



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica
Superior d'Enginyeria
Informàtica

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica
Universitat Politècnica de València

Pompinator. Diseño, impresión 3D y control de una máquina para hacer pompas

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Informática

Autor: Pablo Valero Fernández

Tutor: Floreal Acebrón Linuesa

Curso 2019-2020

Resumen

Este proyecto trata sobre el desarrollo de un prototipo de máquina de pompas de jabón orientado a juguetería. Para hacerlo realidad se integran el diseño, la impresión 3D y el control de la máquina. La finalidad de este trabajo es acercar a los más pequeños el uso de las nuevas tecnologías con los juguetes de toda la vida.

Realizando un diseño moderno con el programa de modelado 3D *Onshape*, sin esquinas ni salientes que puedan ser peligrosos para los niños, diseñándolo en módulos fácilmente desmontable y adaptando la altura, ligero y fácil de transportar. Con un estudio previo de las medidas de los componentes y de la composición de estos donde el calor y el uso no puedan alterar su correcto funcionamiento.

Imprimiendo el prototipo en PLA (ácido poliláctico), siendo este uno de los materiales más utilizados para la impresión 3D. Conseguimos darle una rigidez y un peso adecuados para un uso recreativo. Con el programa lanzadera o de rebanado *Slic3r 3D*, le damos una calidad de impresión y grosor de capa adecuado para no dilatar en el tiempo la impresión más de lo necesario.

El control del «Pompinator» lo llevamos a cabo a través de la placa *Elegoo UNO R3* compatible con la plataforma *Arduino*. Mediante el uso de controladores, un módulo *BlueTooth* y por medio de la aplicación para móviles *BlueTooth Serial Controller*, obtenemos el control del prototipo. Siendo capaces de modificar el tamaño y número de pompas de jabón a través de un *smartphone*.

Palabras clave: modelado 3D, impresión 3D, *BlueTooth*, pompas de jabón, *Arduino*.



Abstract

This project is about the development of a prototype soap bubble machine oriented to toys. To make it a reality, the design, 3D printing and control of the machine are integrated. The aim of this work is to bring the use of new technologies closer to children with their traditional toys.

Making a modern design with the 3D modelling program Onshape, without corners or projections that could be dangerous for children, designing it in modules easily removable and adapting the height, lightweight and easy to transport. With a previous study of the measures of the components and of the composition of these where the heat and the use cannot alter their correct operation.

Printing the prototype in PLA (polylactic acid), being this one of the most used materials for 3D printing. We managed to give it a rigidity and weight suitable for recreational use. With the shuttle or slicing program Slic3r 3D, we give it an adequate printing quality and layer thickness in order not to expand the printing more than necessary in time.

The control of the "Pompinator" is done through the Elegoo UNO R3 board compatible with the Arduino platform. Using drivers, a BlueTooth module, and the BlueTooth Serial Controller application for mobile phones, we obtain control of the prototype. Being able to modify the size and number of soap bubbles through a smartphone.

Keywords: 3D modelling, 3D printing, BlueTooth, soap bubbles, Arduino.

Resum

Este projecte tracta sobre el desenvolupament d'un prototip de màquina de bombolles de sabó orientat a jogueteria. Per a fer-ho realitat s'integren el disseny, la impressió 3D i el control de la màquina. La finalitat d'este treball és acostar als més menuts l'ús de les noves tecnologies amb els joguets de tota la vida.

Realitzant un disseny modern amb el programa de modelatge 3D *Onshape*, sense cantons ni ixents que puguen ser perillosos per als xiquets, dissenyant-ho en mòduls fàcilment desmuntable i adaptant l'altura, lleuger i fàcil de transportar. Amb un estudi previ de les mesures dels components i de la composició d'estos on la calor i l'ús no puguen alterar el seu funcionament correcte.

Imprimint el prototip en PLA (àcid polilàctic), sent este un dels materials més utilitzats per a la impressió 3D. Aconsegum donar-li una rigidesa i un pes adequats per a un ús recreatiu. Amb el programa llançadora o de llescat *Slic3r 3D*, li donem una qualitat d'impressió i grossor de capa adequat per a no dilatar en el temps la impressió més del que és necessari.

El control del «Pompinator» ho duem a terme a través de la placa *Elegoo UNO R3* compatible amb la plataforma *Arduino*. Per mitjà de l'ús de controladors, un mòdul *BlueTooth* i mitjançant l'aplicació per a mòbils *BlueTooth Serial Controller*, obtenim el control del prototip. Sent capaços de modificar la grandària i nombre de bombolles de sabó a través d'un *smartphone*.

Paraules clau: modelatge 3D, impressió 3D, *BlueTooth*, bombolles de sabó, *Arduino*.

Tabla de contenidos

1.	Introducción	11
1.1	Motivación	11
1.2	Objetivos	12
1.3	Impacto esperado.....	12
1.4	Estructura	13
2.	Estado de la cuestión	14
2.1	Propuesta	14
3.	Análisis del problema.....	16
3.1	Análisis de la seguridad.....	16
3.2	Identificación y análisis de soluciones posibles	17
3.3	Solución propuesta	19
3.3.1	Diseño	19
3.3.2	Impresión.....	19
3.3.3	Control.....	20
3.4	Presupuesto	21
4.	Diseño de la solución	23
4.1	Arquitectura del sistema.....	23
4.2	Diseño detallado.....	23
4.3	Tecnología utilizada	26
5.	Desarrollo de la solución propuesta	30
6.	Implantación.....	39
7.	Pruebas	43
7.1	Pruebas de impresión	43
7.2	Pruebas de control	44
8.	Conclusiones	45
8.1	Relación del trabajo desarrollado con los estudios cursados.....	46
9.	Trabajos futuros.....	47
10.	Referencias.....	48
	Anejos	50
	Anejo 1. Descripción de los diseños realizados	50
	Anejo 2. Descripción de los elementos no impresos utilizados	55



Tabla de figuras

Figura 4.1. Fases del proyecto. (Elaboración propia, 2020).....	23
Figura 4.2. Preferencias de la aplicación <i>BlueTooth Serial Controller</i> . (<i>BlueTooth Serial Controller</i> , 2020).....	24
Figura 4.3. Elección de los comandos para cada botón. (<i>BlueTooth Serial Controller</i> , 2020) ...	25
Figura 4.4. Interfaz final de la aplicación <i>BlueTooth Serial Controller</i> . (<i>BlueTooth Serial Controller</i> , 2020).....	26
Figura 4.5. Diseño de la pieza principal del prototipo en el CAD <i>Onshape</i> . (Elaboración propia, 2020)	27
Figura 4.6. Imagen de la impresora «Prusa i3 MK3» utilizada en el proyecto. (shop.prusa3d.com, 2020)	28
Figura 4.7. Diseño de la pieza principal del prototipo en el CAM <i>Slic3r 3D</i> . (Elaboración propia, 2020)	28
Figura 4.8. Imagen del código en la plataforma <i>Arduino</i> . (Elaboración propia, 2020).....	29
Figura 4.9. Prueba de control con el prototipo y los distintos componentes electrónicos. (Elaboración propia, 2020).....	29
Figura 5.1. Bocetado de la idea inicial. (Elaboración propia, 2020)	30
Figura 5.2. Módulos para variar la altura del «Pompinator». (Elaboración propia, 2020).....	30
Figura 5.3. Pieza «RuedaBoquillas» con los «Pompiteros» acoplados. (Elaboración propia, 2020)	31
Figura 5.4. Pieza original (izquierda) y nuestro «Pompitero» (derecha). (Elaboración propia, 2020)	32
Figura 5.5. Diseño de la pieza principal del proyecto. (Elaboración propia, 2020)	32
Figura 5.6. Diseño del soporte para el motor del soplador. (Elaboración propia, 2020).....	33
Figura 5.7. Primera captura del código de control del «Pompinator». (Elaboración propia, 2020)	35
Figura 5.8. Segunda captura del código de control del «Pompinator». (Elaboración propia, 2020)	37
Figura 5.9. Tercera captura del código de control del «Pompinator». (Elaboración propia, 2020)	38
Figura 6.1. Diagrama del circuito utilizado en el proyecto. (Elaboración propia, 2020)	39
Figura 6.2. Proceso de impresión de las piezas del prototipo. (Elaboración propia, 2020)	40
Figura 6.3. Proceso de impresión de las piezas del prototipo. (Elaboración propia, 2020)	41
Figura 6.4. Diagrama de ensamblaje del «Pompinator». (Elaboración propia, 2020)	42

1. Introducción

Introducirse en el mundo del diseño e impresión 3D a través de un producto de juguetería, como es una máquina de pompas de jabón. Si bien parece que no es muy llamativo el objeto en sí, poder realizar un diseño rompedor y moderno a la par que ligero y atractivo a los ojos de un niño, es una tarea nada despreciable, puesto que los más pequeños suelen ser los mejores críticos. Dicho esto, aceptamos el desafío.

La impresión 3D lleva en el mercado desde los años 80, pero se ha dado a conocer en la última década, consiguiendo avances importantes para la ciencia y tecnología, gracias a ello se ha visto incrementado su uso a niveles educativos, dando lugar a este proyecto.

Crear una máquina de pompas de jabón desde cero, diseñando las distintas piezas, imprimiéndolas y ensamblándolas para dar forma a una idea, demuestra que, con ganas, esfuerzo y conocimientos básicos, todo es posible. En nuestro caso además del modelado del objeto en sí, nos hemos propuesto controlar el tamaño y número de pompas.

1.1 Motivación

En el grado de Ingeniería Informática no hay asignaturas obligatorias o de rama que tengan relación con el 3D, afortunadamente hay dos asignaturas en el semestre B de cuarto curso que permiten al alumnado iniciarse en el mundo tridimensional «Diseño y fabricación 3D e Impresión 3D», estas asignaturas están muy bien enfocadas al aprendizaje en dicho campo, al cursarlas se gana cierta práctica y experiencia, te aportan unos conocimientos que hoy en día no se imparten habitualmente.

Con un poco de práctica en el modelado 3D, nos propusimos crear algo funcional que enlazara los conocimientos adquiridos en estas asignaturas con los conocimientos del grado de la ETSINF, surgió la idea de poder diseñar, imprimir y controlar una máquina de pompas de jabón.

1.2 Objetivos

El objetivo general del proyecto es desarrollar un prototipo de máquina de pompas de jabón destinado a juguetería o a estudios de electrónica y programación, el cual se pueda controlar mediante un dispositivo móvil, por ejemplo, un *smartphone*. Este prototipo puede tener un fin recreativo para niños, o bien, un fin académico para estudiantes, con posibilidad de programar el «Pompinator» y modificar el comportamiento de los componentes electrónicos.

El proyecto consta de tres bloques:

- Primero, el diseño y modelado 3D de las distintas piezas para las cuales hay que tener en cuenta las medidas de los componentes esenciales de la máquina. Los dos motores y el soplador de aire, que necesariamente deben ir en el interior del producto;
- El segundo bloque es la impresión 3D, que se realiza en paralelo con la primera parte. Teniendo en cuenta la tolerancia del extrusor de la impresora 3D a la hora de la impresión de las piezas, para su ensamblaje y correcto funcionamiento;
- Por último, el control de los motores del «Pompinator» se realiza una vez han concluido los bloques anteriores y las piezas se han acoplado correctamente. Tras el montaje del prototipo, procedemos a controlar los dos motores con independencia entre sí, utilizando para ello un dispositivo móvil mediante el protocolo *BlueTooth* y una placa *Arduino*.

1.3 Impacto esperado

Crear una máquina para hacer pompas de jabón controlada mediante un *smartphone*, supone incrementar el interés de los más pequeños en el producto, ya que contamos con el atractivo de la tecnología móvil y el ya de por sí juego de pompas de jabón que cautiva a personas de cualquier edad.

Añadir tecnología al producto, supone abarcar varios tipos de clientes o usuarios para nuestro «Pompinator», contamos con las generaciones más jóvenes para hacer un uso recreativo, pero a su vez también contamos con estudiantes de cursos avanzados en electrónica, como por ejemplo pueden ser alumnos de grados superiores o de grados universitarios, con el fin de poder programar el «Pompinator», hacer rotar los motores a las velocidades deseadas y editar el programa *BlueTooth Serial Controller* para agregar más funcionalidades al prototipo.

Actualmente el problema principal para la venta y distribución del proyecto es la necesidad de contar con una impresora 3D y conocimientos de electrónica para montar y ensamblar el «Pompinator», esto hace que el prototipo deba ser inyectado en plástico y estandarizar los componentes de su interior.

1.4 Estructura

Dicho trabajo está compuesto por 9 secciones:

- Introducción: Se plantea superficialmente el trabajo a realizar, las motivaciones que lo han hecho posible, los objetivos que hemos ido alcanzando, el impacto esperado del proyecto realizado y por último la estructura de este;
- Estado de la cuestión: Se realiza un estudio de los distintos productos que hay similares en el mercado actualmente y al tipo de público al cual van destinados, al mismo tiempo que presentamos una propuesta de nuestro proyecto;
- Análisis del problema: Se plantean los problemas que han ido surgiendo con las alternativas que hemos valorado y la solución final escogida. A su vez se realiza un estudio de seguridad y un presupuesto del prototipo;
- Diseño de la solución: Se plasma la arquitectura de la solución propuesta, a su vez que un diseño de cada una de las fases en que se divide el proyecto;
- Desarrollo de la solución propuesta: Se explica el procedimiento seguido hasta lograr una solución satisfactoria en el desarrollo del proyecto;
- Implantación: Se detallan las distintas conexiones del circuito y el proceso de integración de la parte *hardware* con la parte *software* del proyecto;
- Pruebas: Se plantean las distintas pruebas realizadas con las modificaciones aplicadas al prototipo y sus mejoras con respecto a los diseños originales;
- Conclusiones: Se exponen las conclusiones que hemos obtenido con el desarrollo del trabajo, a su vez que los conceptos y experiencias adquiridos durante el transcurso del proyecto;
- Trabajos futuros: Posibilidades que se pueden plantear en el futuro y distintas funcionalidades que podemos añadir al prototipo;
- Referencias: Se detallan las distintas fuentes de información utilizadas para complementar o fundamentar el trabajo realizado.

En los anejos se incluyen los diseños de todas las piezas empleadas en el prototipo, además de los distintos componentes no impresos utilizados en el «Pompinator».



2. Estado de la cuestión

Actualmente el mundo de las pompas de jabón está orientado a la juguetería, el soplador tradicional que consiste en un recipiente de plástico con una sustancia jabonosa en su interior además de un tapón unido a un aro por el cual la persona sopla produciendo pompas de varios tamaños. Dicho juguete según las estimaciones de los fabricantes, se venden anualmente alrededor de 200 millones de unidades en todo el mundo[1], siendo uno de los juguetes más populares del planeta, si no el que más.

Las máquinas de pompas de jabón también están presentes en la juguetería, aunque su venta está más enfocada a eventos como pueden ser bodas, actuaciones musicales, grandes espectáculos circenses, etc. Hoy en día a la venta se encuentran máquinas profesionales a control remoto[2]. También hay creaciones caseras a partir de máquinas de juguete modificadas, las cuales hacen auténticas virguerías[3].

Crear una máquina de jabón desde cero, diseñándola e imprimiéndola en 3D y controlándola desde un dispositivo móvil vía *BlueTooth*, es un hecho del que no hemos encontrado referencias ni casos anteriores en los cuales basarnos para hacer este proyecto.

El mercado de estos productos cubre otras necesidades y no ha profundizado más allá del control remoto mencionado anteriormente, en máquinas de alta gama con un coste final elevado y destinadas a eventos, este hecho abre una posibilidad de mercado a largo plazo.

2.1 Propuesta

Visto que no hay un producto similar a lo que proponemos, puesto que el mercado tiende a otras vertientes más industriales, productos profesionales con conexión a la red eléctrica y mayor consumo energético, creados con aleaciones metálicas que le aportan un peso superior y distinto uso del que queremos darle.

Nuestro trabajo tratará el diseño de un prototipo de máquina de jabón impresa en ácido poliláctico (PLA)[4], en conjunción con el material electrónico necesario para generar pompas de jabón. Como son dos motores con funcionamiento independiente, uno para la rotación de la pieza generadora de pompas, y el otro para el funcionamiento del soplador, también contamos con una placa *Elegoo UNO R3*[5] compatible con el software *Arduino* que aportará el control de la máquina de jabón mediante el módulo *BlueTooth HC-05*[6].

Juntando todas las piezas del puzle obtendremos un prototipo controlado por un *smartphone* sin necesidad de cables, capaz de modificar las velocidades de los motores dependiendo del tamaño y número de bombas que desee el usuario final. Al ser un proyecto desarrollado en la UPV como trabajo final de grado, carecemos de medios para llevar el prototipo a producción en serie con inyección de plástico y estandarización de los componentes con una aplicación *BlueTooth* propia.

3. Análisis del problema

3.1 Análisis de la seguridad

El prototipo diseñado para este trabajo separa en dos compartimentos estancos el material electrónico indispensable que debe ir en el interior de la máquina y la sustancia jabonosa necesaria para la creación de las pompas. Puesto que estos dos compartimentos están separados por una pared de PLA, es altamente importante comprobar la impermeabilidad de este material, una filtración de la sustancia jabonosa a los componentes electrónicos puede ser fatal para el desarrollo del proyecto.

Previamente al montaje de los componentes electrónicos, hemos realizado pruebas introduciendo agua en el compartimento donde debe ir la sustancia jabonosa, dado que el agua tiene un índice de viscosidad menor al jabón y puede filtrarse con mayor facilidad, hemos creído oportuno hacer las pruebas con dicho elemento. Tras dos horas hemos podido comprobar que la pieza impresa en PLA no ha absorbido ni filtrado el agua al otro compartimento.

Para una mayor seguridad puede barnizarse el interior de la pieza con un aerosol, impidiendo definitivamente cualquier filtración no deseada. No lo creemos necesario debido a que la sustancia jabonosa sólo se introduce en el prototipo en el momento de su uso, y no ha excedido el tiempo de prueba realizado con agua. Tras estas pruebas necesarias hemos procedido al montaje de los componentes electrónicos.

Otro problema de seguridad que hemos valorado en nuestro prototipo es la temperatura que llegan a alcanzar los motores en un período largo de funcionamiento, tras 20 minutos de funcionamiento ininterrumpido los motores no alcanzan los 40 °C de temperatura, el material PLA se vuelve endeble y pueden producirse deformaciones en la estructura de la pieza impresa a partir de 60 °C. Dado que no se alcanzan temperaturas peligrosas para la estructura del «Pompinator», no es necesario implantar sistemas de refrigeración a los motores. Aunque se aconseja no dejar el prototipo al sol durante largos períodos de tiempo.

3.2 Identificación y análisis de soluciones posibles

En el diseño 3D de las piezas para el prototipo, hemos tenido en cuenta las medidas de los distintos componentes electrónicos que deben ir en el interior de la pieza principal, esto no daba lugar a muchos diseños posibles, puesto que nuestras primeras premisas fueron que el diseño debía ser atractivo para los niños, quisimos darle un aspecto circular con pocas líneas rectas, simulando a una pompa de jabón y el tamaño debía ser lo más pequeño y manejable posible. Esto hizo que tanto la pieza principal como la base fuesen circulares.

A la hora de la impresión 3D al tener las piezas una forma circular, hizo que tuviésemos que prestar mucha atención y estudiar bien sobre qué plano apoyar dichas piezas y ponerles el andamiaje correspondiente en el programa lanzadera o de rebanado, para que las piezas se imprimieran correctamente y tuviesen una estructura fuerte sobre la cual poder ir imprimiendo capa a capa sin que se desmoronasen.

Hay que comentar que el material con el que la universidad suele trabajar para la impresión 3D en sus distintos departamentos o escuelas es el PLA, mencionado anteriormente. En este punto no tuvimos muchas posibilidades de elegir otros materiales, ya que era el que nos ofrecían y dicho material no implicaba cambiar el diseño ni modificar el proyecto a posteriori.

Una vez impresas las piezas, tuvimos otros problemas derivados de la impresión 3D que suelen ser habituales en este campo, a la hora de ensamblar el prototipo, algunas piezas no encajaban correctamente debido a la tolerancia de impresión.

Esto tiene dos posibles soluciones:

- La primera se basa en mejorar la precisión a la hora de realizar la impresión reduciendo el salto de capa (eje Z), puedes elegir el porcentaje de material que el extrusor calienta, siendo el 100% el grosor del filamento, y los milímetros de la capa de PLA que la impresora aplica en cada pasada (estos valores varían dependiendo de la marca y modelo de la impresora), este parámetro afecta bastante al tiempo de impresión de cada pieza;
- La segunda solución es lijar o cortar el excedente de material de las piezas impresas, reduciendo el grosor de los ensamblajes para un mejor acople de piezas. Este paso se suele realizar con una lija de grano fino de madera, ya que el PLA no tiene una dureza tal como para necesitar otro tipo de material abrasivo. También se suele utilizar una cuchilla de cúter para cortar el material sobrante.

Pompinator. Diseño, impresión 3D y control de una máquina para hacer pompas

En el control del prototipo contamos con problemas de varios tipos. Al conectar la placa *Arduino* a los motores, dicha placa es incapaz por sí sola de controlar individualmente más de un motor, esto nos hizo investigar posibles soluciones. Existe un controlador L298N compatible con *Arduino*, muy utilizado en el mundo de la robótica para controlar la velocidad y dirección de las ruedas de los robots. Este controlador trabaja con un voltaje de 5 a 35V, la placa sólo entrega un voltaje máximo de 5V, con lo cual hay que conectarlo a módulo supletorio de potencia, haciendo más complejo el diseño del circuito.

También contamos con otro problema a solventar, nuestro proyecto requería uso de *BlueTooth* para controlar los motores del «Pompinator», como en el caso anterior, la placa *Arduino* requiere de un módulo auxiliar, puesto que no lleva incorporado *BlueTooth*. Hay dos variantes de módulos *BlueTooth* en el mercado compatibles con *Arduino*, el módulo HC-05 y el módulo HC-06.

El módulo HC-05 y el módulo HC-06 cuentan con cuatro pines o conexiones: VCC (corriente), GND (masa), TX (transmisión) y RX (recepción) idénticos. La diferencia radica en que el módulo HC-05 tiene dos pines más, en total seis, encargados de cambiar el modo de uso del módulo, maestro-esclavo. El módulo HC-06 sólo cuenta con los cuatro pines mencionados anteriormente y el modo esclavo. Ambos módulos los podemos conseguir por un precio inferior a los 10€.

Un problema añadido es la necesidad de mantener una fuente constante de corriente en la placa, que sólo con la conexión USB al PC no conseguimos, necesita una alimentación externa para poder mantener todos los componentes del circuito funcionando correctamente.

Hay dos posibles soluciones:

- Una pila seca de 9V con un coste de 2€ aproximadamente. Es una solución temporal debido a que la vida útil de dicha pila depende del uso que le demos a la placa, esto llevado a la práctica nos supondría la obtención de varias pilas para poder desarrollar el proyecto;
- Un transformador de corriente de 9V y 1A con conexión directa a la red eléctrica, esta opción es una solución definitiva pues mantiene la tensión en todo momento y no requiere de sustituir la pieza, con un coste de 5€.

3.3 Solución propuesta

3.3.1 Diseño

Para realizar el diseño del «Pompinator» nos basamos en la forma de una pompa de jabón, queríamos que tuviese módulos fácilmente desmontables en la base para darle distintas alturas y que fuese lo más pequeño posible teniendo en cuenta las piezas indispensables que debían estar dentro, estas piezas son:

- Un soplador modificado extraído de un juguete de pompas de jabón, al cual le modificamos la salida de aire para que, en vez de soplar frontalmente, lo hiciese lateralmente, esta modificación se llevó a cabo para poder acoplar las piezas en el espacio reducido del que disponíamos. Además, al mismo soplador que era manual (funcionaba mediante un gatillo), le sustituimos algunos engranajes para poder hacerlo motorizado;
- Contamos con dos motores redondos de 1'5 a 4'5V y de 0'1 a 0'8A, y con una reducción para el motor encargado de mover la «RuedaBoquillas» con las piezas encargadas de recoger el jabón y llevarlo al soplador para producir la pompa.

3.3.2 Impresión

Para poder imprimir las piezas contamos con la colaboración del departamento DISCA, que puso a nuestra disposición una impresora «Prusa i3 MK3»[7]. Con esta impresora realizamos la impresión de todas las piezas de nuestro prototipo.

Como hemos comentado en el apartado anterior, algunas piezas como los módulos de la base que le otorgan varias alturas al «Pompinator», las piezas que modifican el soplador (el conducto que redirige el aire y el engranaje que lo hace motorizado) y los «Pompiteros» (las piezas que van acopladas en la «RuedaBoquillas» encargadas de recoger el jabón), eran relativamente sencillas de imprimir y no necesitaban excesivo andamiaje, además requerían poco tiempo de impresión.

Pompinator. Diseño, impresión 3D y control de una máquina para hacer pompas

Sin embargo, la pieza principal del prototipo, que alberga en su interior tanto los componentes externos a la impresión y el jabón, necesitó de un andamiaje sobre la base y un estudio previo en el programa de rebanado para determinar cuál era la posición óptima para la impresión y la relación de tiempo y calidad de impresión de la pieza más adecuada. Teniendo en cuenta estos valores la pieza tardó aproximadamente 25 horas en imprimirse.

Una vez finalizada la impresión tuvimos que eliminar el andamiaje con un cúter y lijar el excedente de material para que la pieza quedase en buenas condiciones para el proyecto. Este proceso hubo que realizarlo en la mayoría de las piezas impresas, pero a menor escala.

3.3.3 Control

Para realizar el control del prototipo hicimos un estudio previo de componentes que podríamos necesitar para incorporarle a nuestra placa *Elegoo UNO R3* compatible con *Arduino*, el primer componente que sabíamos que íbamos a necesitar era un módulo *BlueTooth*. Para nuestro trabajo necesitamos únicamente la función de esclavo, pero la diferencia de precio entre el módulo HC-05 y el módulo HC-06 y la posibilidad de en un futuro ampliar las funcionalidades del «Pompinator», nos hizo decantarnos por el módulo HC-05, el más completo.

Con el proyecto en marcha, nos dimos cuenta de que la placa *Arduino* no era capaz de controlar dos motores independientes entre sí y para ello prácticamente la única solución posible es el controlador L298N orientado a robótica. Al elegir esta opción y al hacer pruebas nos vimos obligados a complementar la potencia de la placa con un transformador de corriente de 9V y 1A, para otorgarle a la placa mayor potencia para mantener el correcto funcionamiento de los distintos componentes utilizados en el circuito. Elegimos esta opción puesto que la pila seca de 9V se descarga con el uso y en un espacio medio de tiempo, es la mejor solución. A su vez que para alimentar el controlador L298N, obtuvimos un transformador de corriente de 12V y 2A.

En la elección de la aplicación para el *smartphone*, fuimos asesorados por Floreal Acebrón Linuesa, nuestro tutor del TFG. La aplicación es *BlueTooth Serial Controller*, es una de las aplicaciones para el control de dispositivos mediante *BlueTooth* más descargada de *Google Play*, fácil e intuitiva al mismo tiempo que editable.

3.4 Presupuesto

Como es un proyecto desarrollado en la ETSINF, se ha contado con la ayuda del departamento DISCA para la impresión 3D del prototipo, no ha tenido coste alguno esta parte. Pero la impresión completa del «Pompinator» en tiendas especializadas de impresión 3D, conllevaría un coste aproximado de 125€. Esto sumado al coste de los componentes electrónicos necesarios para el funcionamiento y control del proyecto, los cuales sí hemos tenido que comprar:

- *Super Starter Kit Elegoo UNO R3 Project compatible con Arduino* 32'99€;
- Módulo *BlueTooth HC05 compatible con Arduino* 9'99€;
- Controlador *L298N Arduino* 2'72€;
- Micromotor redondo de 1.5 a 4.5V 2'45€;
- Motor reductor 10'40€;
- Juguete de pompas de jabón del cual extrajimos el soplador 2'95€;
- Transformador 9V y 1A compatible con *Arduino* 5€.

Sumando los costes de todos los componentes comprados para realizar el proyecto, obtenemos un total de 66'50€, a los cuales si le sumamos los 125€ aproximados de la impresión 3D obtendríamos un coste de 191'50€.

A todo lo anterior debemos sumarle las horas-hombre que hemos necesitado para el proyecto. Hemos hecho una estimación del tiempo empleado para cada parte del proyecto:

- Idea primaria, bocetado y medidas → una hora-hombre;
- Diseño de las distintas partes del proyecto → 35 horas-hombre;
- Impresión de todas las piezas utilizadas y erróneas → 50 horas (tres horas-hombre);
- Control de la parte electrónica y puesta a punto del proyecto → 21 horas-hombre.

Puesto que las horas de impresión de las piezas, son las horas que ha tardado la impresora en imprimir y no ha estado nadie presente durante todo el proceso, sólo para iniciar la impresión y recoger la pieza impresa, computamos tres horas-hombre.

Consultando el convenio de 2020 de un Ingeniero titulado en el BOE[8], nos salen 1792 horas con un total anual de 14 pagas más el plus por convenio, el total anual es de 26323'57€. Dividiendo el total anual entre las horas totales trabajadas al año, obtenemos 14'69€/h que cobraría un ingeniero titulado por convenio en el año 2020.

Multiplicando la suma total de horas del proyecto por el coste por hora del convenio:

$$(1 + 35 + 3 + 21) * 14'69 = 60 * 14'69 = 881'40€$$



Pompinator. Diseño, impresión 3D y control de una máquina para hacer pompas

A los 881'40€ que cobraría un ingeniero por el desarrollo del proyecto, hay que sumarle el coste de los componentes más la estimación de la impresión 3D de las piezas que asciende a 191'50€, sumándolo todo, el presupuesto total del proyecto asciende a 1072'90€.

En último lugar, queremos añadir que la utilización del *software* necesario para el desarrollo del prototipo no ha tenido coste alguno, tanto *Onshape*, *Slic3r 3D*, como la plataforma de *Arduino* y la aplicación móvil *BlueTooth Serial Controller* son programas de código abierto por los cuales no hay que pagar una licencia por su uso.

4. Diseño de la solución

4.1 Arquitectura del sistema

El proyecto se divide en tres bloques, el primero de diseño perteneciente a la parte CAD (*Computer Aided Design*) de modelado 3D, en el cual hemos utilizado el programa *Onshape*[9]. El segundo programa que hemos necesitado es el *Slic3r 3D* de rebanado e impresión 3D perteneciente a la parte CAM (*Computer Aided Manufacturing*). Y por último el control del prototipo donde interviene la parte electrónica de montaje del circuito con sus componentes, la programación en la plataforma *Arduino*[10] y la aplicación móvil *BlueTooth Serial Controller*. Para poder desempeñar las funcionalidades especificadas a lo largo del trabajo.

Este último tiene una parte importante de *hardware*, que es la más visible, pero a su vez tiene una parte de *software*, hemos programado el «Pompinator» para poder tener tres potencias de soplado y cuatro opciones de movimiento (tres velocidades y marcha atrás) de la «RuedaBoquillas», encargada de transportar la sustancia jabonosa al soplador.

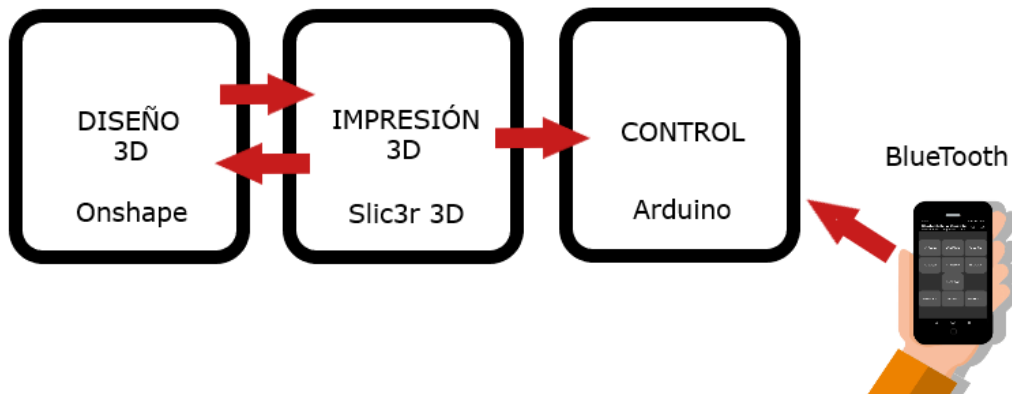


Figura 4.1. Fases del proyecto. (Elaboración propia, 2020)

4.2 Diseño detallado

Puesto que el grueso del proyecto se centra en la parte *hardware*, no disponemos de arquitectura *software* de la cual explicar el procedimiento detalladamente. Sin embargo, sí que contamos con la edición de la aplicación móvil.

Pompinator. Diseño, impresión 3D y control de una máquina para hacer pompas

La aplicación *BlueTooth Serial Controller* de la cual obtenemos el control de la máquina a través de un dispositivo móvil, como previamente hemos mencionado en el apartado «3.3.3 Control», es fácilmente editable y muy útil para controlar dispositivos vía *BlueTooth*. Como podemos observar en la figura siguiente, en las preferencias determinamos los parámetros a modificar para nuestra interfaz de control.

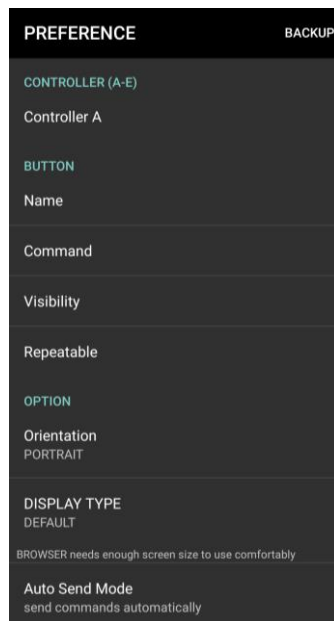


Figura 4.2. Preferencias de la aplicación *BlueTooth Serial Controller*. (*BlueTooth Serial Controller*, 2020)

En la primera opción podemos elegir hasta cinco controladores distintos (*Controller A-E*), tenemos la posibilidad de crear varios códigos en *Arduino* y que cada controlador tenga una funcionalidad distinta dependiendo de las características de la programación. En la segunda opción (*Name*), se les da nombre a los distintos botones dentro de la interfaz de control que queremos utilizar. En nuestro caso hemos utilizado los botones 10, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 22, 23 y 24. Cada uno con un comando distinto (*Command*, la tercera preferencia), dependiendo del valor que queremos que envíe a la placa *Arduino* cuando pulsamos un botón, como veremos en la sección «5. Desarrollo de la solución propuesta».

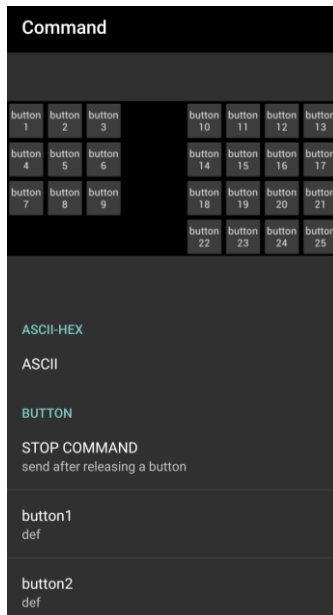


Figura 4.3. Elección de los comandos para cada botón. (*Bluetooth Serial Controller*, 2020)

Finalmente, sólo hacemos visibles los botones mencionados anteriormente, con un tamaño de botón y de letra editables, haciendo mucho más fácil cambiar las velocidades de los motores dependiendo del tamaño y número de bombas que queramos que se generen en un momento dado.

En la figura siguiente podemos observar la interfaz creada para el control del «Pompinator», con tres velocidades para el soplador (V. BAJA , V. MEDIA y V. ALTA) y cuatro velocidades contando con la marcha atrás para la rueda (R. BAJA, R. MEDIA, R. ALTA y R. ATRÁS). Además, contamos con tres botones para detener independientemente el motor del soplador (PARAR V.), el motor de la rueda (PARAR R.) o los dos a la vez (PARAR T.), si así lo creemos oportuno.



Figura 4.4. Interfaz final de la aplicación *BlueTooth Serial Controller*. (*BlueTooth Serial Controller*, 2020)

4.3 Tecnología utilizada

Para llevar a cabo el proyecto hemos utilizado el *software Onshape*, es uno de los CAD más completos de código abierto existentes para estudiantes. Es un programa de uso en web, no se descarga en un dispositivo físico. Este programa tiene la posibilidad de crear varios tipos de cuentas. La cuenta por defecto es gratuita, pero es la que menos opciones tiene, la cuenta de estudiante que enlaza con el correo de la universidad, comprobando la veracidad de este, es más completa y es la que hemos utilizado, también gratuita. Por último, está la posibilidad de crearte una cuenta de pago con la que ya accedes a todas las funcionalidades de la web, esta cuenta está orientada a un uso más profesional del modelado 3D.

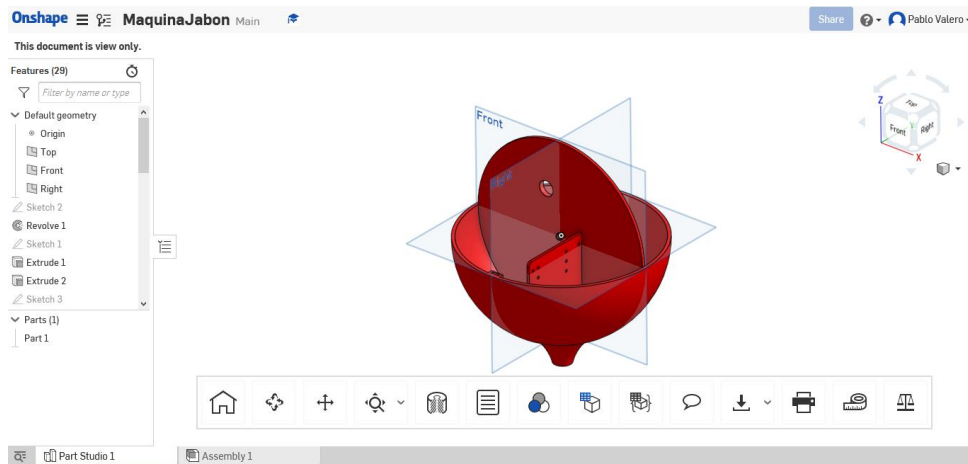


Figura 4.5. Diseño de la pieza principal del prototipo en el CAD *Onshape*. (Elaboración propia, 2020)

Hay muchos y mejores programas de modelado 3D en el mercado, siendo uno de los más conocidos el *Autodesk Inventor*. Habiendo escuelas dentro de la UPV con licencias para estudiantes de este programa, como la ETSID (Escuela Técnica superior de Ingeniería del Diseño), pero en la ETSINF no disponemos de este tipo de licencias en las aulas, en la asignatura de «Diseño y fabricación 3D» empezamos a tomar contacto con el CAD *Onshape* haciendo más fácil la elección por este programa en vez de otros para desarrollar el proyecto, puesto que ya contábamos con cierta práctica con respecto a su funcionamiento.

Por otra parte, para poder realizar la impresión tridimensional de las piezas diseñadas anteriormente, se necesita un *software* lanzadera o de rebanado, en nuestro caso hemos utilizado el programa *Slic3r 3D*, toma los archivos (.stl o .obj) descargados del programa CAD *Onshape* y los exporta a un archivo *G-Code*, es la extensión que reconocen las impresoras 3D para poder realizar la impresión final. La impresora utilizada para todo el proceso de impresión ha sido la impresora «Prusa i3 MK3».



Figura 4.6. Imagen de la impresora «Prusa i3 MK3» utilizada en el proyecto. (shop.prusa3d.com, 2020)

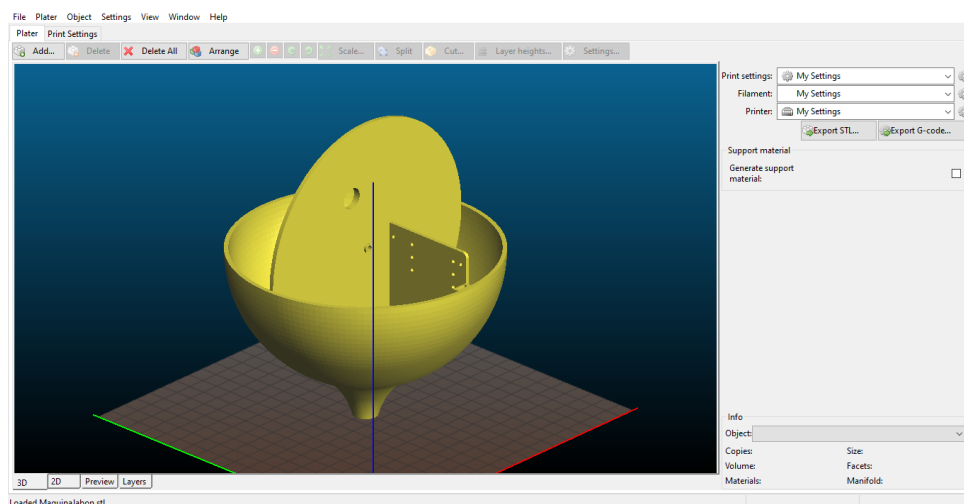


Figura 4.7. Diseño de la pieza principal del prototipo en el CAM *Slic3r 3D*. (Elaboración propia, 2020)

El *software* utilizado para la parte de control del prototipo ha sido la plataforma *Arduino* compatible con nuestra placa *Elegoo UNO R3*. Esta plataforma está disponible para descarga gratuita en la web de *Arduino*[11]. La programación del «Pompinator» la hemos realizado completamente en este programa.

```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
BUENO_POMPINATOR
#include <SoftwareSerial.h> // Serial communication library
SoftwareSerial ModuloBT (2, 3); // Port_2 ==> RX, Port_3 ==> TX

// Motor A (BUEDA)
int ENA = 10;
int IN1 = 9;
int IN2 = 8;

// Motor B (VENTILADOR)
int ENB = 5;
int IN3 = 7;
int IN4 = 6;

void setup ()
{
  ModuloBT.begin(9600);
  // Declaramos los pines como salidas
  pinMode (ENA, OUTPUT);
  pinMode (ENB, OUTPUT);
  pinMode (IN1, OUTPUT);
  pinMode (IN2, OUTPUT);
  pinMode (IN3, OUTPUT);
  pinMode (IN4, OUTPUT);
}

void VentiladorBaja ()
{
}
```

Figura 4.8. Imagen del código en la plataforma *Arduino*. (Elaboración propia, 2020)

Para la parte *hardware* de control hemos utilizado distintos componentes, la ya mencionada anteriormente placa *Elegoo UNO R3*, un transformador de 12V y 2A que alimenta al controlador L298N, un módulo *BlueTooth* HC-05, un transformador de 9V y 1A que alimenta a la placa *Arduino*, un controlador L298N y distintos cables conectores.

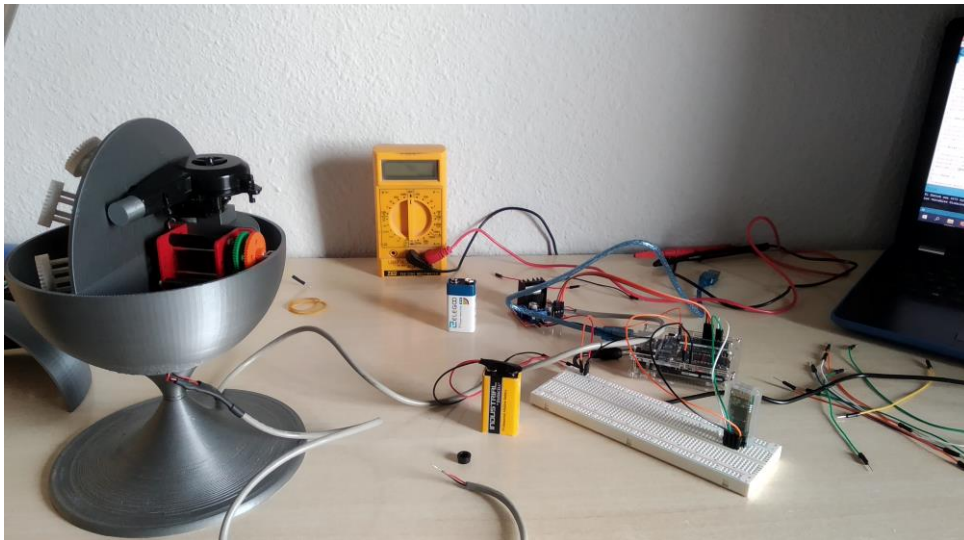


Figura 4.9. Prueba de control con el prototipo y los distintos componentes electrónicos. (Elaboración propia, 2020)

5. Desarrollo de la solución propuesta

Realizando un boceto inicial de la idea que queríamos plasmar para nuestro trabajo, con las premisas de que se tenía que asemejar la pieza principal a una pompa de jabón, debía ser lo más compacto y pequeño posible, tener pocos vértices o salientes, contar con módulos que le otorgasen varias alturas además de ser ligero para facilitar el transporte y el uso por parte de cualquier persona, incluido niños. Con estas premisas y con una idea medianamente clara del boceto, empezamos a dibujar.

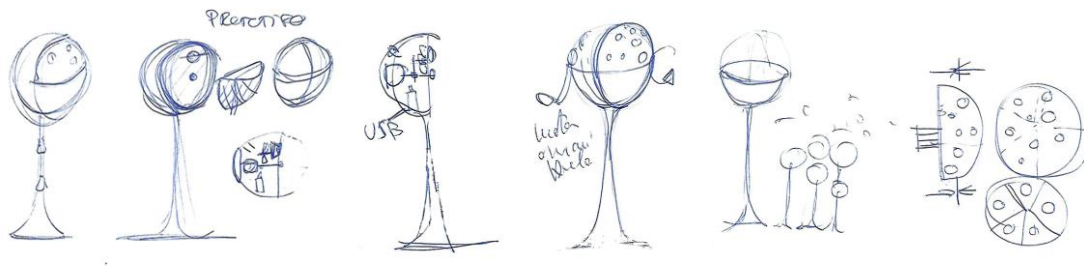


Figura 5.1. Bocetado de la idea inicial. (Elaboración propia, 2020)

Como se puede observar en la figura anterior, de la idea inicial hemos conservado la estructura de la máquina, mejorando el diseño y haciéndolo más funcional. Los módulos de la altura los hemos hecho encajables entre sí, con la base y la pieza principal, pudiendo subir la pieza de uno a 30 cm sin afectar a la estabilidad del prototipo.



Figura 5.2. Módulos para variar la altura del «Pompinator». (Elaboración propia, 2020)

En el bocetado observamos que inicialmente había dos posibilidades de rotación del engranaje para la rueda giratoria que transporta el jabón al soplador, una posibilidad era mediante conexión USB alimentando los motores (es la versión que hemos adaptado y mejorado para el proyecto), al alimentar los motores mediante un solo cable no teníamos la posibilidad de controlarlos individualmente, esto fue una modificación posterior al implantar la sección de control al proyecto.

La otra posibilidad constaba del impulso mediante una manivela, con la cual controlar la rotación de la rueda, esta opción la descartamos enseguida al ver la magnitud a la cual podía llegar el proyecto, puesto que nos impedía hacer una parte de control digna de un trabajo final de grado.

La «RuedaBoquillas», también tuvo modificaciones importantes desde la fase de bocetado hasta el diseño final que imprimimos, en un principio como se aprecia en la «Figura 5.1. Bocetado de la idea inicial. (Elaboración propia, 2020)». Iba a tener una superficie compacta con tuberías en su interior por las cuales saldría el aire para crear las pompas, esto fue descartado en la fase de diseño por la complejidad a la hora de realizar dicho diseño, aunque también motivado por la cantidad de horas y material que hacían falta para imprimir una pieza que variando su diseño podría ser más eficiente.

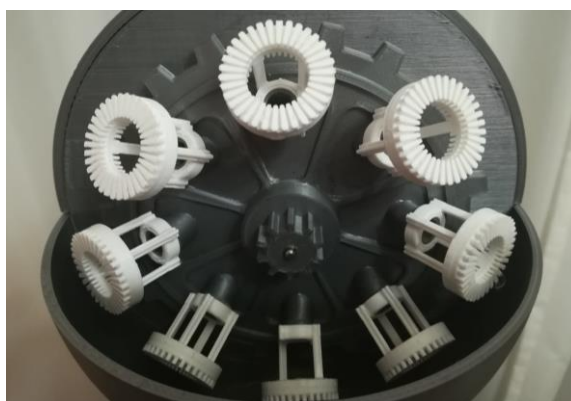


Figura 5.3. Pieza «RuedaBoquillas» con los «Pompiteros» acoplados. (Elaboración propia, 2020)

Finalmente optamos por realizar un diseño plano con poco gasto de material que acoplase con una pieza que retuviese el jabón y fuese hueca para que el aire del soplador al pasar por dentro realizase la pompa. Esta pieza la hemos denominado «Pompitero», el diseño es una modificación de la pieza que tiene la misma función del juguete que compramos, al cual le extrajimos el soplador.

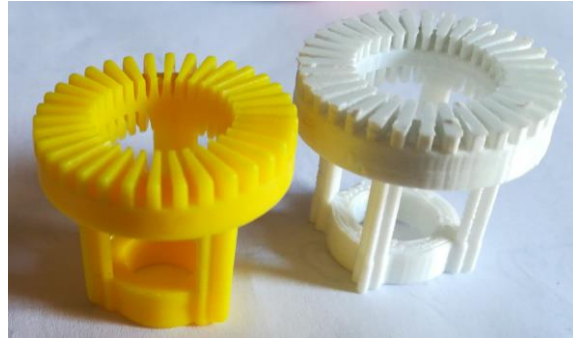


Figura 5.4. Pieza original (izquierda) y nuestro «Pompitero» (derecha). (Elaboración propia, 2020)

El diseño original consta de tres columnas que le aportan rigidez a la pieza inyectada en plástico, puesto que nuestro material (PLA), es más débil que la inyección en plástico habitual en este tipo de juguetes, nos vimos obligados a modificar el diseño y reforzarlo con una cuarta columna para aportarle mayor resistencia al uso que se le iba a dar. Las ranuras en la parte circular superior están especialmente diseñadas para la retención de la sustancia jabonosa, haciendo muy eficiente la retención y transporte del jabón hacia el soplador. Debido a las irregularidades de la impresión 3D, no todas las piezas cumplen de la misma forma dicha función.

El diseño de la pieza principal fue el más costoso pues es la pieza más grande. Al contener el material electrónico como son los dos motores, el soplador y la reducción, el recipiente del jabón y los distintos agujeros para acoplar las piezas. Las mediciones del diseño de la pieza y de los componentes eran críticas, pues un fallo en el diseño y un mal acople de los componentes suponía un retraso significativo en el desarrollo del proyecto a la vez que un gasto ingente de material de impresión.



Figura 5.5. Diseño de la pieza principal del proyecto. (Elaboración propia, 2020)

En conjunción con la pieza principal, desarrollamos un soporte para el motor del soplador, este diseño no fue introducido en la pieza principal por la dificultad a la hora de trabajar con planos añadidos en las vistas del diseño y para poder extraer el motor con mayor facilidad, otro motivo era no incrementar el tiempo de impresión de la pieza principal que, en caso de error, repetirla suponía un tiempo de 25 horas de impresión. Para la reducción del motor encargado de la rotación de la «RuedaBoquillas» sí que diseñamos un soporte dentro de la pieza principal, dotándolo de agujeros que coinciden a la perfección con los mismos de la reducción, haciendo que su sujeción sea la adecuada como se puede observar en la «Figura 5.5. Diseño de la pieza principal del proyecto. (Elaboración propia, 2020)».

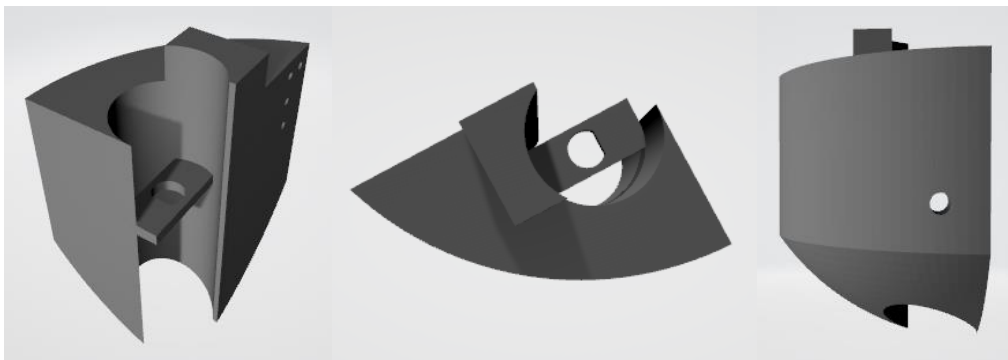


Figura 5.6. Diseño del soporte para el motor del soplador. (Elaboración propia, 2020)

Una vez diseñado e impreso por completo el «Pompinator», nos hemos centrado en la programación de la placa *Arduino*. El código debe permitirnos obtener todas las funcionalidades que queremos del prototipo, variando las velocidades a las que funciona el motor de la «RuedaBoquillas» modificamos el número de pompas que realizamos. A mayor velocidad incrementa el número total de pompas que la máquina es capaz de producir. Al mismo tiempo, obtener distintas velocidades del motor del soplador nos permite variar el tamaño de la pompa en curso. Cuanto mayor sea la velocidad del motor, mayor potencia tendrá el soplador y mayor cantidad de aire introducirá en la pompa aumentando su tamaño.

La implementación del código necesario para el prototipo la hemos realizado en la plataforma *Arduino*, puesto que este lenguaje está basado en C++, la implementación de dicho código no nos ha supuesto un aprendizaje exhaustivo previo. Como observamos en la figura posterior, en la primera línea incluimos la librería *SoftwareSerial.h* disponible en la plataforma *Arduino* para el control de dispositivos en serie, que nos permite la comunicación entre la placa *Elegoo UNO R3* y el módulo *BlueTooth HC-05*.

Pompinator. Diseño, impresión 3D y control de una máquina para hacer pompas

En la tercera línea declaramos los puertos dos y cuatro de la placa receptor y transmisor respectivamente, para la comunicación entre módulo y *Arduino*. De la línea seis a la 13 declaramos el resto de los puertos necesarios para el funcionamiento de los dos motores. Dentro del *setup* en la línea 18 inicializamos con *ModuloBT.begin(9600)* el valor en Baudios[12] que debe transmitir el módulo *BlueTooth* HC-05 a la placa. Obligatoriamente debe ser este valor, pues es el valor adecuado para iniciar la transmisión en *BlueTooth*. Además de las líneas 20 a la 25 inicializamos los parámetros declarados previamente como salidas. Esto se explica debido a que estamos haciendo uso del módulo HC-05 sólo como esclavo. La transmisión de los datos es unidireccional de la placa *Elegoo UNO R3* al módulo *BlueTooth*.

```

1  #include <SoftwareSerial.h> // Serial communication library
2
3  SoftwareSerial ModuloBT (2, 4); // Port_2 ==> RX, Port_4 ==> TX
4
5  // Motor A (RUEDA)
6  int ENA = 10;
7  int IN1 = 13;
8  int IN2 = 12;
9
10 // Motor B (VENTILADOR)
11 int ENB = 6;
12 int IN3 = 8;
13 int IN4 = 7;
14
15 void setup ()
16 {
17
18   ModuloBT.begin(9600);
19   // Declaramos los pines como salidas
20   pinMode (ENA, OUTPUT);
21   pinMode (ENB, OUTPUT);
22   pinMode (IN1, OUTPUT);
23   pinMode (IN2, OUTPUT);
24   pinMode (IN3, OUTPUT);
25   pinMode (IN4, OUTPUT);
26 }
27
28 void VentiladorBaja ()
29 {
30   //Direccion Motor B
31   digitalWrite (IN3, HIGH);
32   digitalWrite (IN4, LOW);
33   analogWrite (ENB, 190); //Velocidad Motor B
34 }
35
36 void VentiladorMedia ()
37 {
38   //Direccion Motor B
39   digitalWrite (IN3, HIGH);
40   digitalWrite (IN4, LOW);
41   analogWrite (ENB, 215); //Velocidad Motor B
42 }
43
44 void VentiladorAlta ()
45 {
46   //Direccion Motor B
47   digitalWrite (IN3, HIGH);
48   digitalWrite (IN4, LOW);
49   analogWrite (ENB, 255); //Velocidad Motor B
50 }
51
52 void RuedaBaja ()
53 {
54   //Direccion Motor A
55   digitalWrite (IN1, LOW);
56   digitalWrite (IN2, HIGH);
57   analogWrite (ENA, 120); //Velocidad Motor A
58 }
59
60 void RuedaMedia ()
61 {
62   //Direccion Motor A
63   digitalWrite (IN1, LOW);
64   digitalWrite (IN2, HIGH);
65   analogWrite (ENA, 160); //Velocidad Motor A
66 }
67

```

Figura 5.7. Primera captura del código de control del «Pompinator». (Elaboración propia, 2020)

Pompinator. Diseño, impresión 3D y control de una máquina para hacer pompas

Observamos tanto en la «Figura 5.7. Primera captura del código de control del «Pompinator». (Elaboración propia, 2020)». A partir de la línea 28, como en la «Figura 5.8. Segunda captura del código de control del «Pompinator». (Elaboración propia, 2020)». Hasta la línea 110, las distintas funciones que hemos realizado para el control del prototipo, en estas funciones observamos dos líneas de código comunes entre dichas funciones, *digitalWrite (puerto, potencia)* el primer valor que le pasamos al método es el puerto que queremos controlar en conjunto con el segundo valor que es la potencia inicial del motor. Hay dos valores posibles de potencia *HIGH* (alta) o *LOW* (baja), los puertos IN1 e IN2 pertenecen al control del motor de la «RuedaBoquillas», y los puertos IN3 e IN4 al control del soplador. Estos puertos obligatoriamente deben coincidir con los puertos digitales de la placa.

El segundo método es el *analogWrite (puerto, potencia)* este caso es diferente al método anterior, pues debe coincidir con un pin analógico de la placa. Los puertos ENA («RuedaBoquillas») y ENB (soplador) son los puertos de habilitación de los motores. El valor de la potencia al ser un pin analógico debe ser un valor entero entre cero y 255, modificando este último valor conseguimos imprimirle más o menos potencia al motor, dependiendo de la función que hayamos programado.

A los métodos anteriores se les llama en la función *loop()* desde la línea 112 hasta la línea 161 de la «Figura 5.9. Tercera captura del código de control del «Pompinator». (Elaboración propia, 2020)». Mediante la aplicación de *BlueTooth Serial Controller* pulsando los botones de la interfaz enviamos a la placa un valor entre cero y nueve a través del módulo HC-05 con los puertos dos (RX) y cuatro (TX). Recibimos el valor enviado por la aplicación *BlueTooth*, y mediante un *case* seleccionamos la función deseada en el momento con un retardo de un segundo.

```

68 void RuedaAlta ()
69 {
70     //Direccion Motor A
71     digitalWrite (IN1, LOW);
72     digitalWrite (IN2, HIGH);
73     analogWrite (ENA, 255); //Velocidad Motor A
74 }
75
76 void RuedaAtras ()
77 {
78     //Direccion Motor A
79     digitalWrite (IN1, HIGH);
80     digitalWrite (IN2, LOW);
81     analogWrite (ENA, 180); //Velocidad Motor A
82 }
83
84 void PararRueda ()
85 {
86     //Direccion Motor A
87     digitalWrite (IN1, LOW);
88     digitalWrite (IN2, LOW);
89     analogWrite (ENA, 0); //Velocidad Motor A
90 }
91
92 void PararVentilador ()
93 {
94     //Direccion Motor B
95     digitalWrite (IN3, LOW);
96     digitalWrite (IN4, LOW);
97     analogWrite (ENB, 0); //Velocidad Motor B
98 }
99
100 void PararTodo ()
101 {
102     //Direccion Motor A
103     digitalWrite (IN1, LOW);
104     digitalWrite (IN2, LOW);
105     analogWrite (ENA, 0); //Velocidad Motor A
106     //Direccion Motor B
107     digitalWrite (IN3, LOW);
108     digitalWrite (IN4, LOW);
109     analogWrite (ENB, 0); //Velocidad Motor A
110 }
111
112 void loop ()
113 {
114     int dato;
115     if(ModuloBT.available() > 0) {
116         dato = ModuloBT.read();
117         Serial.write(dato);
118         switch (dato) {
119             case '0': // OFF TODO
120                 PararTodo ();
121                 ModuloBT.println("0");
122                 break;
123             case '1': // OFF RUEDA
124                 PararRueda ();
125                 ModuloBT.println("1");
126                 break;
127             case '2': // OFF VENTILADOR
128                 PararVentilador ();
129                 ModuloBT.println("2");
130                 break;
131             case '3': // Ventilador BAJA
132                 VentiladorBaja ();
133                 ModuloBT.println("3");
134                 break;

```

Figura 5.8. Segunda captura del código de control del «Pompinator». (Elaboración propia, 2020)

```
135     case '4': // Ventilador MEDIA
136     VentiladorMedia ();
137     ModuloBT.println("4");
138     break;
139     case '5': // Ventilador ALTA
140     VentiladorAlta ();
141     ModuloBT.println("5");
142     break;
143     case '6': // Rueda BAJA
144     RuedaBaja ();
145     ModuloBT.println("6");
146     break;
147     case '7': // Rueda MEDIA
148     RuedaMedia ();
149     ModuloBT.println("7");
150     break;
151     case '8': // Rueda ALTA
152     RuedaAlta ();
153     ModuloBT.println("8");
154     break;
155     case '9': // Rueda ATRAS
156     RuedaAtras ();
157     ModuloBT.println("9");
158     break;
159 }
160 }
161 }
162 }
```

Figura 5.9. Tercera captura del código de control del «Pompinator». (Elaboración propia, 2020)

6. Implantación

Para el desarrollo de la circuitería utilizada en el proyecto hemos utilizado los componentes mencionados en el apartado «4.3 Tecnología utilizada». En el diagrama siguiente aparecen los componentes imprescindibles en el circuito, pero falta el cable USB que conecta la placa al PC y el transformador que aporta potencia extra a la placa *Arduino* para su correcto funcionamiento. Queremos aportar un dato adicional, el módulo *BlueTooth* HC-05 está conectado al pin VCC de la placa 3'3V, pues para funcionar dicho módulo tiene una tensión de entrada inferior a 5V, si lo conectamos al pin de 5V que es la conexión habitual de los componentes de *Arduino*, no funciona como es debido y la comunicación *BlueTooth* es inadecuada.

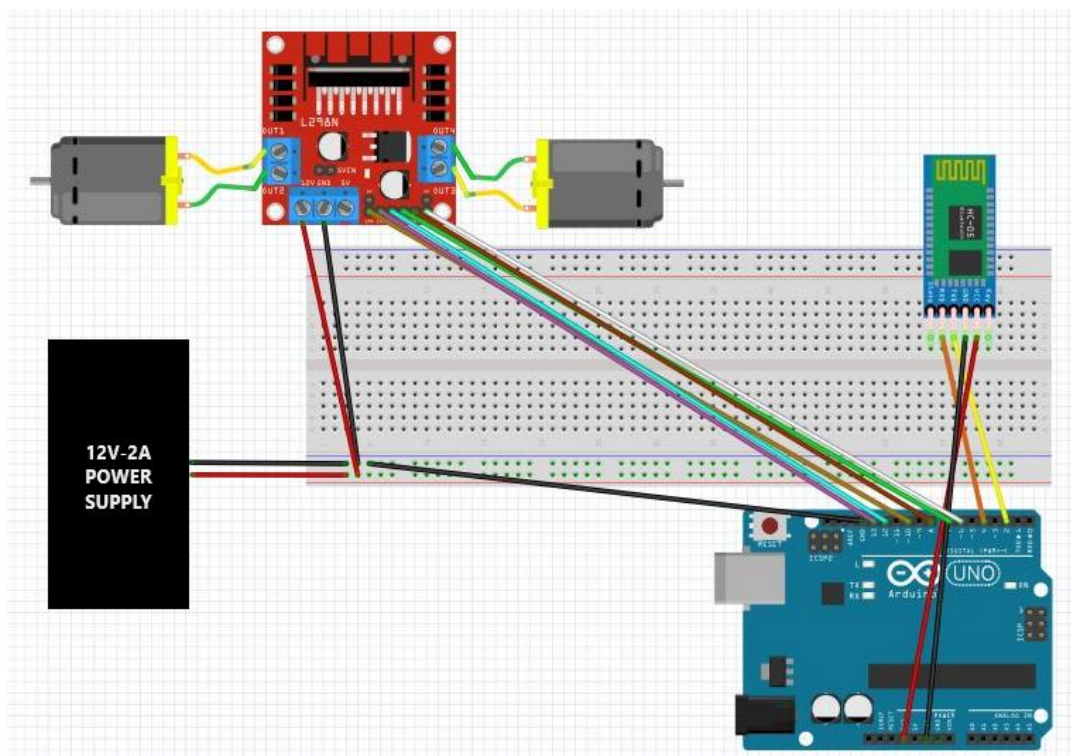


Figura 6.1. Diagrama del circuito utilizado en el proyecto. (Elaboración propia, 2020)

Pompinator. Diseño, impresión 3D y control de una máquina para hacer pompas

Las conexiones de los pines de la placa con los componentes del circuito coinciden con la implementación de la programación explicada en la sección «5. Desarrollo de la solución propuesta». Los puertos declarados e inicializados en la programación deben ser los mismos que hemos utilizado en la parte física del circuito, de lo contrario no funcionaría el prototipo. El desarrollo del circuito ha requerido de un estudio de los componentes adecuados para la parte de control del proyecto y a su vez de una conexión adecuada para no dañar o alterar el funcionamiento de este.

En el diagrama anterior se ven los dos motores de corriente continua conectados al controlador L298N, al mismo tiempo que dicho controlador conecta cable a cable con los puertos específicos de la placa *Arduino*. El módulo *BlueTooth* HC-05 no tiene conexión directa con el controlador, pues la placa se encarga de enviar las señales que recibe del dispositivo móvil a través de dicho módulo al controlador mencionado anteriormente, haciendo variar la potencia de los motores por separado.

Para llegar al bloque de control previamente hemos tenido que finalizar los bloques de diseño e impresión 3D, al realizar estos bloques también hemos tenido una fase de montaje y modificación de piezas conforme íbamos imprimiendo los diseños, como observamos en la «Figura 6.2. Proceso de impresión de las piezas del prototipo. (Elaboración propia, 2020)».

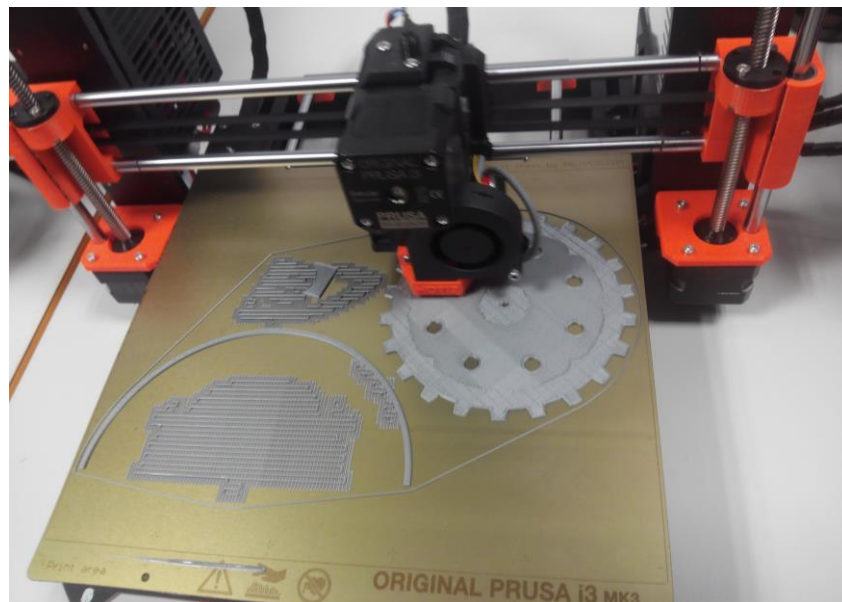


Figura 6.2. Proceso de impresión de las piezas del prototipo. (Elaboración propia, 2020)

La impresión se realizaba en un laboratorio cerrado al público, con consentimiento de los técnicos de laboratorio se dejaba la impresora toda la noche imprimiendo las piezas más costosas y al día siguiente se recogían dichas piezas, a falta de realizar los procesos de lijado y eliminación del material sobrante mencionado previamente en la sección «3.3.2 Impresión». A la hora de despegar las piezas de la base debíamos ir con mucho cuidado, pues al calentarse la base para mejorar la adhesión de la pieza en el proceso de impresión, las piezas se quedan pegadas y con una cuchilla en un extremo hay que ir despegando una a una las piezas sin dañarlas.



Figura 6.3. Proceso de impresión de las piezas del prototipo. (Elaboración propia, 2020)

Mencionado anteriormente en el apartado «1.2 Objetivos» y reflejado en la «Figura 4.1. Fases del proyecto. (Elaboración propia, 2020)», el diseño de las distintas piezas con la impresión de estas se ha llevado a cabo en paralelo, pues para saber la resistencia de piezas críticas del proyecto como son los módulos que varían la altura de la pieza principal («PalitoMH», «PalitoMM» y «PalitoCortito»), que varían la altura de la pieza principal, había que imprimir una para ver si resistía el peso y daba buena estabilidad al prototipo. En la sección «7. Pruebas» ampliaremos esta parte.

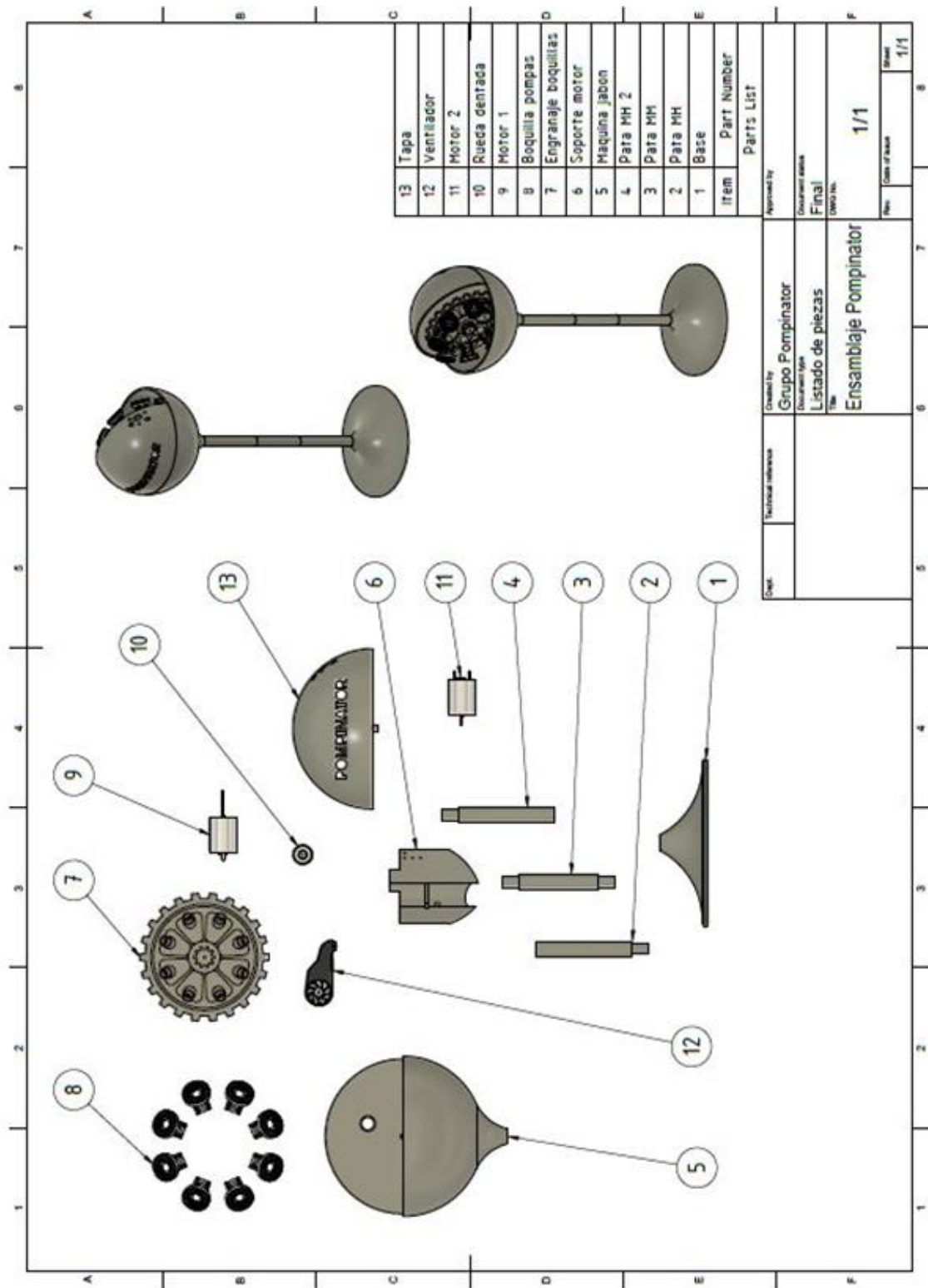


Figura 6.4. Diagrama de ensamblaje del «Pompinator». (Elaboración propia, 2020)

7. Pruebas

7.1 Pruebas de impresión

La realización de las pruebas previas al montaje definitivo del prototipo fue una parte clave para su desarrollo, supuso la modificación de algunas piezas diseñadas previamente. Esto produjo un avance en el proyecto al confirmar la dureza suficiente del material PLA y no tener que buscar alternativas para llevar a cabo la impresión del prototipo con otro filamento de mayor dureza.

Las pruebas de impresión de piezas como el «PalitoMH», nos permitieron modificar las dimensiones de los acoples con respecto a la base y a la pieza principal, en un primer momento dejamos la misma medida de diámetro interior del acople de la base o pieza principal que el diámetro exterior del «PalitoMH», este defecto en el diseño que lo realizamos con intención de que el acople no tuviese juego y quedase fuerte, impedía que las piezas quedasen bien acopladas, tuvimos que lijar bastante la pieza para corregir el diseño y poder aprovecharla para el proyecto, pero nos permitió modificar el diseño para que los siguientes módulos acoplasen a la perfección.

También tuvimos problemas con el diseño del «Pompitero», al tomar como referencia el diseño de la pieza original de juguete comprada, como explicamos en la sección «5. Desarrollo de la solución propuesta». Observamos la diferencia de columnas de los dos diseños en la «Figura 7.1. Pieza original (izquierda) y nuestro «Pompitero» (derecha). (Elaboración propia, 2020)». Esta modificación se produjo a raíz de imprimir el diseño original, en la prueba de ensamblado que hicimos se nos rompió la pieza, el material PLA utilizado para la impresión 3D del prototipo no es tan resistente como el plástico inyectado y esto produjo la rotura de la pieza, con la posterior modificación en su diseño.

Queremos matizar que en la mayoría de los diseños de las piezas utilizadas para el «Pompinator» no ha sido necesaria ninguna modificación tras la impresión. Esto es la confirmación del trabajo bien hecho y una toma de mediciones correcta.

7.2 Pruebas de control

Previamente al control de los dos motores probamos a controlar uno sólo con la placa *Arduino*, tras varias pruebas de programación y control con un solo motor y la aplicación *BlueTooth Serial Controller* adquiriendo experiencia en el manejo de todos los componentes, implantamos el segundo motor en el circuito y ampliamos el código para el control del segundo motor, tras varias pruebas con conexiones distintas del circuito y varios componentes del *Super Starter Kit Elegoo UNO R3*, como un Relé de 5V, un chip L293D, un transistor NPN PN2222 y resistencias varias. Nos dimos cuenta de que con los componentes que teníamos a nuestra disposición no podíamos controlar dos motores a la vez individualmente.

En este punto del desarrollo del proyecto fue cuando empezamos a investigar posibles soluciones al control de dos motores por parte de la placa *Arduino*. Las distintas investigaciones realizadas nos llevaron a un solo componente necesario, el controlador L298N orientado al mundo de la robótica, como explicamos en el apartado «3.2 Identificación y análisis de soluciones posibles». Con este controlador en nuestra posesión pudimos avanzar en el manejo de los dos motores. Aunque en un primer momento empezamos alimentando este controlador con una pila seca de 9V, esta pila no aportaba suficiente intensidad al circuito, haciendo imposible que el motor del soplador tuviese una potencia mínima para generar pompas. Esto se solucionó conectando un transformador de 12V y 2A al controlador L298N, aportando la potencia necesaria a los dos motores.

Una vez tuvimos el circuito montado con todos los componentes necesarios conectados, y tras varias pruebas de potencia de los motores para determinar el valor idóneo para cada nivel de velocidad necesario para la interfaz de la aplicación *Bluetooth*. Nos dispusimos a hacer modificaciones en la programación, implementando más funciones para ampliar la funcionalidad del prototipo.

Como en el bloque de impresión, la realización de pruebas nos ayudó a afianzar la idea del proyecto, adquirir experiencia en su manejo y tener la seguridad de que el desarrollo del trabajo iba bien encaminado.

8. Conclusiones

Tras la realización del proyecto que hemos llevado a cabo para el trabajo final de grado de la ETSINF, concluimos que el prototipo desarrollado para este propósito cumple con los objetivos establecidos en el apartado «1.2 Objetivos». Diseñado, impreso, ensamblado y controlado vía *BlueTooth*. Este hecho nos hace estar orgullosos, satisfechos del trabajo realizado y del tiempo empleado para ello. Adquiriendo una experiencia en *Arduino* y en el diseño e impresión 3D con la que no contábamos previamente.

El resultado del proyecto demuestra que hemos sabido introducir los conocimientos adquiridos durante el grado universitario, gestionando correctamente los problemas que han ido surgiendo, administrando los tiempos de cada bloque del proyecto y tratando con nuevas tecnologías nunca vistas por nuestra parte, como son las placas y plataformas *Arduino* y nuestra introducción al universo 3D con un recorrido previo muy escueto. A su vez hemos adquirido experiencia en la gestión de proyectos de un cierto volumen de trabajo y hemos comenzado un esperemos que largo camino en el mundo de la ingeniería.

Como en cualquier aspecto de la vida, hemos cometido errores que afortunadamente se han podido subsanar. El diseño de las piezas no fue nada sencillo, teniendo que modificar y mejorar levemente algún diseño, la impresión 3D que aparentemente no requiere de intervención humana, tampoco fue fácil, pues hubo que preparar y acoplar las piezas para su cometido. En el desarrollo del circuito eléctrico hemos realizado varias modificaciones inesperadas para hacer posible su funcionamiento, tras todos estos contratiempos queremos mencionar que el prototipo cuenta con todas las funcionalidades previamente especificadas.

Sin embargo, se pueden mejorar algunos aspectos tanto del diseño como del control para hacer del «Pompinator» un juguete totalmente operativo para los más pequeños. Este hecho esperemos que o bien en un trabajo futuro, o algún estudiante con conocimientos suficientes, sea capaz de mejorarlo.

8.1 Relación del trabajo desarrollado con los estudios cursados

Hemos logrado relacionar el mundo tridimensional con los conceptos aprendidos durante el grado, pudiendo introducir material electrónico en el desarrollo del proyecto, dando lugar a un aprendizaje por nuestra parte de conceptos que se nos habían quedado poco tratados durante la carrera.

El bloque de control requería de conocimientos previos de *hardware*, los cuales nos fueron muy útiles, estos conocimientos los adquirimos cursando las asignaturas de «Tecnología de computadores» de primer curso, «Estructura de computadores» de segundo curso, «Arquitectura e Ingeniería de computadores» de tercer curso y por último «Arquitecturas avanzadas» de cuarto curso. Para la programación de la placa *Arduino* incluido dentro del bloque de control, aplicamos los conocimientos previos en la parte *software* de la carrera, encuadrados en las asignaturas de «Introducción a la informática y a la programación» de primer curso, «Programación» de primer curso, «Estructura de datos y algoritmos» de segundo curso e «Ingeniería del *software*» de tercer curso.

Para los bloques de Diseño e Impresión 3D, específicamente dentro de las asignaturas de grado no hay ninguna asignatura como tal. Contamos con dos asignaturas optativas del segundo semestre de cuarto curso para suplir o complementar las prácticas en empresa como mencionamos en el apartado «1.1 Motivación». Estas asignaturas son «Diseño y fabricación 3D e Impresión 3D», si bien no se llega a profundizar mucho en estas asignaturas sobre el mundo tridimensional debido al escaso tiempo que contamos para cursarlas, son un incentivo para emprender por uno mismo un viaje apasionante.

9. Trabajos futuros

Es una posibilidad de futuro patentar el prototipo e intentar proponerlo a jugueterías con intención de aumentar la funcionalidad y diseñar los componentes específicos para el interior sin necesidad de acoplar unos comprados por separado. Esto podría mejorar el funcionamiento, estética o fiabilidad del producto final. Teniendo en cuenta los estándares de seguridad de la Unión Europea con respecto a los productos de juguetería.

A su vez se pueden añadir funcionalidades al prototipo como por ejemplo luz en el interior de la pieza principal, o tintes de colores para elegir también la combinación de colores deseada para las pompas de jabón. Estas propuestas requieren una modificación del diseño central para almacenar distintos tintes en el interior de la pieza principal. Y la realización de un análisis de seguridad para implantar luz en el interior de la máquina.

10. Referencias

[1] WIKIPEDIA (5 mayo 2020). Pompas de jabón.

Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Pompa_de_jab%C3%B3n

[2] MIS POMPAS DE JABÓN (20 agosto 2020).

Disponible en: <https://mispompasdejabon.com/theefun-maquina-burbujas/>

[3] PERENNE, SAGAZ. Como hacer una máquina de burbujas de jabón o pompa de jabón casera (3 septiembre 2017).

Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=7xt1CRLdcC8>

[4] BOURABAH, JENNIFER. All3DP. PLA vs ABS: comparación de filamentos para impresión 3D (24 febrero 2020).

Disponible en: <https://all3dp.com/es/1/pla-vs-abs-comparacion-impresion-3d/>

[5] ELEGOO. Conjunto medio de iniciación compatible con Arduino IDE (20 agosto 2020).

Disponible en: <https://www.elegoo.com/product/elegoo-uno-project-super-starter-kit/>

[6] JECRESPOM. Aprendiendo Arduino (13 noviembre 2016).

Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/hc-05/>

[7] PRUSA, JOSEF. PRUSA RESEARCH. Prusa I3 MK3 3D printer (20 agosto 2020).

Disponible en: <https://www.prusa3d.es/original-prusa-i3-mk3-spa/>

[8] BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Ministerio de trabajo, migraciones y seguridad social. Sección III. Otras disposiciones (18 octubre 2019).

Disponible en: [https://www.boe.es/eli/es/res/2019/10/07/\(8\)/dof/spa/pdf](https://www.boe.es/eli/es/res/2019/10/07/(8)/dof/spa/pdf)

[9] RODRÍGUEZ ESPINOZA, ENCARNACIÓN INMACULADA. Docplayer. Tutorial Onshape (agosto 2018).

Disponible en: <https://docplayer.es/82469004-Indice-tutorial-onshape.html>

[10] RUÍZ GUTIÉRREZ, JOSÉ MANUEL. Manual de programación Arduino (agosto 2007).
Disponible en: <https://arduinoobot.pbworks.com/f/Manual+Programacion+Arduino.pdf>

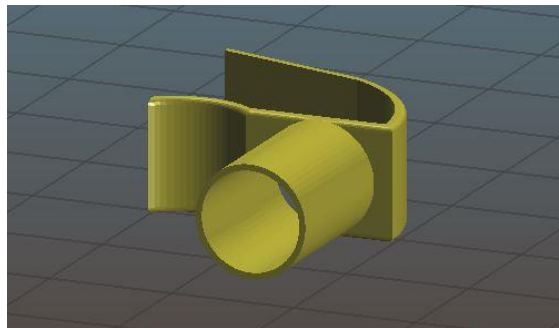
[11] ARDUINO. Arduino 1.8.13 IDE (23 julio 2020).
Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

[12] WIKIPEDIA. Baudio (11 julio 2019).
Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Baudio>

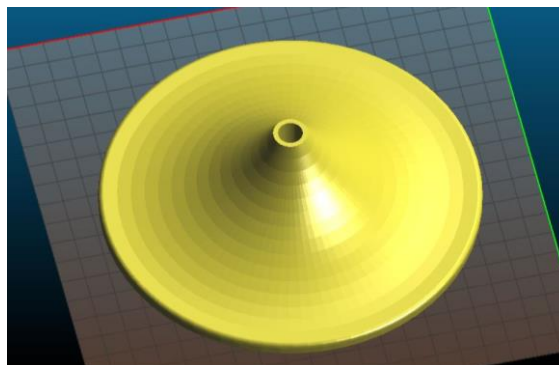
Anejos

Anejo 1. Descripción de los diseños realizados

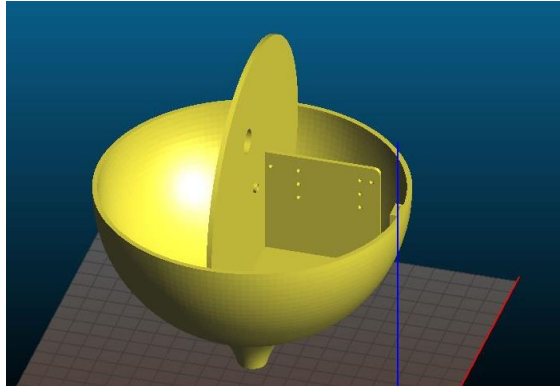
El total de piezas diseñadas con el CAD *Onshape* ha sido de 12. Los diseños los incluimos a continuación con el nombre que le hemos dado a cada uno y una breve explicación de su funcionamiento dentro del prototipo, las piezas más relevantes se mencionan a lo largo del trabajo.



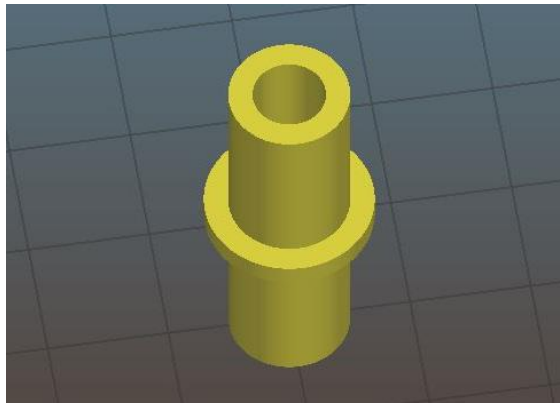
«Aireador», esta pieza va en el interior del soplador que hemos extraído del juguete de pompas de jabón, se encarga de redirigir el aire en conjunto con el «Tapón».



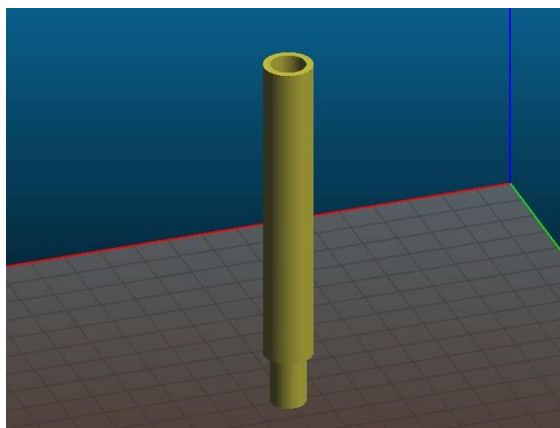
«Base», esta pieza se encarga de darle un punto de apoyo y estabilidad al prototipo, va ensamblada con las piezas «PalitoCortito», «PalitoMH» y «PalitoMM».



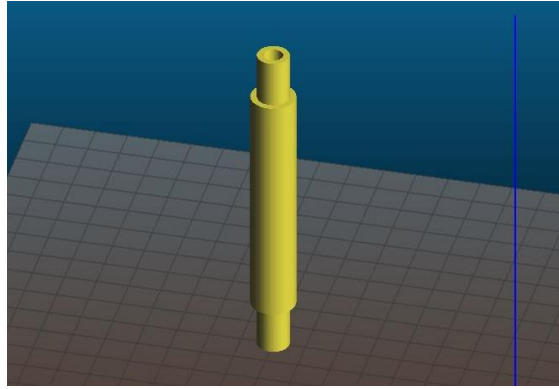
«MaquinaJabon», en el trabajo la denominamos pieza principal. Es la pieza a partir de la cual se ha desarrollado todo el proyecto.



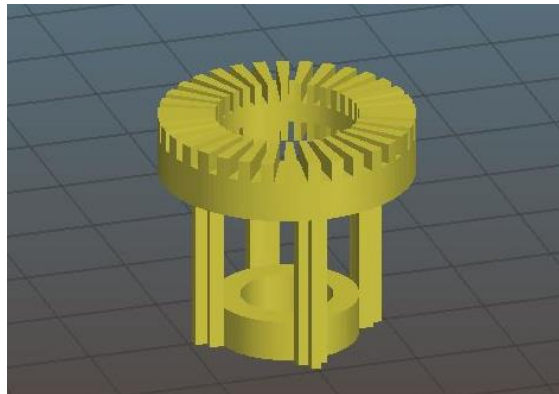
«PalitoCortito», esta pieza es un acople que le da muy poca altura a la «MaquinaJabon», se ha diseñado con la intención de ser el acople para el transporte del prototipo.



«PalitoMH», es uno de los acoples para variar la altura del «Pompinator». En conjunto con «PalitoMM».



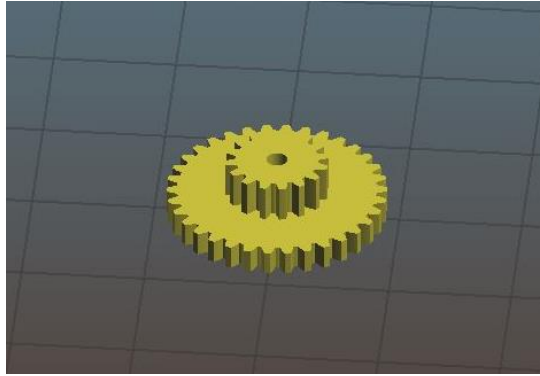
«PalitoMM», es uno de los acoples para variar la altura del «Pompinator». En conjunto con «PalitoMH».



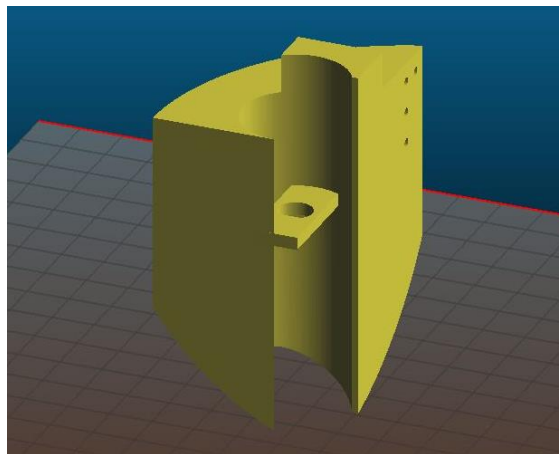
«Pompitero», es una de las piezas más importantes del prototipo, mencionada a lo largo del trabajo, se encarga de transportar el jabón al soplador. Va acoplada en la pieza «RuedaBoquillas».



«RuedaBoquillas», en conjunto con el «Pompitero» se encarga de transportar el jabón el soplador, es la pieza controlada por uno de los dos motores.



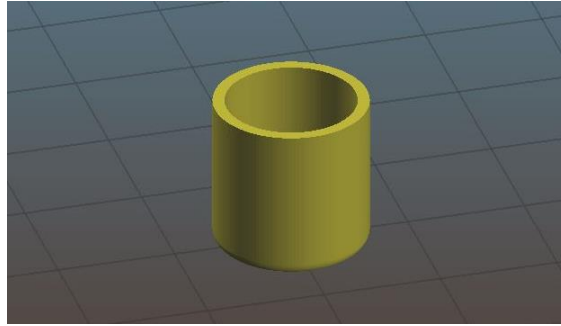
«RuedaDentada», es el engranaje diseñado para motorizar el soplador y sustituir el gatillo que inicialmente controlaba la potencia del soplador.



«SoporteMotor», una de las piezas más complejas de diseñar, se encarga de soportar el motor que controla el soplador de aire. Va en el interior de la «MaquinaJabon».



«Tapa», es la pieza que protege los componentes electrónicos de la «MaquinaJabon», a su vez otorga un diseño elegante al prototipo.

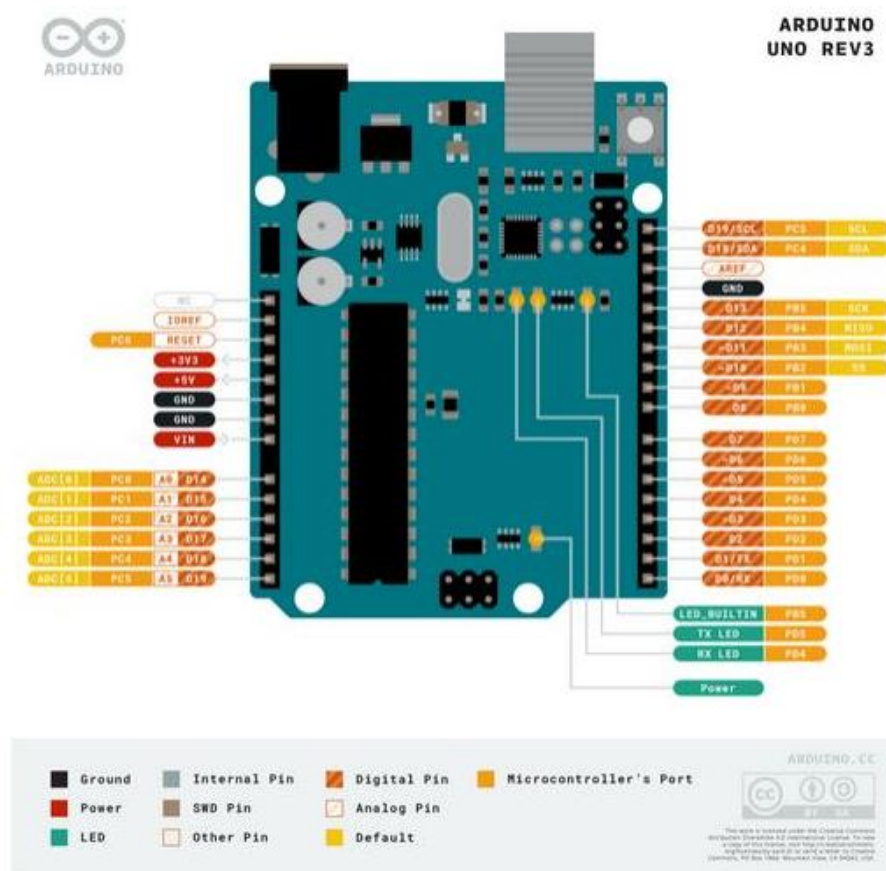


«Tapón», es la pieza que tapa la salida de aire original del soplador y conjunto con el «Aireador», redirigen la salida de aire.

Anejo 2. Descripción de los elementos no impresos utilizados

Los elementos externos utilizados en el prototipo nos han sido vitales para el desarrollo y finalización del proyecto, dichos elementos como veremos en este anejo van desde la placa *Arduino* utilizada, hasta la sustancia jabonosa empleada para la creación de pompas.

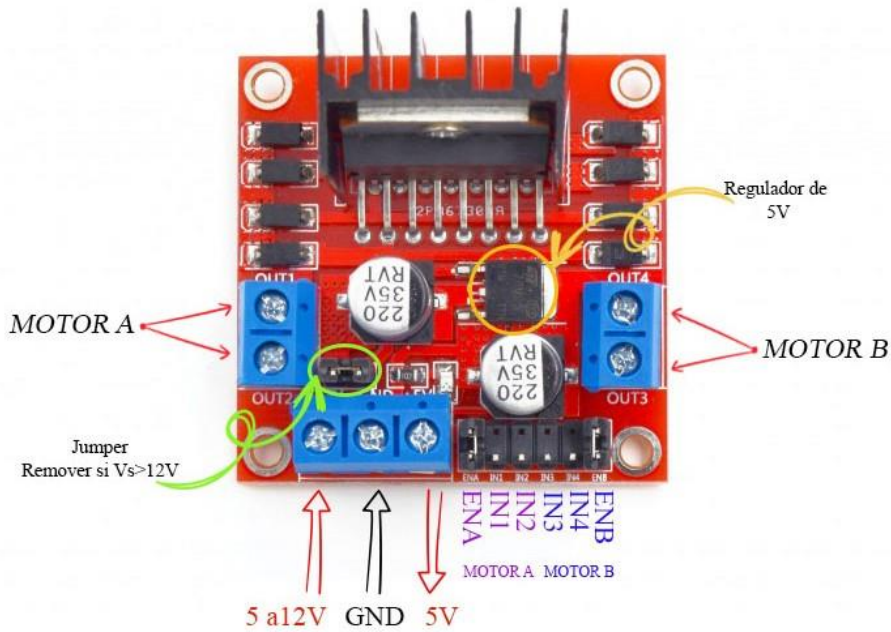
Pinout Diagram



En este diagrama podemos observar los distintos pines con los que cuenta la placa *Arduino UNO REV 3*, en nuestro caso la placa que hemos utilizado es *ELEGOO UNO R3*, pero es idéntica en cuanto a dimensiones y pines.

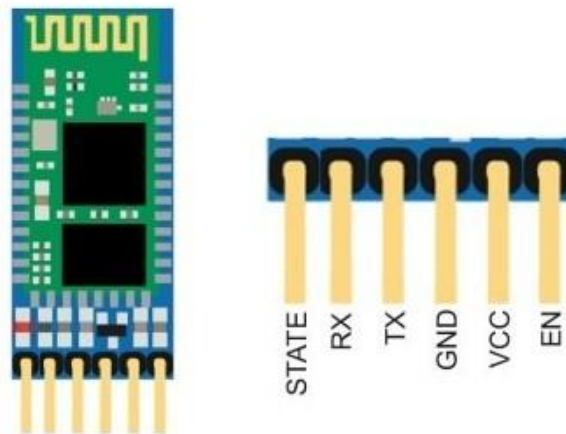


DRIVER L298N DIAGRAM

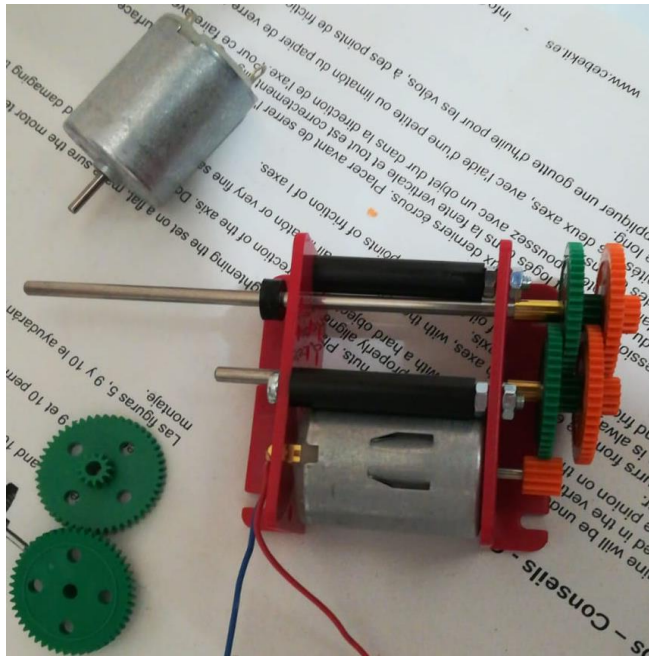


El controlador L298N es el componente utilizado para el control independiente de los dos motores del «Pompinator».

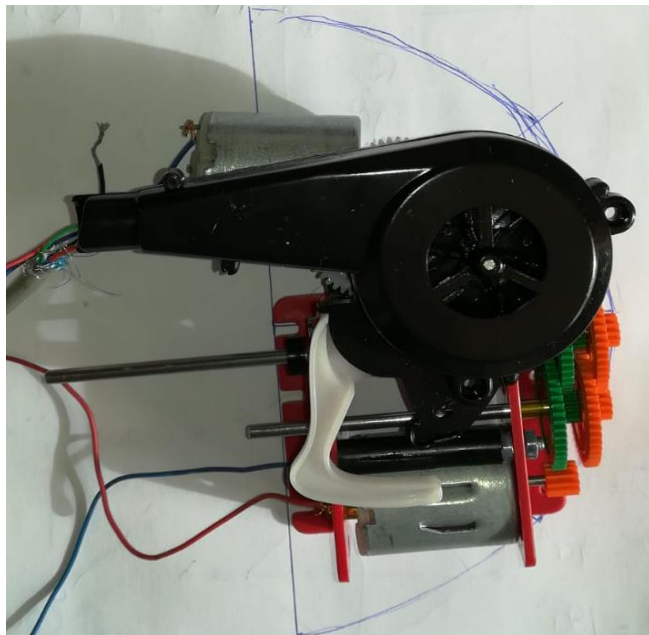
HC-05 CONEXION DIAGRAM



En este diagrama del módulo *BlueTooth* HC-05 se muestran las seis conexiones con las que cuenta dicho módulo, como hemos explicado en el apartado «3.2 Identificación y análisis de soluciones posibles», nosotros sólo hemos utilizado las cuatro conexiones de en medio. Dejando sin conectar los pines STATE y EN.



En la imagen de arriba podemos apreciar los dos motores que hemos empleado en la motorización y control del prototipo. El motor que va acoplado en la reducción se encarga de mover la pieza «RuedaBoquillas», el otro motor se encarga del movimiento del soplador.



En esta imagen se muestra un boceto inicial de las dimensiones de la pieza principal dibujada a bolígrafo en un folio, y una primera toma de contacto con los componentes que necesariamente van en su interior. Podemos apreciar el soplador aun en su forma original, sin las modificaciones realizadas posteriormente.



En esta imagen se muestran las distintas sustancias jabonosas que hemos ido probando a lo largo del desarrollo del prototipo. Con la que mayor número de pompas hemos logrado ha sido con el jabón del recipiente más grande.