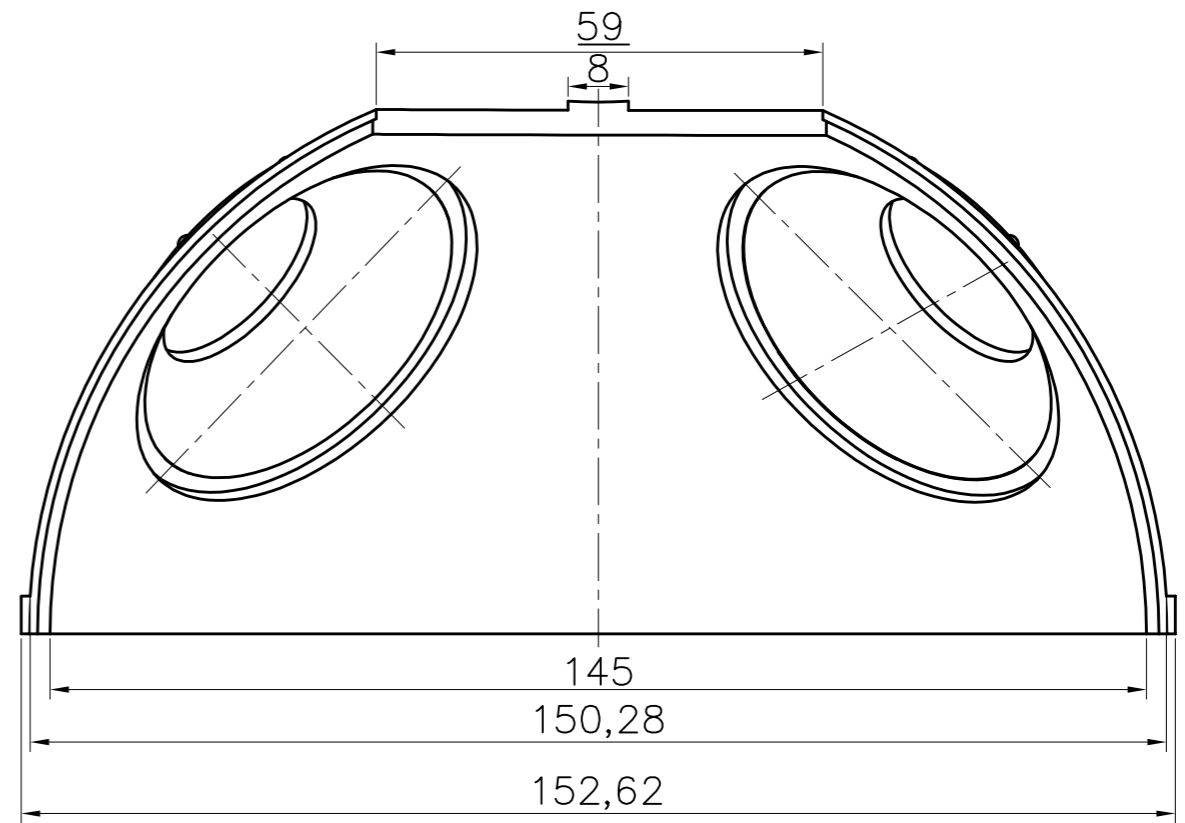
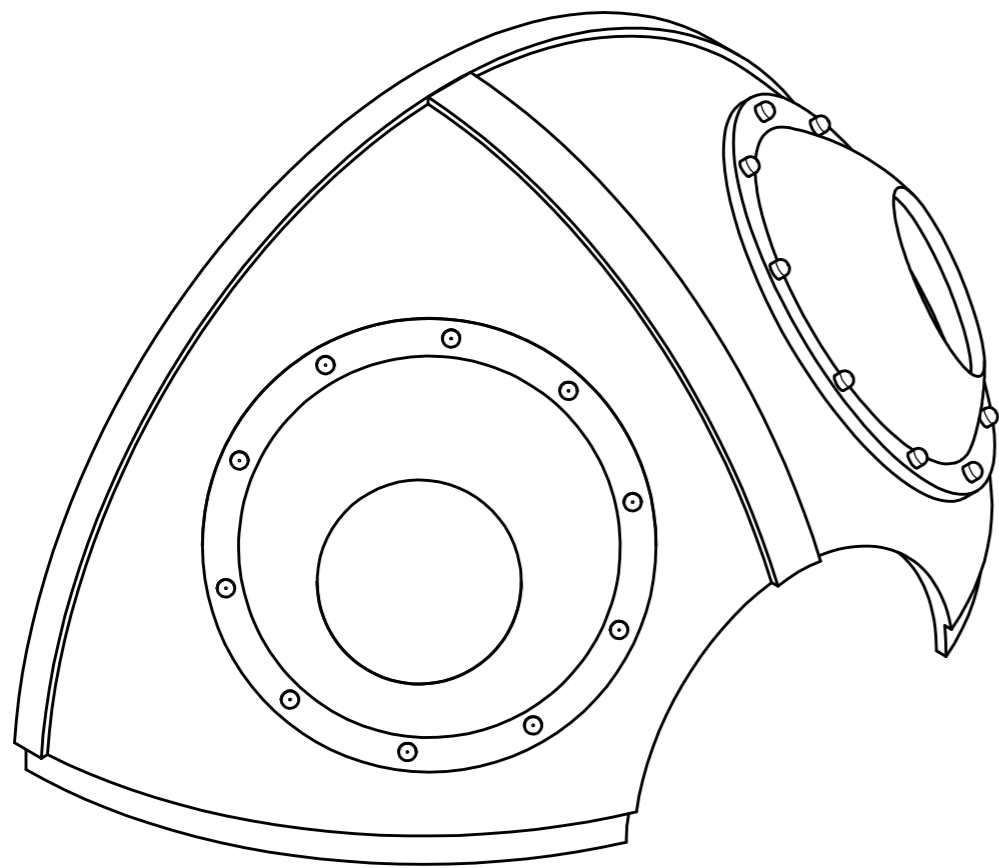
sección B-B



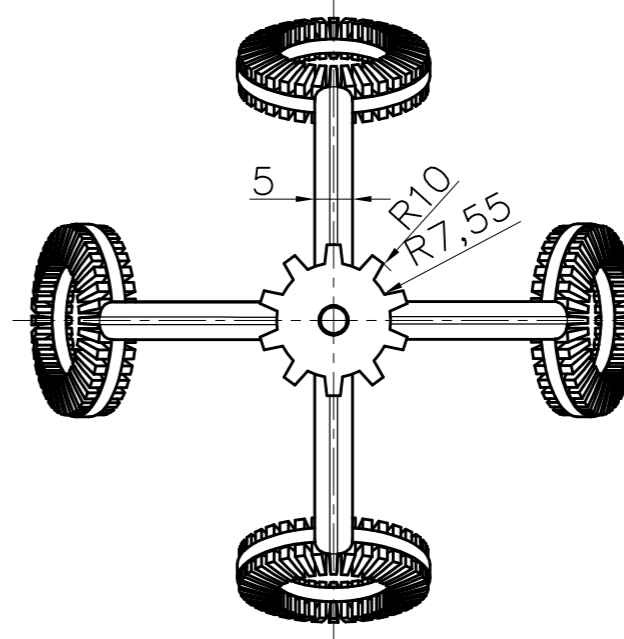
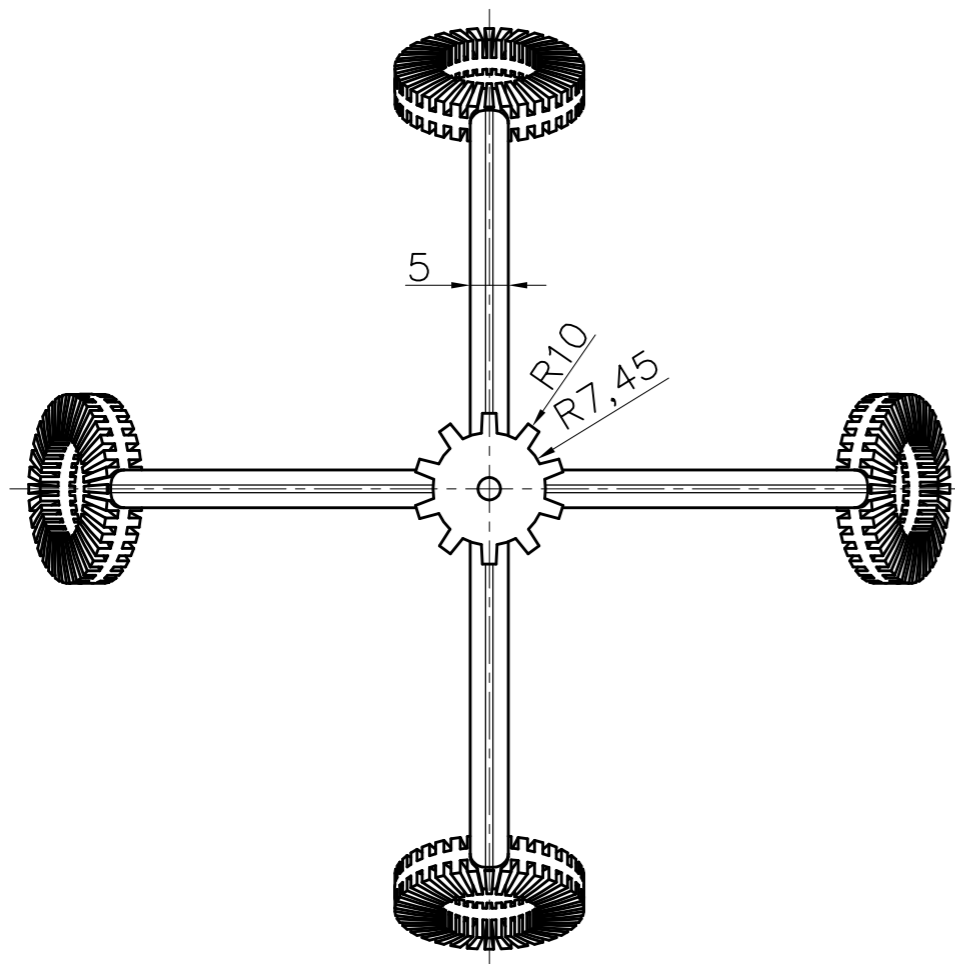
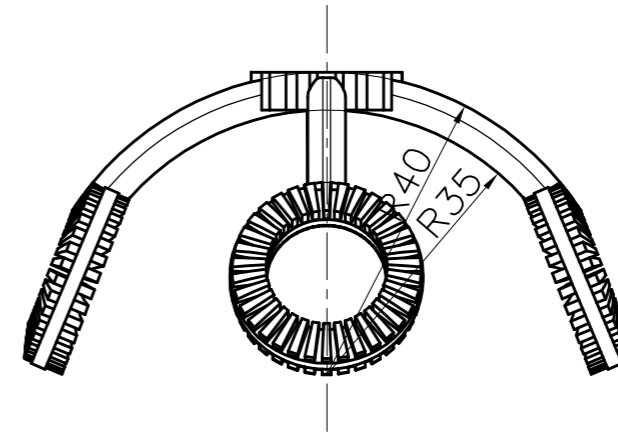
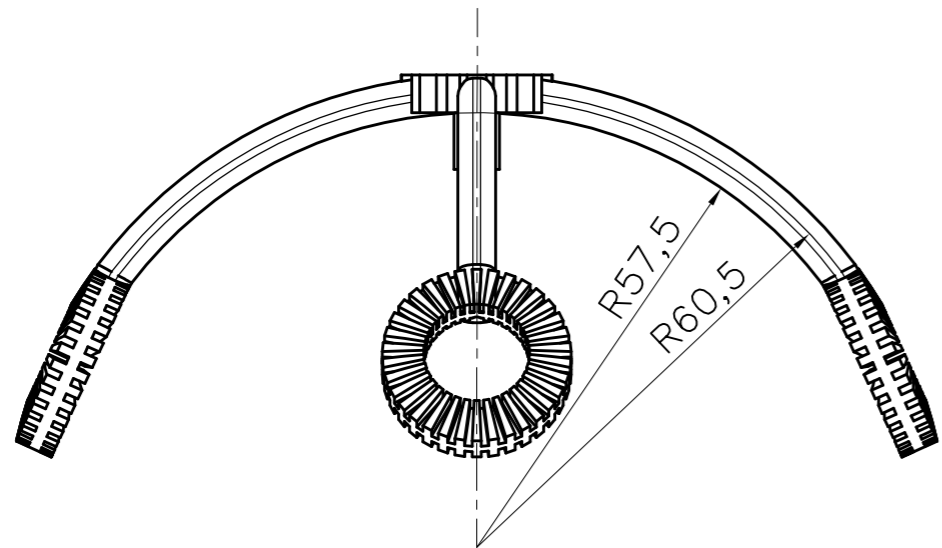
sección A-A



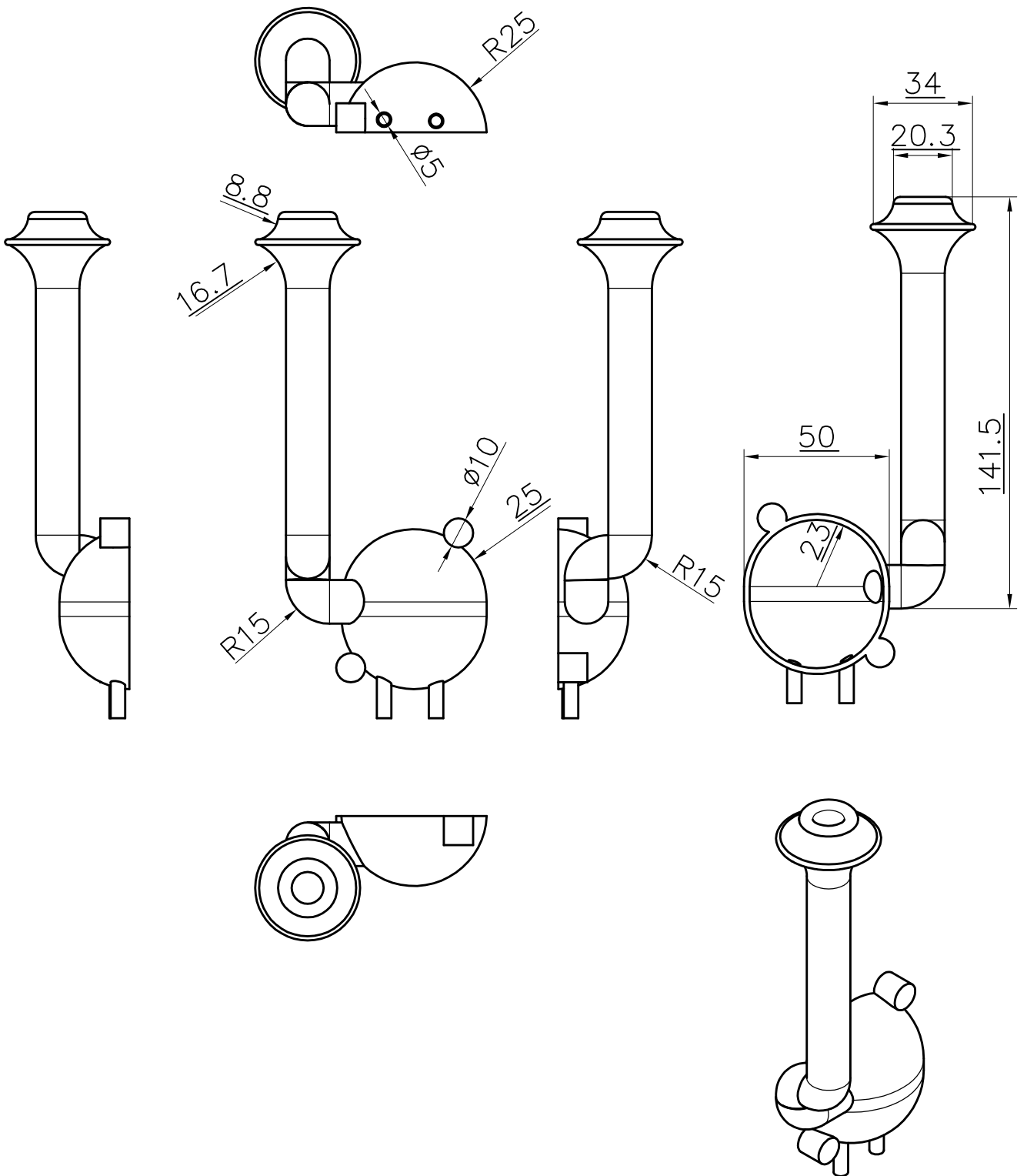
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE
ANGULAR = \pm °		JORDI PLA			
SURFACE FINISH ✓		CHECKED			
SCALE DRAWING		APPROVED			
BREAK ALL SHARP EDGES AND REMOVE BURRS					Cuerpo SteamPomp
FIRST ANGLE PROJECTION		MATERIAL	FINISH	SIZE A3	
				SCALE 1:2	DWG NO.
				WEIGHT	SHEET 1 of 1



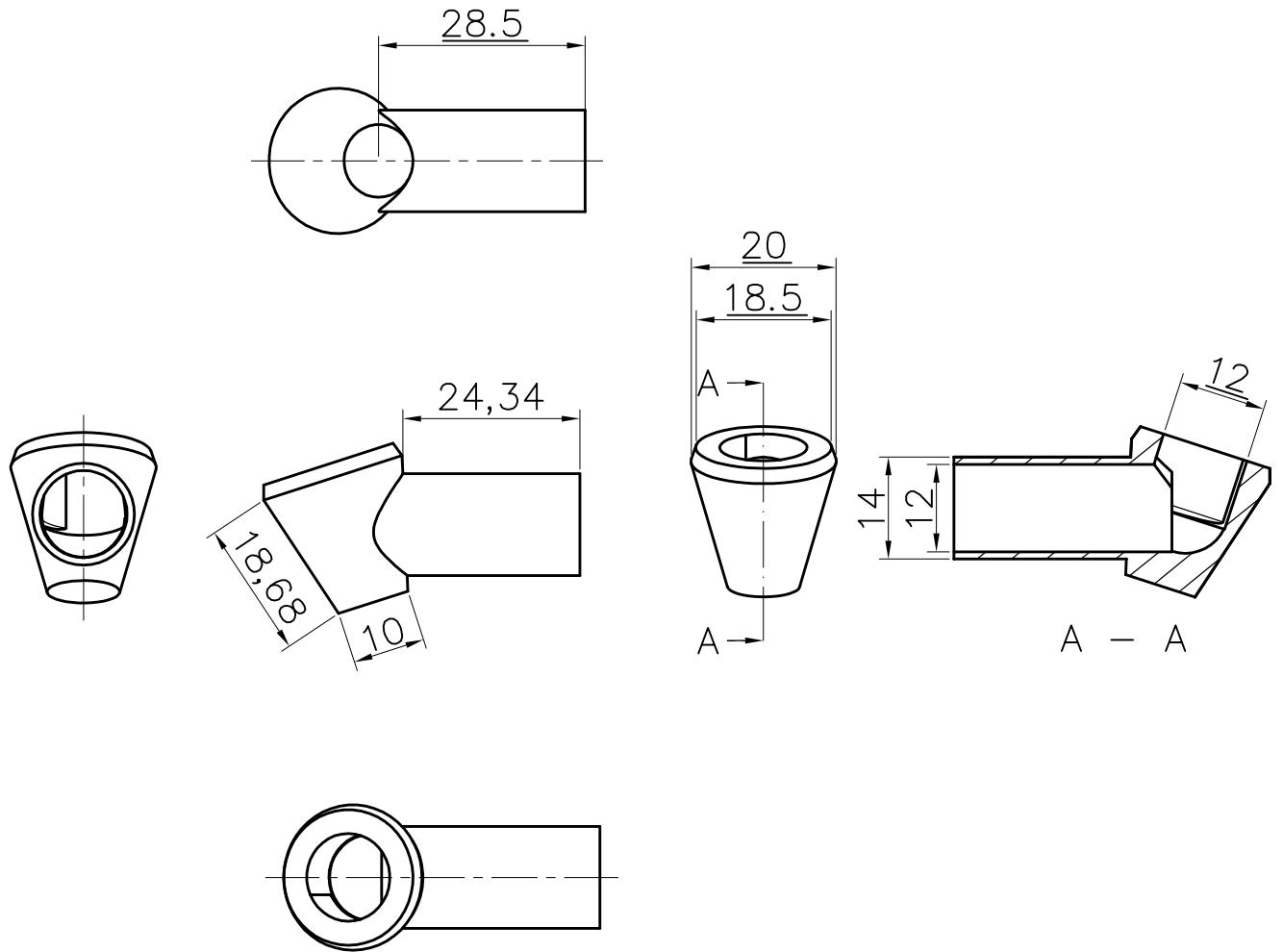
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS ANGULAR = ± .	DRAWN	JORDI PLA	SIGNATURE	DATE	TITLE Tapadera SteamPomp
	CHECKED				
	APPROVED				
	DO NOT SCALE DRAWING				
BREAK ALL SHARP EDGES AND REMOVE BURRS					SIZE A3
FIRST ANGLE PROJECTION	MATERIAL		FINISH		DWG NO.
					SCALE 1:1
					WEIGHT
					SHEET 1 of 1
					REV.



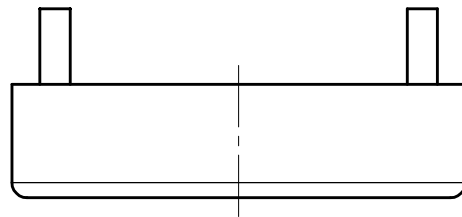
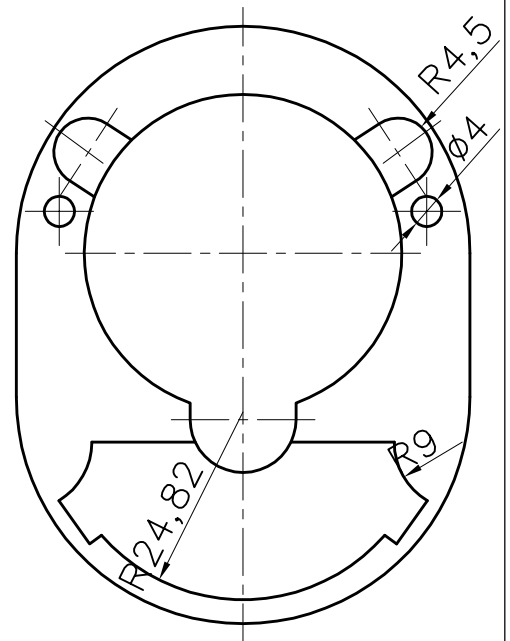
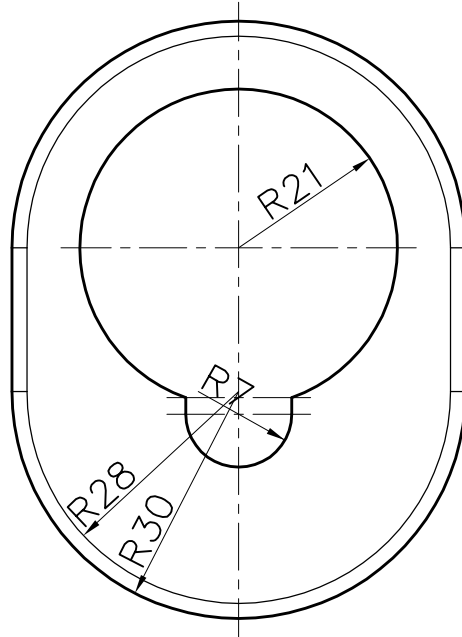
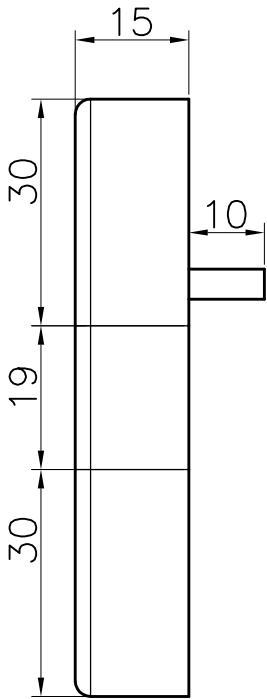
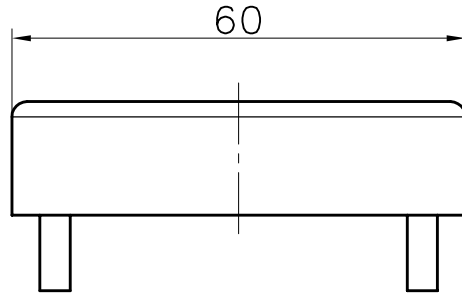
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE Aspas SteamPomp			
ANGULAR = ±	DRAWN	JORDI PLA				SIZE	DWG NO.
SURFACE FINISH	CHECKED					A3	
DO NOT SCALE DRAWING	APPROVED					SCALE	1:1
BREAK ALL SHARP EDGES AND REMOVE BURRS	MATERIAL	FINISH		WEIGHT			
FIRST ANGLE PROJECTION 				SHEET	1 of 1		



	NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN	JORDI PLA			TITLE Concentrador SteamPomp		
CHECKED						
APPROVED						
MATERIAL		FINISH		SIZE A4	DWG NO.	REV.
			SCALE 1:2	WEIGHT		SHEET 1 of 1



	NAME	SIGNATURE	DATE	<p style="text-align: center;">Boquilla SteamPomp</p>				
DRAWN	JORDI PLA							
CHECKED								
APPROVED								
MATERIAL		FINISH		SIZE A4	DWG NO.	REV.		
				SCALE 1:1	WEIGHT	SHEET 1 of 1		



	NAME	SIGNATURE	DATE			
DRAWN	JORDI PLA			<p style="text-align: center;">Tapa Trasera SteamPomp</p>		
CHECKED						
APPROVED						
MATERIAL	FINISH		SIZE A4	DWG NO.	REV.	
			SCALE 1:1	WEIGHT	SHEET 1 of 1	