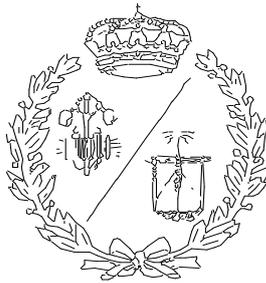


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

**Impresión de chocolate en 3D con brazo
robótico**

3D chocolate printing with robotic arm

Para acceder al Título de

GRADUADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: Marcos Pelayo Amigo

08 – 2022

Índice

1. RESUMEN	3
2. MOTIVACIÓN	3
3. ESTADO DEL ARTE.....	17
4. REQUISITOS	29
5. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO	30
6. DESPIECE	33
7. CIRCUITO AUTOMÁTICO	48
8. MOVIMIENTO DEL BRAZO ROBÓTICO.....	52
9. RETOS PARA EL FUTURO	59
9.1. PINTADO.....	59
9.2. LIMITACIONES DEL PROYECTO.....	61
10. ANEXO	62
10.1. TRATAMIENTO DEL MATERIAL A EXTRUIR	62
10.2. PROBLEMAS DE EXTRUSIÓN EN IMPRESORAS 3D	64
10.3. PROBLEMAS DE SINGULARIDAD EN BRAZOS ROBÓTICOS.....	74
10.4. ALTURA DE LÍQUIDO	80
10.5. ARCHIVOS “.gcode” y “.src”	82
11. BIBLIOGRAFÍA	84

1. RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad esbozar las líneas maestras de un diseño cuyo resultado sea un producto que sea capaz de imprimir chocolate en 3D mediante un brazo robótico.

En concreto, se construye el modelado de las piezas que lo componen y el diseño de los actuadores que gobiernan dichos componentes.

El objetivo es obtener una serie de mejoras respecto a los métodos de impresión de chocolate que se utilizan actualmente en los siguientes aspectos. Primero, una mejora de la gestión del proceso a escala industrial. Segundo, un tratamiento óptimo de la materia prima para obtener un chocolate de la mejor calidad. Por último, conseguir un resultado de alta precisión y buen acabado en la impresión 3D.

ABSTRACT

The purpose of this project is to outline the main lines of a design whose result is a product that is capable of printing chocolate in 3D using a robotic arm.

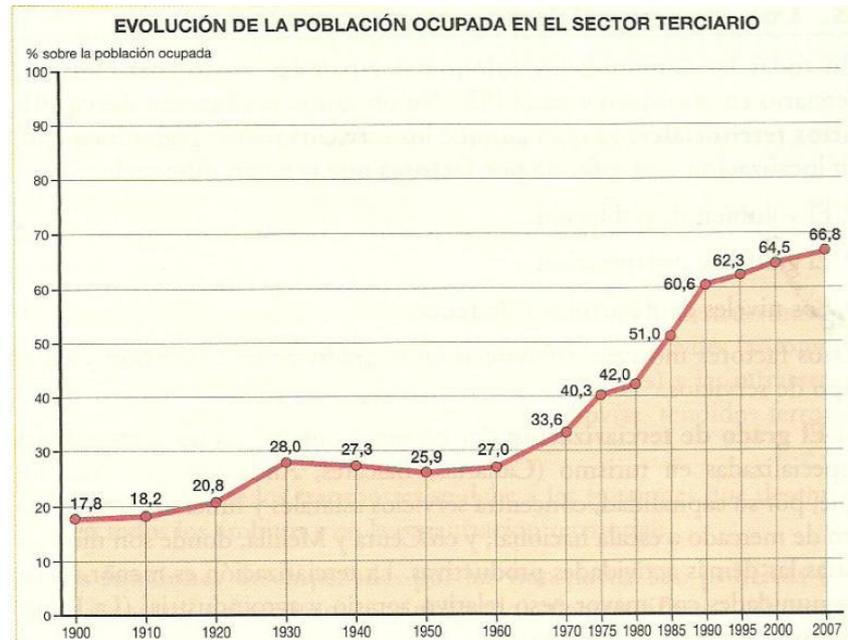
Specifically, the modelling of the parts that compose it and the design of the actuators that govern said components are built.

The objective is to obtain a series of improvements with respect to the chocolate printing methods that are currently used in the following aspects. First, an improvement in the management of the process on an industrial scale. Second, an optimal treatment of the raw material to obtain the best quality chocolate. Finally, to achieve a high-precision result and a good finish in 3D printing.

2. MOTIVACIÓN

Auge del sector terciario

Desde el comienzo de la revolución industrial, el incremento de la riqueza per cápita ha supuesto un aumento del nivel de vida del ser humano. Ello ha provocado que las necesidades más básicas como vivienda, vestido y comida se encuentren completamente cubiertas, dejando un excedente destinado a bienes ociosos [1]. Además, y de forma más intensa en el siglo XXI, cada vez más parte de la economía se ha dirigido al sector servicios: los sectores primario y secundario ya abastecen sobradamente al conjunto de la población y se buscan nuevas formas de negocio en el sector terciario [2]. Un ejemplo: en la fábrica de Martorell de Barcelona en 1950 se fabricaban 5 coches al día. En la actualidad se fabrican 2.300 coches diarios. Dicho de otra forma, en 3 minutos se consiguen fabricar los mismos coches que en 1950 en una jornada [3].



Porcentaje de la población sobre el total empleada en el sector terciario en España entre 1900 y 2007 [4].

Las actividades del sector servicios, que cada vez se encuentran más presentes en las economías desarrolladas [5], son:

- Transportes y almacenamiento.
- Comercio mayorista, minorista y franquicias.
- Movimientos de capital como banca y seguros. Abogados y gestorías. Innovación tecnológica en laboratorios de investigación e ingeniería.
- Comunicaciones como telefonía e Internet. Servicios a empresas como consultorías, publicidad, marketing.
- Información y entretenimiento audiovisual. Reparaciones de objetos y vehículos. Ocio como cine, teatro, bares y restaurantes. Centros deportivos. Servicios personales como peluquería, balnearios y masajes.
- Administración pública y servicios sociales como educación, sanidad, justicia y seguridad.
- Organizaciones No Gubernamentales, Fundaciones, Organizaciones No lucrativas y de Caridad [1] [6].

El presente trabajo tiene como objetivo ofrecer un servicio del sector terciario que, como anteriormente se ha demostrado, es un sector al alza en los países desarrollados.

Productos a medida

El sector servicios, que como hemos demostrado anteriormente está en auge, está continuamente reinventándose y están surgiendo nuevos y creativos negocios. El cuidado de niños y mayores, el cuidado de mascotas, servicios de guías turísticos y alquiler de habitaciones ofrecidos por Airbnb, animadores infantiles, preparación de todo tipo de eventos como fiestas, bodas, cumpleaños... Todos estos ejemplos de negocios que no podemos considerar que sean operados por grandes multinacionales o empresas cotizadas en bolsa, sino por pequeñas empresas o micro-empresas muy flexibles conforman una constelación de nuevos y atractivos servicios [7].

Un caso que se hizo tremendamente viral entre los jóvenes (principalmente la generación Z y X en las redes sociales Instagram y Twitter) y que da una prueba clara de hasta que punto puede llegar el sector servicios en la organización de eventos fue la celebración de los sucesivos cumpleaños de Stormi Webster, hija de Kylie Kardashian y Travis Scott, y apodada popularmente como “La Chubascos” o “La Tormentos”.

La influencer y madre de Stormi, perteneciente al clan de las Kardashian, Kylie Jenner, junto con su padre, Travis Scott, organizan cada año una fiesta de cumpleaños para su hija. Un evento que publicitan a través de sus redes sociales y al que acuden numerosos famosos, para el deleite de todos sus followers y la comunidad de redes sociales.

La fiesta incluye varias salas cada una con diferente temática e involucra un sinfín de servicios del sector terciario. Elementos de ambientación en cada una de las salas, hinchables personalizados, actores disfrazados de personajes infantiles, juegos, puestos de comida, repostería y chucherías, todo tipo de merchandaising personalizado... [8].



Hinchable y tarta personalizados en el 2º cumpleaños de Stormi Webster [9].



Tarta de cumpleaños del 3º cumpleaños de Stormi Webster [10].

Este tipo de eventos, aunque superficialmente puedan parecer anecdóticos y banales, no pueden pasar desapercibido en el estudio científico de la sociedad, pues estamos ante el fenómeno de los ‘influencers’, en el que millones de usuarios disfrutan del contenido creado por sus referentes y, como bien indica la palabra, “influyen” en su forma de pensar y actuar.

Muchos son los usuarios que envidian las celebraciones de cumpleaños de Stormi y prueba de ello dan los comentarios posteriores en redes sociales [11] [12] [13] [14] [15].



La usuaria de Twitter 'myriam' expresa su frustración al no poder tener una vida como la de Stormi Webster [11].

Productos y servicios dirigidos a personas de este poder adquisitivo, y menor, tienen un mercado creciente debido al aumento de la riqueza en los países desarrollados.

En las siguientes imágenes, se muestran la clasificación de ciudades y de regiones que más PIB per cápita poseen.

The top ten richest cities in the world based on private wealth include:

- New York, New York, United States
- London, England
- Tokyo, Japan
- Silicon Valley, California, United States
- Beijing, China
- Shanghai, China
- Los Angeles, California, United States
- Hong Kong, China
- Sydney, Australia
- Singapore

Clasificación de ciudades con mayores fortunas [16].

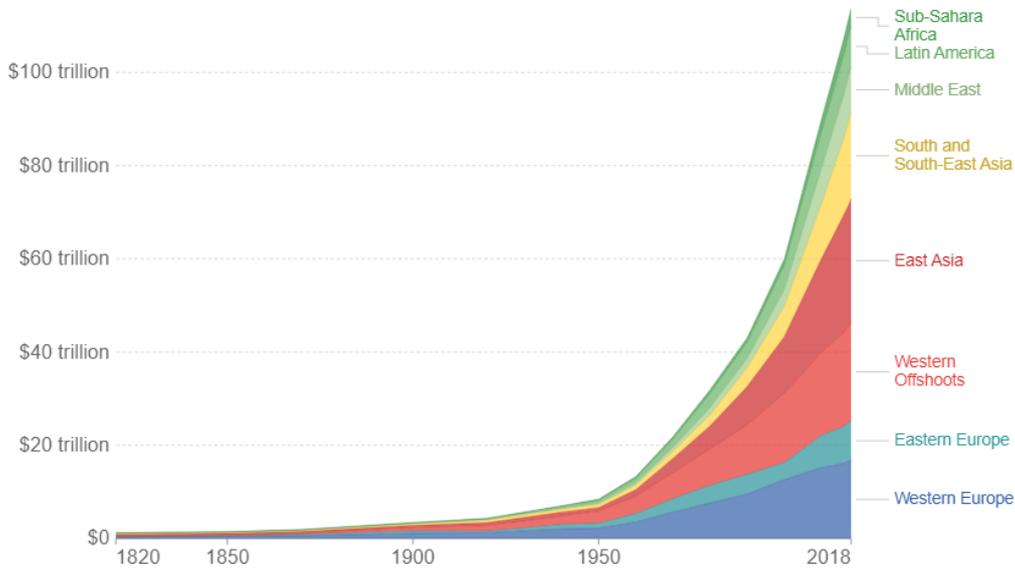
Country	Region code	Region	GDP (PPP) per capita (Int\$) ^[1]	Year
 Luxembourg	LU00	Luxembourg	102,136	2016
 Ireland	IE02	Southern and Eastern	85,924	2016
 United States	US11	District of Columbia	85,678	2016
 Canada	CA61	Northwest Territories	84,813	2016
 Germany	DE6	Hamburg	79,153	2016
 Belgium	BE1	Brussels Capital Region	78,687	2016
 Switzerland	CH04	Zurich	77,907	2015
 United States	US36	New York	75,970	2016
 United States	US10	Delaware	75,051	2016
 United States	US25	Massachusetts	74,250	2016
 United Kingdom	UKI	Greater London	74,202	2016
 Slovakia	SK01	Bratislava Region	72,953	2016
 United States	US09	Connecticut	72,675	2016
 Czech Republic	CZ01	Prague	72,047	2016
 Australia	AU7	Northern Territory (NT)	71,429	2016
 United States	US38	North Dakota	70,523	2016
 France	FR1	Ile-de-France	69,423	2016
 Sweden	SE11	Stockholm	68,529	2016
 Norway	NO01	Oslo and Akershus	68,052	2016
 United States	US02	Alaska	67,940	2016
 United States	US06	California	66,821	2016
 Switzerland	CH07	Ticino	66,510	2015
 Switzerland	CH03	Northwestern Switzerland, Basel	65,891	2015
 United States	US56	Wyoming	65,462	2016
 United States	US53	Washington	65,418	2016
 Netherlands	NL32	North Holland	64,918	2016

Clasificación de regiones con mayor PIB per cápita [17].

Podemos extraer que hay margen de negocio para ofrecer bienes y servicios a grandes cantidades de población de alto nivel adquisitivo. Además, con la tendencia creciente del PIB mundial, el negocio no sólo estará asegurado, sino que será creciente.

GDP, 1820 to 2018

GDP adjusted for price changes over time (inflation) and price differences between countries – it is measured in international-\$ in 2011 prices.



Source: Maddison Project Database 2020 (Bolt and van Zanden, 2020)

OurWorldInData.org/economic-growth • CC BY

PIB ajustado por inflación de las distintas regiones mundiales [18].

Tras demostrar que hay margen de negocio para ofrecer servicios de todo tipo a las capas más pudientes de la sociedad, cabe la pregunta de si se podría reducir costes o adaptar tales servicios a la clase social con más potenciales clientes que es la clase media. Y, en concreto, en el ámbito de la repostería creativa que es el tema del que versa el presente trabajo de fin de grado.

En el ámbito de la repostería creativa podemos encontrar grandes mercados objetivos como son las celebraciones como fiestas de cumpleaños, bodas, bautizos, comuniones u otras de cualquier índole.



Tarta de cumpleaños de 'Frozen', popularizada en las fiestas de cumpleaños infantiles de los últimos años [19].



Tarta de boda con motivo de adorno 'topper' en su parte superior [20].

Además, podemos incluir los restaurantes, especialmente los de lujo que tienen una carta que se aleja de lo común, los que pueden ofrecer un surtido de postres que pueden involucrar la repostería creativa.



Imagen de recopilación de distintos postres del restaurante 'El Bulli' de Ferrán Adrià incluido en 'Natura', libro de recopilación de sus postres inspirados en la naturaleza [21].

Tras hacer un análisis del mercado poniendo énfasis en las tendencias y en las oportunidades de negocio, cabe pensar qué producto o servicio se podría ofrecer. Una tarea a desempeñar en el ámbito ingenieril es el de sustituir mano de obra manual por robots, para así conseguir un sinnúmero de ventajas como la reducción de costes, mejora de calidad, mejora de repetitividad, ahorro de tiempo, mejora en las condiciones laborales...

La tarea que se pone el presente trabajo es diseñar una máquina que consiga extruir piezas de chocolate de diversas formas.

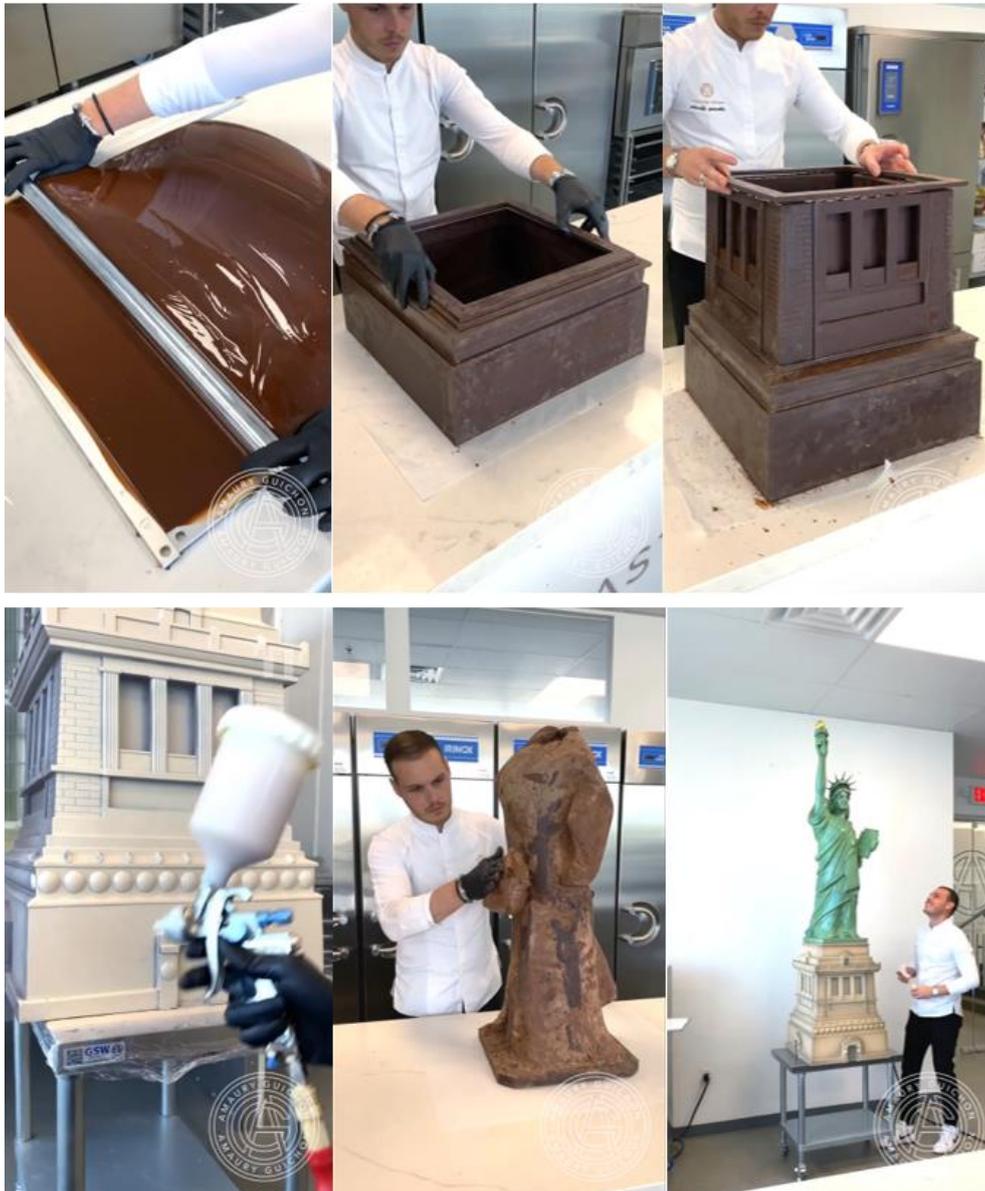
La repostería creativa

Amaury Guichon es un chef repostero famoso por hacer increíbles esculturas de chocolate. Ha trabajado en diversas pastelerías de renombre, pero su salto a la fama llegó de mano de su participación en concursos de cocina de televisión, la fundación de su academia 'Pastry Academy', de su viralizados post en Instagram y del concurso de Netflix 'School of Chocolate' en el que él mismo hace de juez [22].

En su perfil de Instagram [23] tiene publicados numerosos trabajos [24] [25] [26] [27] de repostería creativa. Sus creaciones son virales y tiene una gran repercusión en redes sociales.

Objetivos del proyecto

El objeto del presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) es construir una máquina que pueda venderse de forma amplia en el mercado y que sea capaz de imprimir diseños en chocolate como los de Amaury Guichon u otros que se mostrarán a continuación.



Estatua de la Libertad fabricada en chocolate y pintada con pintura comestible [28].

Para la extrusión en 3D debemos ser cuidadosos con las limitaciones que tiene dicha técnica. Por ejemplo, podemos tener problemas con los ángulos mayores de 135 grados ya que provocarán que la curva extruida se caiga del lugar depositado. La solución a mencionado problema sería imprimir el diseño por piezas, la colocación de soportes o el rediseño o cambio de modelo. Estos aspectos se tratarán ampliamente en el capítulo “10.2. Problemas de extrusión en impresores 3D”.

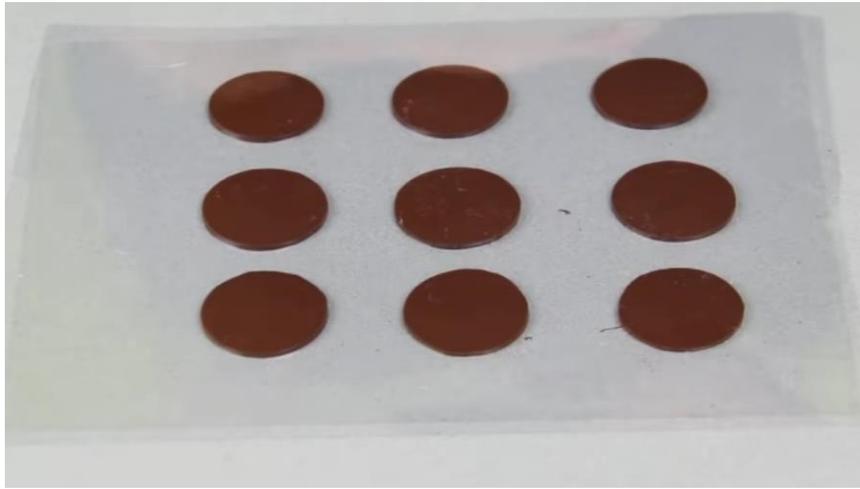
Pintar los diseños extruidos con el brazo robótico es otra de las tareas que se deberían encomendar a una máquina como la que se trata de diseñar. Sin embargo, incluir tal característica en el presente TFG lo haría innecesariamente largo, por lo que todas las apreciaciones al respecto se harán en el apartado “9. Retos para el futuro”.

La máquina diseñada podrá extruir los anteriores y muchos más diseños. Podemos acudir a páginas web como Tingverse [29] para consultar el catálogo de diseños y optar por extruir uno de ellos en chocolate.

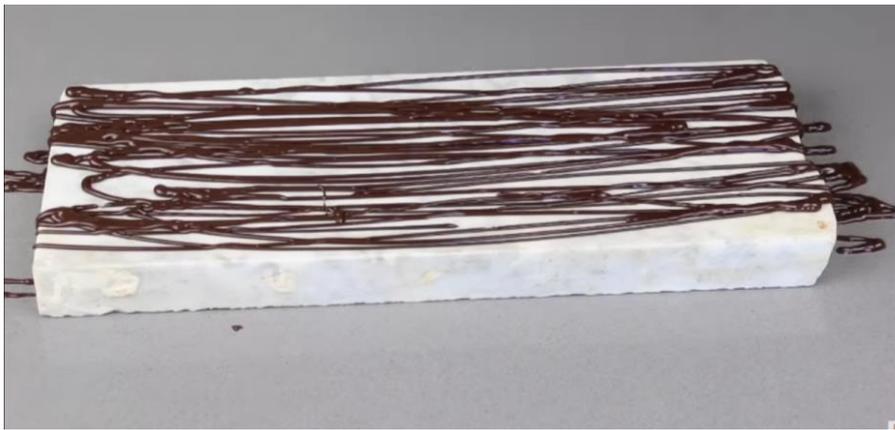


Miniatura de la Torre Eiffel imprimida con una impresora 3D [30].

Pueden extruirse motivos más simples que sirvan como adornos para tartas o que formen parte de algún postre o artículo de repostería como los que se citan a continuación:



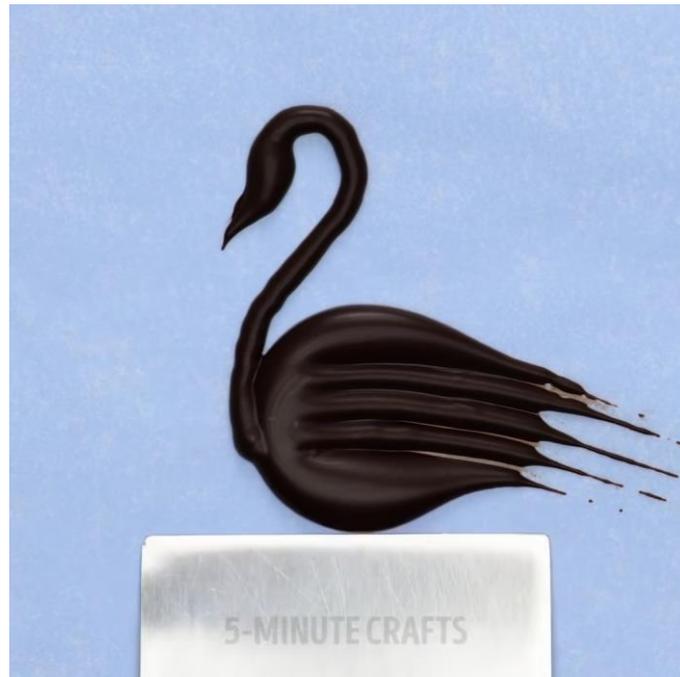
Botones de chocolate [31].



Motivo decorativo de chocolate [31].



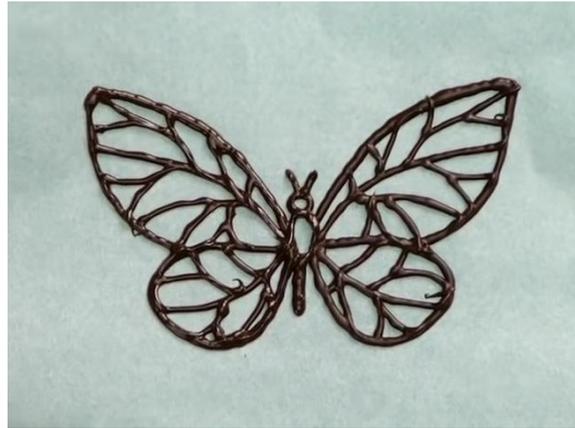
Hojas de chocolate [31].



Cisne de chocolate [32].



Clave de sol de chocolate [33].



Mariposa de chocolate [34].

Simulación: gemelos digitales

Las simulaciones son modelos digitales de procesos concretos que se utilizan para desarrollar nuevas ideas o mejorar el rendimiento de procesos ya existentes [35].

En el actual trabajo se realizan principalmente 3 simulaciones con las siguientes herramientas:

Por un lado, un diseño funcional de las partes físicas que se encargan del tratamiento del chocolate con sus medidas, tolerancias y rugosidades que den una correcta información para su producción y que posteriormente tengan un ensamblaje satisfactorio para que puedan cumplir las funciones que se le encomienda.

Por otro, un modelo del gobierno de los distintos actuadores y que tenga en cuenta la información dada por los sensores para tomar decisiones en función del estado de los mismos. Aunque no sea el modelo de un hardware y software que integre desde las elecciones de diseño hasta la acción de los controladores, sí que el diseño propuesto mimetiza las actuaciones del mismo para dar una idea clara de su funcionamiento.

Por último, también se realiza una simulación del movimiento del brazo robótico con un software específico de robots.

La integración de las anteriores 3 simulaciones con un software que gobierne el sistema sumado a la simulación de un ciclo de trabajo en tiempo real tendría como resultado un gemelo digital.

Aunque no es objeto del presente trabajo, un gemelo digital podría hacer una simulación del funcionamiento de los sistemas, dar la orden al sistema real para que se ponga en marcha, y además hacer una toma de datos de los sensores para comprobar el funcionamiento del proceso y obtener información valiosa para su posterior mejora [36].

Con los gemelos digitales, además se puede hacer una mejor planificación y gestión de los procesos además de conceder la posibilidad de probar ideas nuevas.

Conclusión

El presente TFG tiene como objetivo diseñar una máquina vendible en el mercado que consiga extruir diversas figuras en chocolate. Como se ha demostrado anteriormente, el negocio de la repostería creativa se enmarca en numerosas actividades de ocio del sector terciario. Además, se ha demostrado que el sector terciario es un sector en auge en los países desarrollados, por lo que el proyecto tiene una viabilidad económica confiable. Por último, se ha hecho una distinción entre consumidores más adinerados y consumidores pertenecientes a clases medias. Ambos son clientes de este tipo de servicios y el negocio que se les presta puede ser adaptado a su nivel adquisitivo.

3. ESTADO DEL ARTE

En la actualidad, no existe en el mercado ningún artículo fabricado en cadena por una empresa que sea capaz de extruir chocolate ya sea en “2D” o en 3D.

Sí que existen numerosos proyectos en los que se adapta una máquina con una finalidad distinta para conseguir extruir chocolate en 2D o 3D. También existen productos en los que se extruye una mezcla líquida que puede ser de un producto cualquiera; tanto comestible como no comestible.

Modelo de plástico y molde de silicona

Primero se imprime el objeto deseado en una impresora 3D en plástico. Después, se introduce la pieza en silicona para obtener el molde. Una vez que se tiene el molde se introduce el material deseado que obtendrá la forma del molde [37].



Modelo del objeto deseado impreso en plástico [37].



Molde de silicona junto al modelo impreso en plástico [37].

Impresión de múltiples alimentos

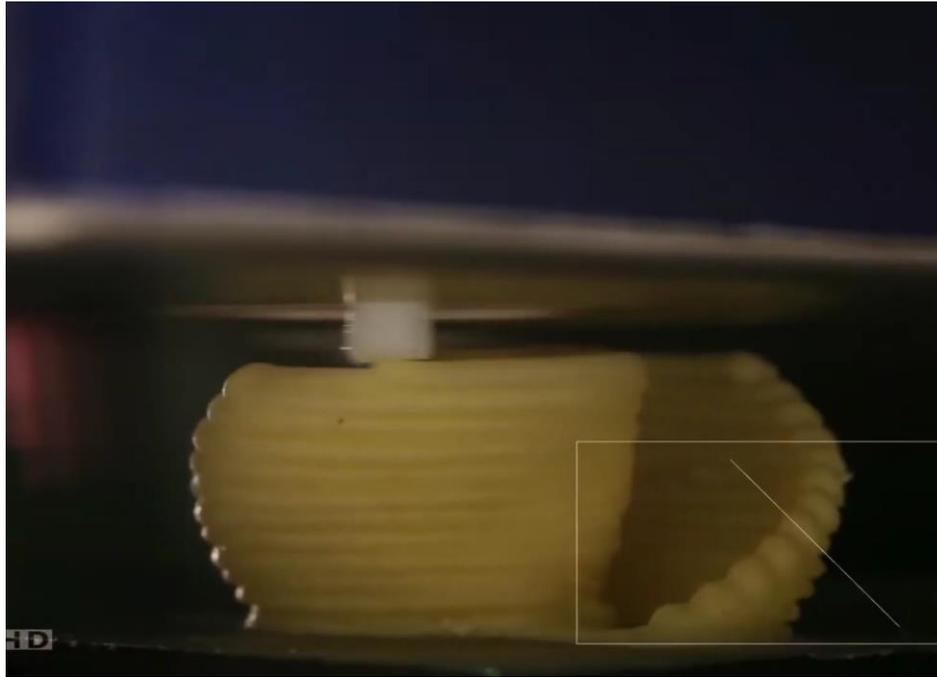
En el siguiente vídeo se imprime una pizza con una impresora 3D añadiendo primero la masa y después los ingredientes. Todos los ingredientes se extruyen en una forma de material pastoso [38].



Impresión en 3D de masa de pizza en estado pastoso [38].

La NASA ha mostrado interés en este tipo de impresión de alimentos y ha financiado algunos proyectos [39].

En el siguiente vídeo se muestran máquinas específicas para imprimir un tipo de comida como pasta, tortitas, tomate... Además, aparecen máquinas capaces de imprimir distintos tipos de comida en función del cartucho que se le inserte [40].



Impresión de un nuevo modelo de pasta [40].



Máquina capaz de imprimir masa de tortitas sobre la plancha que las cocina [40].



Cartuchos de distintos tipos de comida en estado pastoso a temperatura ambiente [40].

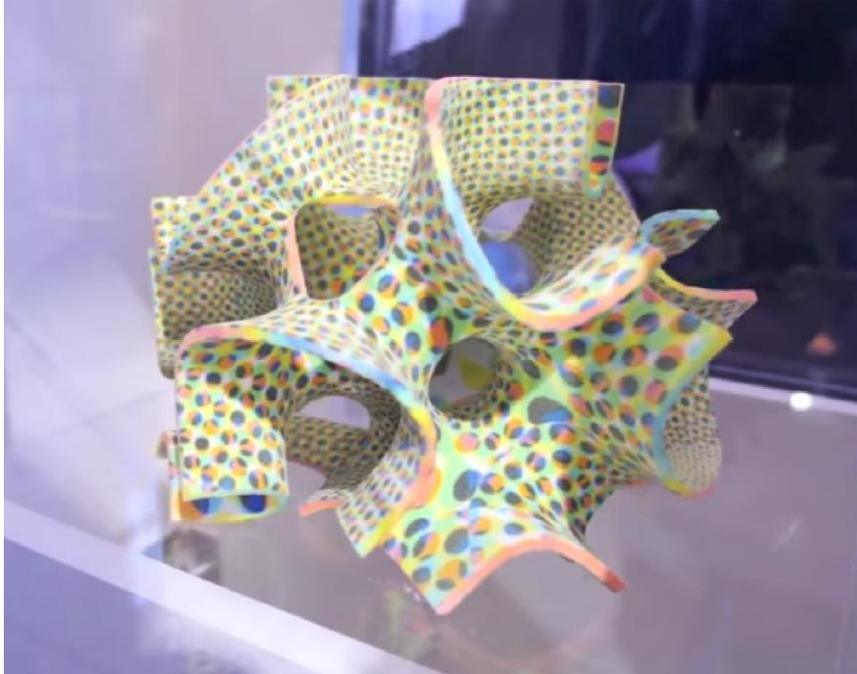
Los chefs hermanos Torres utilizan en su restaurante una impresora 3D en la que puedes introducir cualquier alimento en estado líquido para ser extruido. En el vídeo, comentan que es una buena forma de aprovechar partes de los alimentos que iban a ser desechadas [41].



Detalle de la máquina extrusora utilizada por los hermanos Torres [41].

Impresión en 3D de caramelo

Chef Jet Pro imprime intrincadas formas haciendo una mezcla precisa de azúcar, agua y alcohol. Puede imprimir en distintos sabores como manzana ácida, sandía, menta, vainilla o chocolate [42] [43] [44].



Una de las formas más intrincadas que consigue imprimir el Chef Jet Pro [44].

Impresión en papel comestible

Aunque esta modalidad se aleja de la máquina diseñada en el presente TFG, no se debe olvidar que esta técnica se enmarca dentro de las nuevas tecnologías aplicadas en la repostería creativa ya que cada vez es más popular en celebraciones, con especial hincapié en las tartas personalizadas para niños. La impresión en papel comestible puede hacerse en varios tipos de papel como papel de azúcar, papel de oblea, papel de arroz o mutitranfer [45] [46].



Tarta de cumpleaños para niños con foto decorativa de Minnie Mouse [47].

Impresión en chocolate en 3D

La empresa Miam Factory ha conseguido imprimir formas en chocolate en 3D. El chef Gaetan Richard se asoció con el preparador de impresoras 3D Francois Chazeau para adaptar una impresora 3D convencional a la extrusión de chocolate [48] [49].



Detalle del extrusor de la impresora 3D utilizada por Miam Factory [50].

Impresión 3D con brazo robótico

Los brazos robóticos, a diferencia de las impresoras 3D, pueden extruir formas más intrincadas y, como se aprecia en la imagen, incluso a un ángulo de 90°.



Impresión en 3D a 90° mediante brazo robótico [51].

La Universidad Politécnica de Milán ha desarrollado un brazo robótico capaz de extruir modelos en 3D. El material que utilizan es fibra de vidrio y debido a la técnica de extrusión la fibra está orientada en el sentido de extrusión, lo cual supone una ventaja. Además, se puede apreciar en las imágenes

que no sólo se extruye de abajo hacia arriba, capa a capa, sino que puede permitirse extruir sobre las caras exteriores del modelo; lo cual abre un abanico de posibilidades [52].



Vista general del brazo robótico imprimiendo el modelo [52].



Vistas en detalle de la extrusión del brazo robótico. Se aprecia la extrusión sobre las caras exteriores [52].

Máquinas dispensadoras

Para el presente TFG es útil conocer formas ya existentes de bombear un líquido hasta un extrusor.

En primer lugar y con un funcionamiento bastante simple, se encuentra el dispensador de agua eléctrico portátil que se vale de un pequeño motor eléctrico para extraer el agua de una gran garrafa y llevarlo tanto a un dispensador estándar como al dispensador del frigorífico para obtener agua más fría [53].



Esquema de funcionamiento del dispensador de agua [53].

El Dispensador Nordson extrae el material líquido o pastoso de un recipiente y lo almacena en una jeringa para su posterior uso. El émbolo de la jeringa posee un sistema para dejar salir el aire que se encuentre en su interior [54].



Llenado de jeringa de material pastoso.



Actuación del sistema de eliminación de aire al mover el émbolo.

El mismo trabajo de llenado lo desempeña el dispensador Fisnar [55].



Llenado de jeringas con el dispensador Fisnar [55].

Otra forma de llenado, esta vez no basado en la presión de aire, es la del dispensador peristáltico Shenchen que utiliza una bomba peristáltica [56].



Dispensador Shenchen [56].



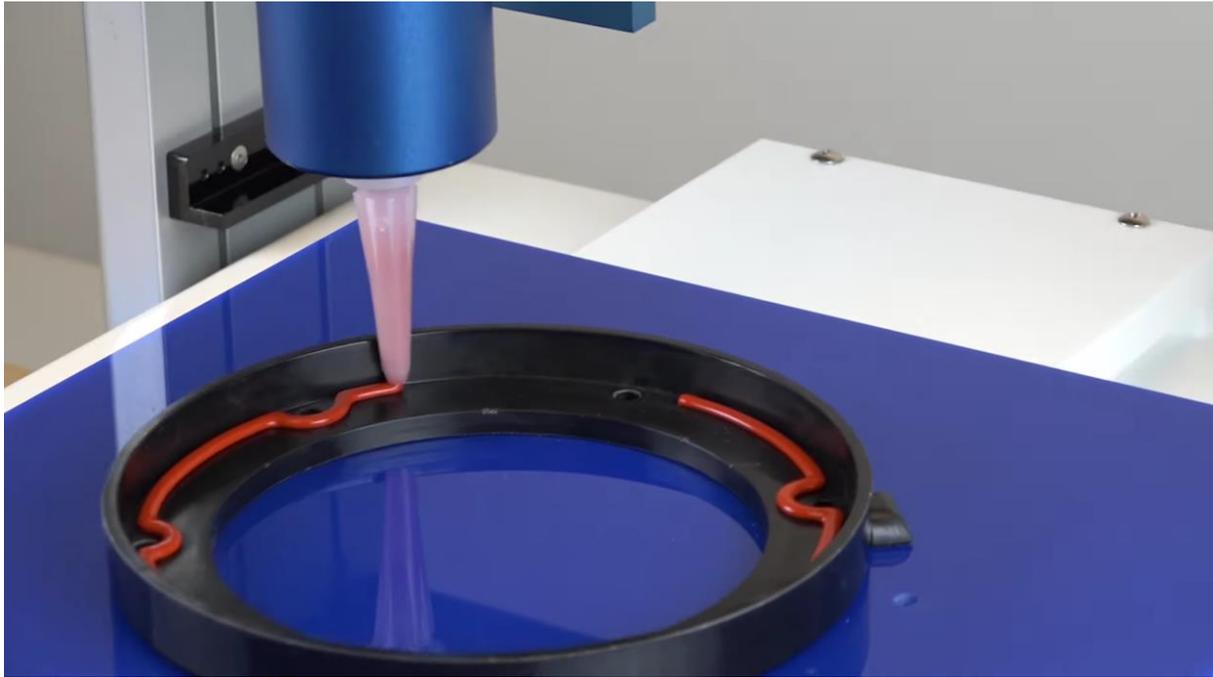
Ilustración del funcionamiento de una bomba peristáltica [57].

Máquinas de impresión para la industria

El robot de 3 ejes Fisnar sirve para extruir cualquier líquido sobre una superficie siguiendo el patrón prefijado. En el vídeo, se observa la extrusión de pegamento sobre una superficie para, tras colocar el retén, lograr una estanqueidad [58].

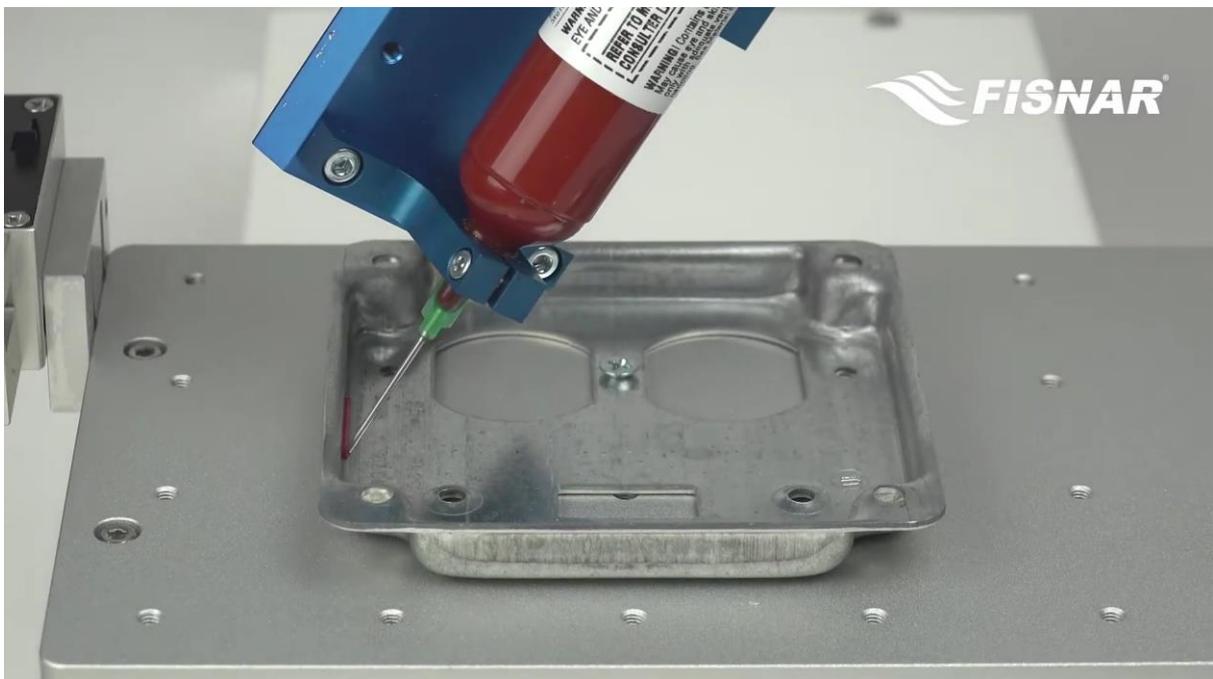


Vista general de la máquina [59].



Detalle del funcionamiento del extrusor [58].

De igual forma, el robot de 4 ejes consigue extruir material líquido sobre una superficie. Esta vez, el robot puede girar en un plano para conseguir un mejor acceso a ciertas zonas [60].

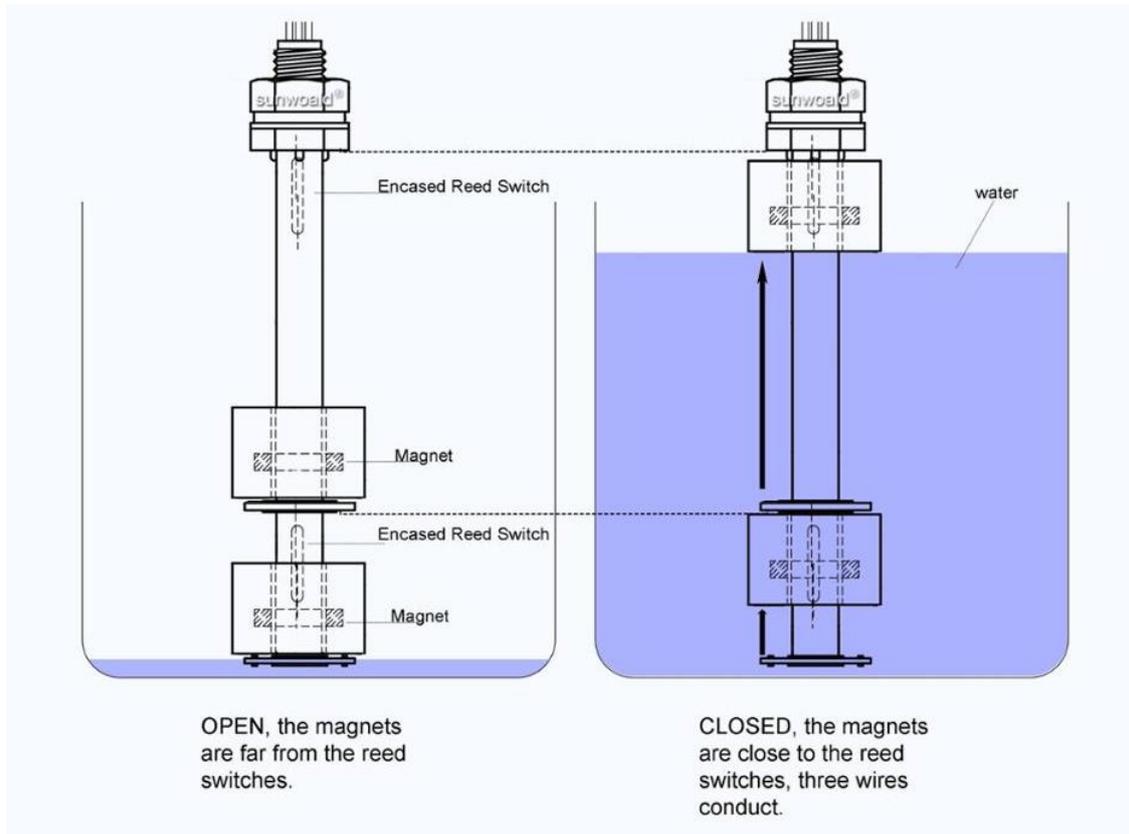


Detalle del extrusor. Se ha proporcionado una inclinación inicial del extrusor. El giro sucede únicamente en un eje [61].

Por último, el robot Fisnar de 5 ejes aparte de moverse en las 3 direcciones de los ejes es capaz de girar en 2 ejes. Así, es capaz de llegar a todos los lugares con la inclinación del extrusor necesaria [62].

Medidores de nivel de líquido

Es útil para el presente TFG un instrumento que consiga medir el nivel de líquido almacenado que posteriormente utilizaremos en la extrusión [63].



Esquema de funcionamiento del medidor magnético de nivel de líquido [63].

Conclusión

Todos los productos anteriormente expuestos sirven como inspiración para el desarrollo del presente producto. Revisando su tecnología, se tiene una idea de la tecnología de la que se dispone actualmente y que se puede integrar en el diseño.

4. REQUISITOS

La máquina diseñada en el presente TFG quiere diferenciarse de la construida por la empresa Miam Factory [44] [45] [46] ya que se pretende construir una máquina que consiga extruir chocolate a escala de obrador de pastelería, con la máxima automatización y con una gestión óptima de la calidad del chocolate. A continuación, se detallan las características que debe de tener la máquina diseñada:

1. El chocolate puro junto con la manteca de cacao (y leche u otros ingredientes, si se desean) se introducirá en el tanque que lo calentará y removerá adecuadamente. El sistema hará el

tratamiento óptimo del chocolate, como es el atemperado del mismo. De esta forma, sólo hará falta introducir el material en el tanque en las cantidades indicadas en la máquina y con la mezcla de los ingredientes adecuada.

2. La máquina será capaz de reconocer los diseños introducidos y comenzará a hacer una previsión acerca de cómo se realizará la extrusión teniendo en cuenta variables como el tiempo de extrusión, la cantidad de material a introducir, el grosor del extrusor y la factibilidad del diseño.

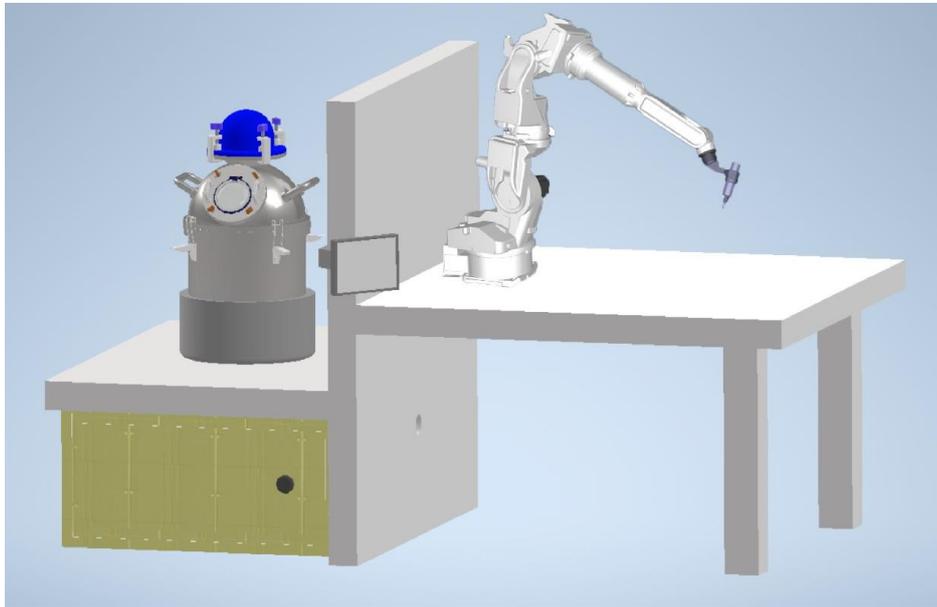
Por ejemplo, el brazo robótico puede tener problemas de singularidad, o el diseño puede contener capas que entre sí formen más de 45º y haya peligro de desprendimiento. Es por ello que el sistema simulará la impresión del modelo y preverá los posibles fallos. Dichos fallos será capaz de subsanarlos sugiriendo alternativas.

3. La máquina será capaz de, antes de extruir el diseño, hacer una puesta a punto para prepararla y una extrusión de prueba. Tras terminar, ejecutará el programa de limpieza.
4. La máquina poseerá varios grosores de extrusor que se utilizarán en función de la naturaleza del diseño que se quiera imprimir.
5. La máquina tendrá autonomía para realizar piezas grandes o varias piezas pequeñas sin necesidad de que el operario esté recargando el extrusor continuamente.
6. La máquina será capaz de evitar problemas típicos existentes en la impresión 3D. Anexo 11.3. Problemas de extrusión en impresoras 3D.
7. Sistema de alerta ante determinados sucesos como problemas en algún componente, falta de chocolate, detección de aire en el extrusor, objeto que impida el movimiento del brazo o del mezclador... etc. Alertarán al operario para que tome las medidas oportunas.
8. Una vez extruida la pieza, el mismo brazo robótico la pintará con tinta comestible. Esta parte no se incluye en el presente TFG pero es una funcionalidad que debería incorporar la máquina y sobre la que se debería trabajar en el futuro (ver el apartado número 10, retos para el futuro).

5. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO

A continuación, se describen las funcionalidades de cada una de las partes de la máquina y el funcionamiento completo de la misma. La herramienta utilizada para realizar los diseños que se muestran en éste y el siguiente apartado, '6. Despiece', es el programa Autodesk Inventor. El

acoplamiento del tanque y la base con el dibujo del brazo robótico se ha realizado con la herramienta gráfica Adobe Photoshop CS6. La imagen del brazo robótico se ha extraído del programa RoboDK, con el cual se realizará la simulación del brazo robótico tal y como se muestra en el apartado '8. Movimiento del brazo robótico'.



Vista general de la máquina.

Preparación del diseño

Se introduce un pen-drive en el puerto USB con los diseños que se desean extruir en formato de diseño de pieza digital tal como '.ipt', '.stl' o '.gcode'. La pantalla muestra las opciones de extrusor disponibles entre las cuales el usuario podrá elegir. Una vez elegido, el programa calcula la trayectoria y calidades de la misma que deberá realizar el brazo robótico para extruir la pieza. Además, detectará problemas y singularidades de la extrusión y propondrá alternativas para su solución. Se podrá variar el tamaño y orientación de la pieza extruida.

Una vez seleccionados los anteriores parámetros, obtenemos un cálculo de la cantidad de chocolate necesario y el tiempo de realización. En función de ello, se podrán modificar si se desean algunos parámetros como el tamaño de la pieza o el grosor del extrusor.

Se pueden introducir varias piezas en el programa para que una vez termine una automáticamente continúe extruyendo la siguiente.



Vista en detalle de la pantalla en la que se configuran todos los parámetros.

Preparación del chocolate

Una vez fijado el modelo a extruir se encienden las resistencias y el eje comienza a girar. El operario introduce la cantidad de chocolate demandado por la máquina. Sensores de temperatura y nivel de líquido del interior del tanque monitorizan la cantidad de líquido y la temperatura del mismo para evitar problemas de sobrecalentamiento y de déficit de chocolate. La máquina siempre demandará una cantidad extra precaucionaria de chocolate para evitar la succión de aire que pudiera desestabilizar el funcionamiento de la máquina.

También se monitoriza la velocidad de giro del eje que puede variar en función de la carga de chocolate.

Comienza el ciclo de tratamiento de chocolate. La información sobre el ciclo se detalla en el apartado '11.1. Tratamiento del material a extruir'.

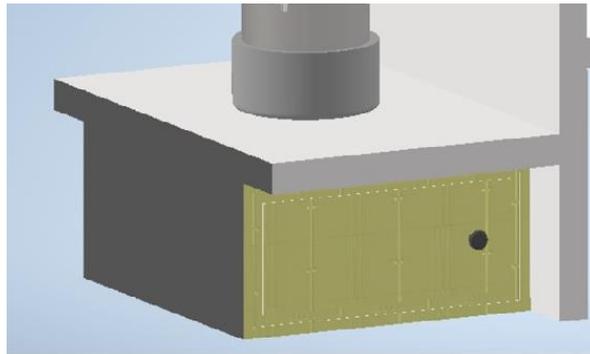


Tanque en donde se almacena y se efectúa el tratamiento del chocolate.

Extrusión del chocolate

Se abren las válvulas de salida del tanque y de entrada al inyector y se ponen a funcionar las bombas que extraen el líquido del tanque y lo llevan al inyector. Una vez lleno el inyector se cierran las válvulas y se apagan las bombas.

El inyector comienza a extruir y se abre la válvula de extrusión con el fin de llevar a cabo el extruido de prueba. Una vez todos los circuitos se encuentran llenos del líquido comienza la extrusión de la pieza.



Rodeando al tanque, se observan las resistencias que calientan la mezcla. En el habitáculo de abajo, se encuentran ocultas: la válvula que permite la salida del chocolate del tanque y las bombas que lo llevan hasta el inyector para ser posteriormente extruido.

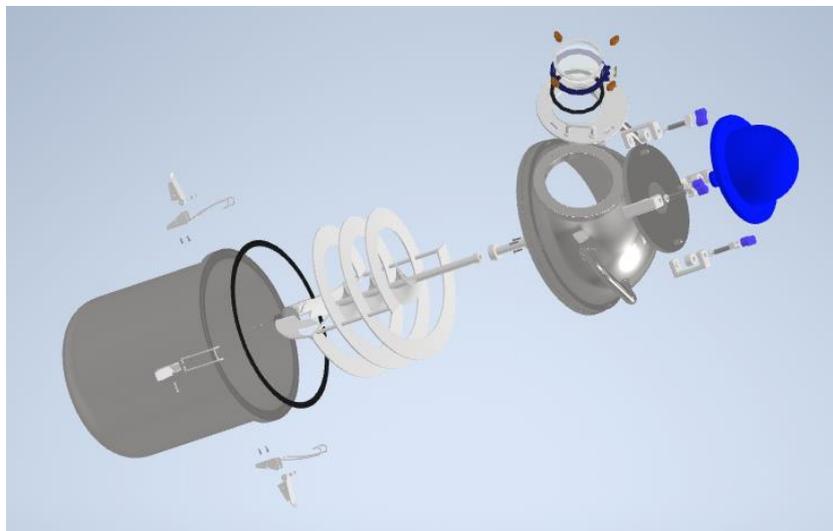
6. DESPIECE

Primeramente, se muestra el tanque montado tal y como estaría listo para funcionar:



Vista general del tanque.

Después, se muestra una vista explosionada general del tanque.



Vista explosionada del tanque.

Más en concreto, el siguiente dibujo muestra la parte superior del tanque donde se puede apreciar el motor con sus correspondientes 4 fijaciones. El método de fijación tiene un funcionamiento similar al de las mordazas o sargentos, es decir, utiliza un tornillo de apriete.

La tapa del tanque posee dos asas para poder agarrar en caso de necesitar su retirada para labores de limpieza.

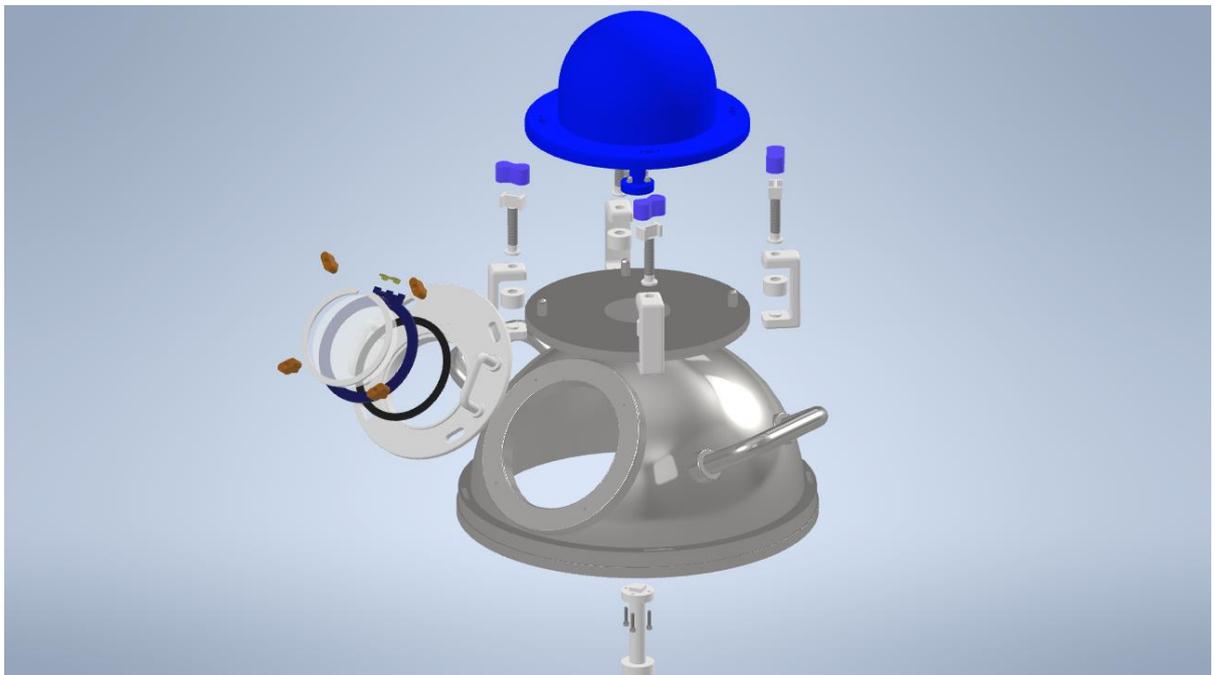
A la izquierda, se encuentra una tapa con dos asas para utilizar en caso de tener que introducir una gran cantidad de material. Al ser de un tamaño considerable facilitaría la introducción del material. El cierre se realiza con las 4 fijaciones de color marrón.

Más a la izquierda, se encuentra la tapa pequeña de color azul oscuro para introducir pequeñas cantidades de material o echar un vistazo al funcionamiento de la máquina. No obstante, dicha tapa posee un cristal que permite ver a través de ella.

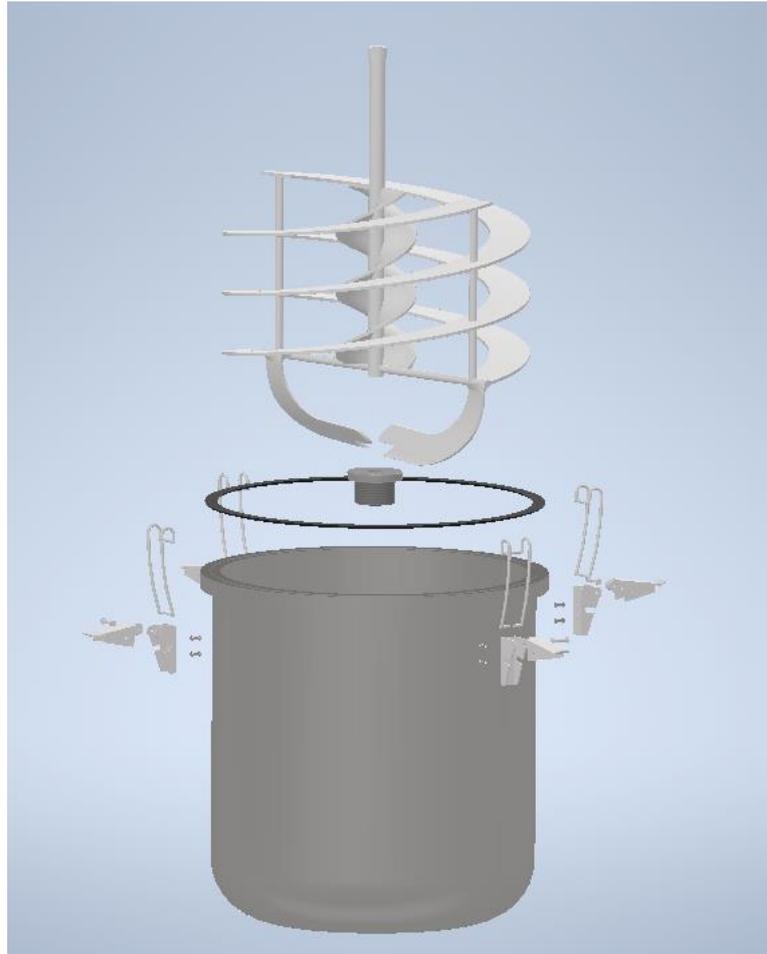
En la parte inferior se encuentra el eje encargado de unir el eje del motor con el eje de la hélice y que tiene un fácil desmontaje en su parte inferior.

La otra vista en detalle es la de la parte inferior del tanque, en donde encontramos su mitad inferior, donde va introducida la hélice. Abajo se encuentra el tapón inferior, pieza clave que une el tanque con la válvula de salida; todo ello conformando un perfecto sellado gracias a la rosca para evitar fugas.

A los lados se encuentran los cierres del tanque. Los cierres son mecánicos y tiene un funcionamiento sencillo que es frecuentemente usado en el cierre de cajas y baúles.

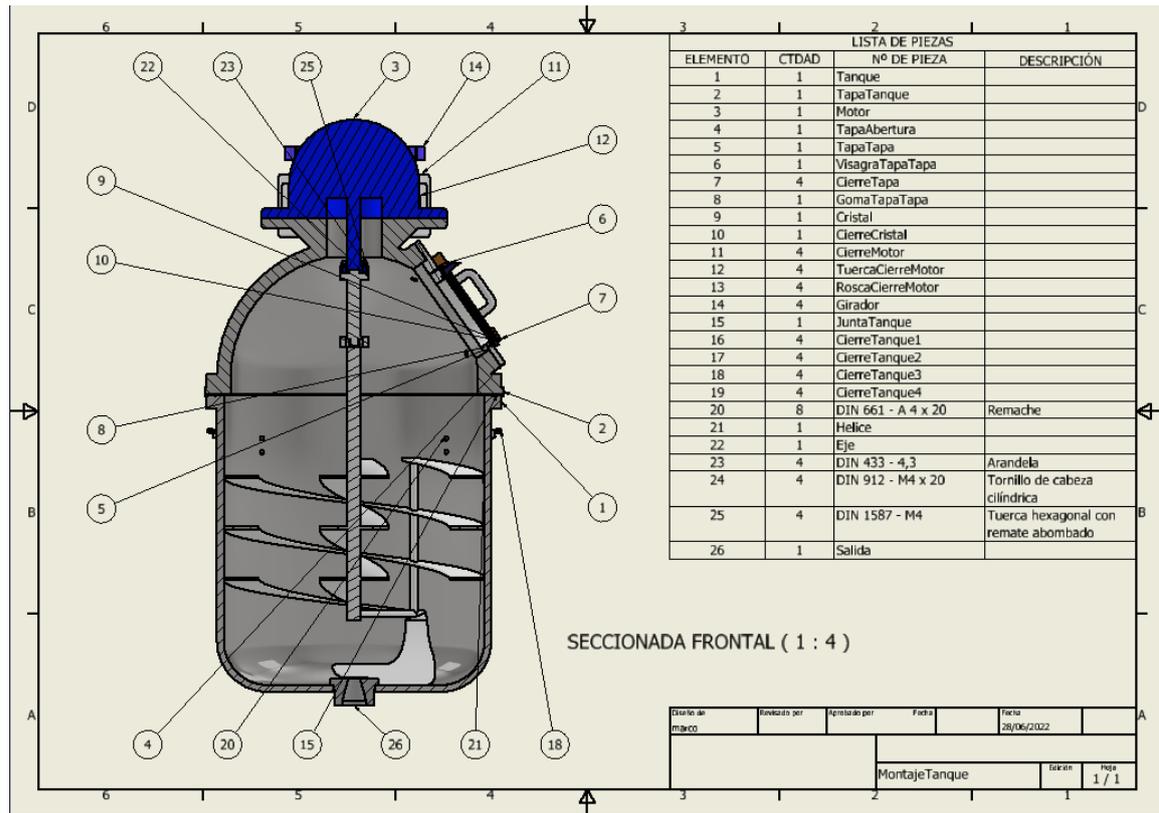


Detalle superior de la vista explosionada del tanque.



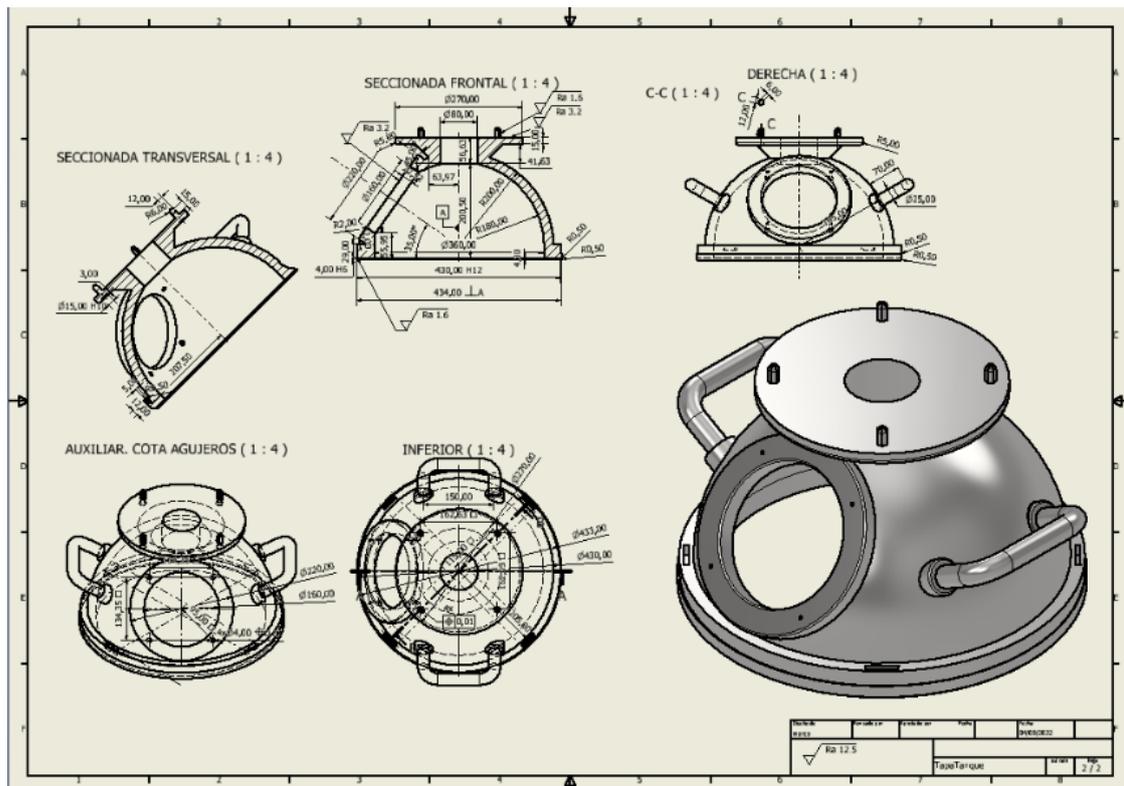
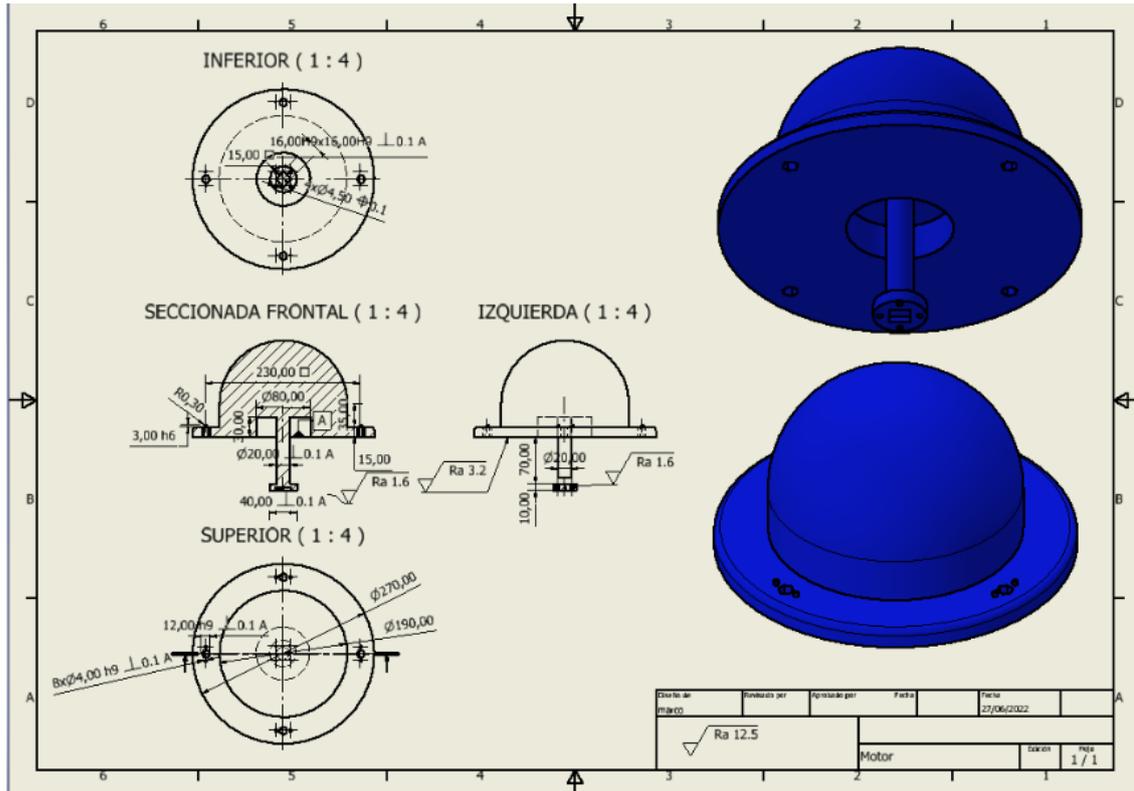
Detalle inferior de la vista explosionada del tanque.

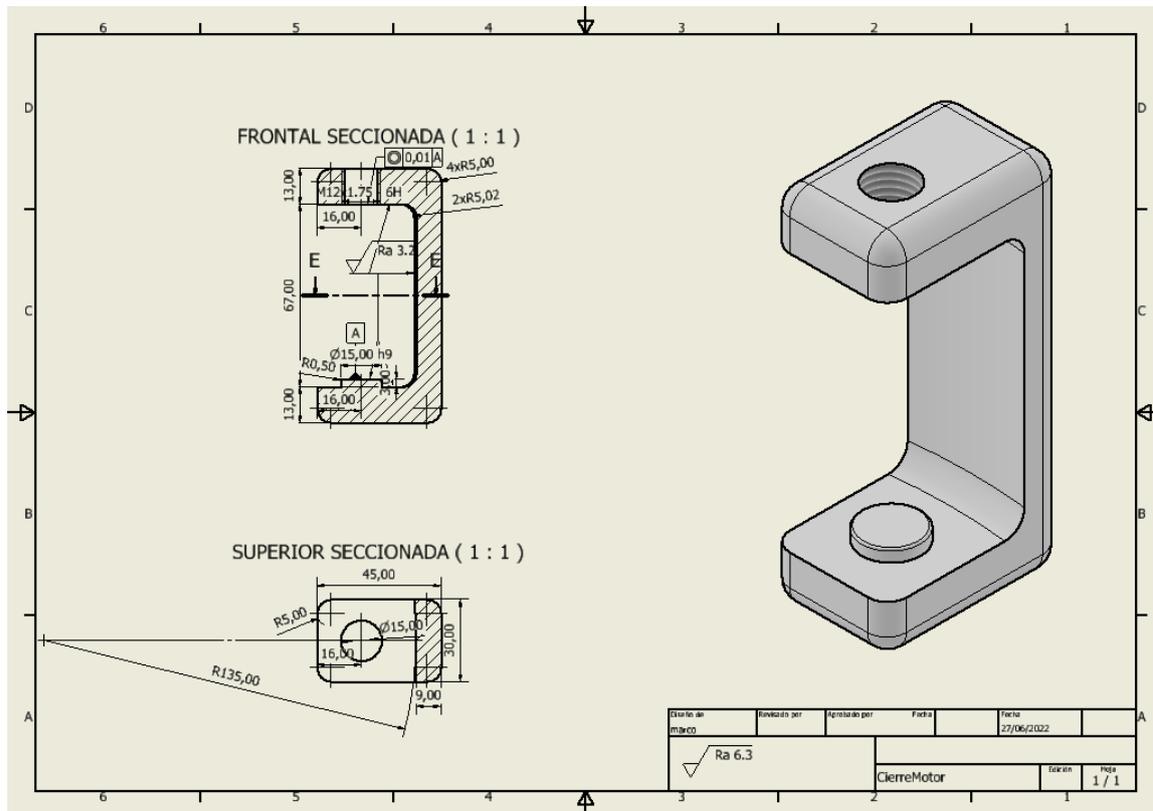
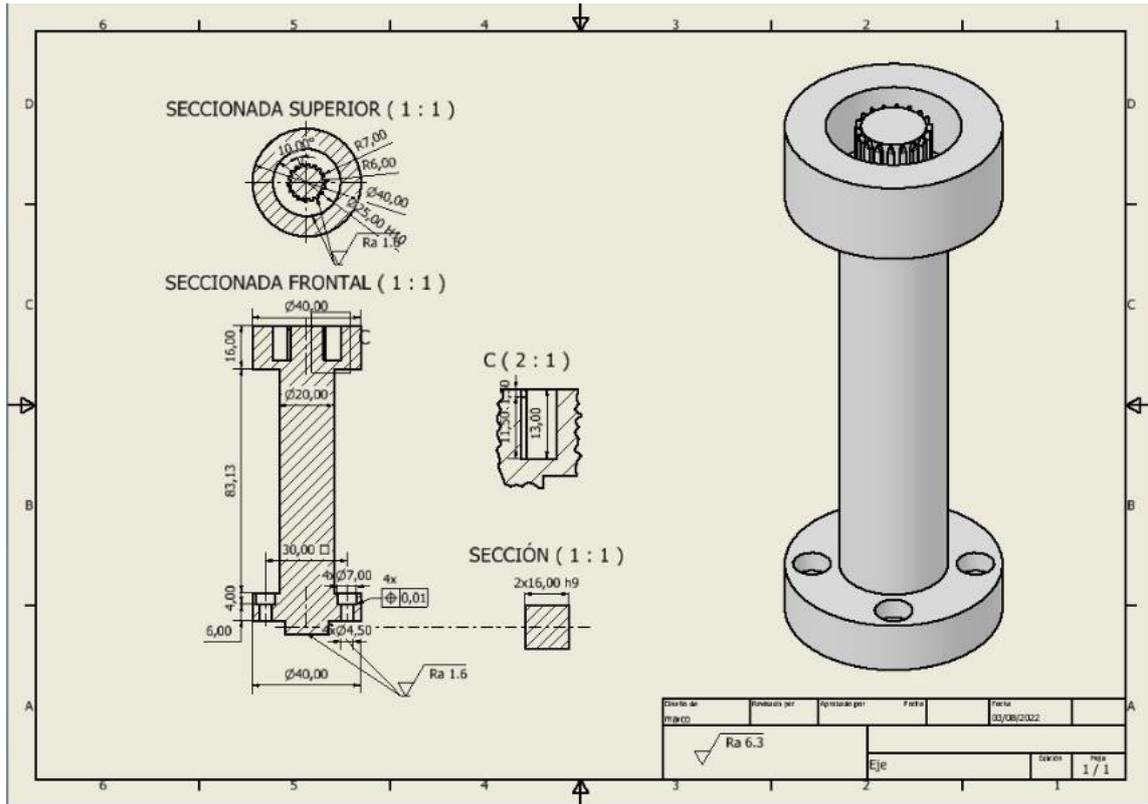
A continuación, se muestra una vista seccionada de tanque en donde se señalan cada una de las piezas junto al listado de piezas. Entre las piezas, también se incluyen algunos elementos comerciales:

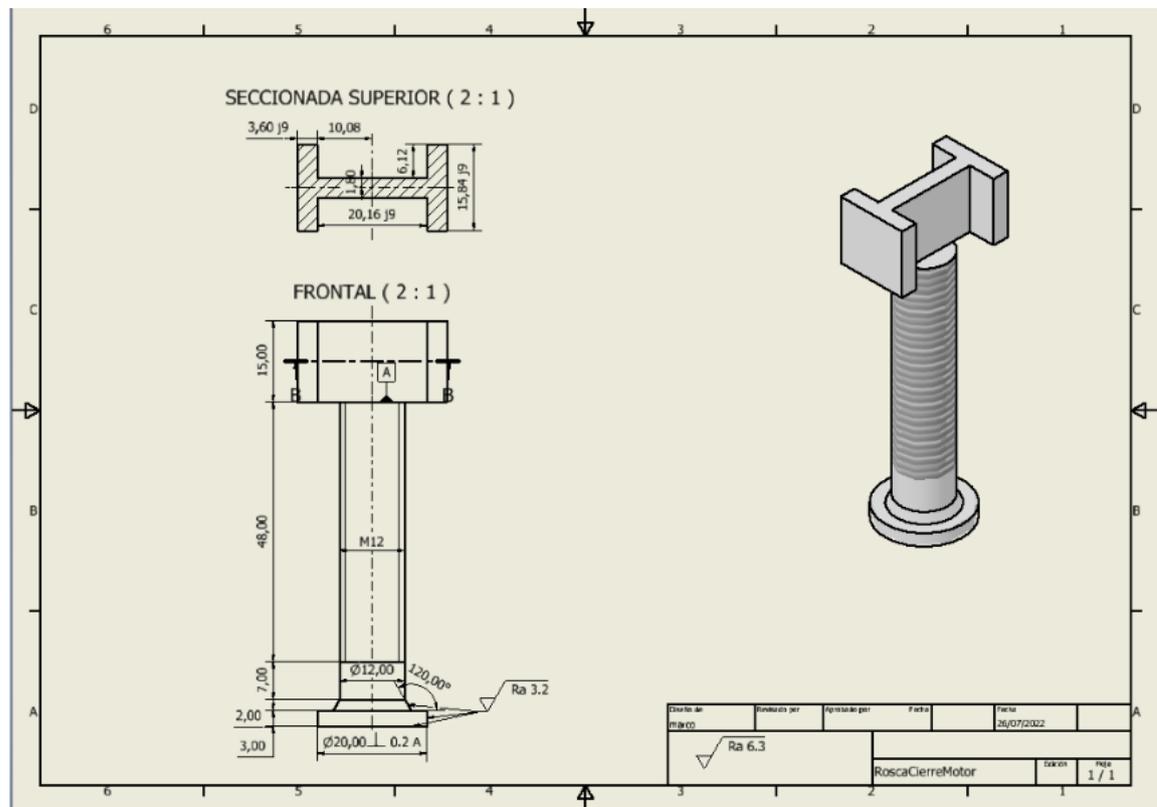
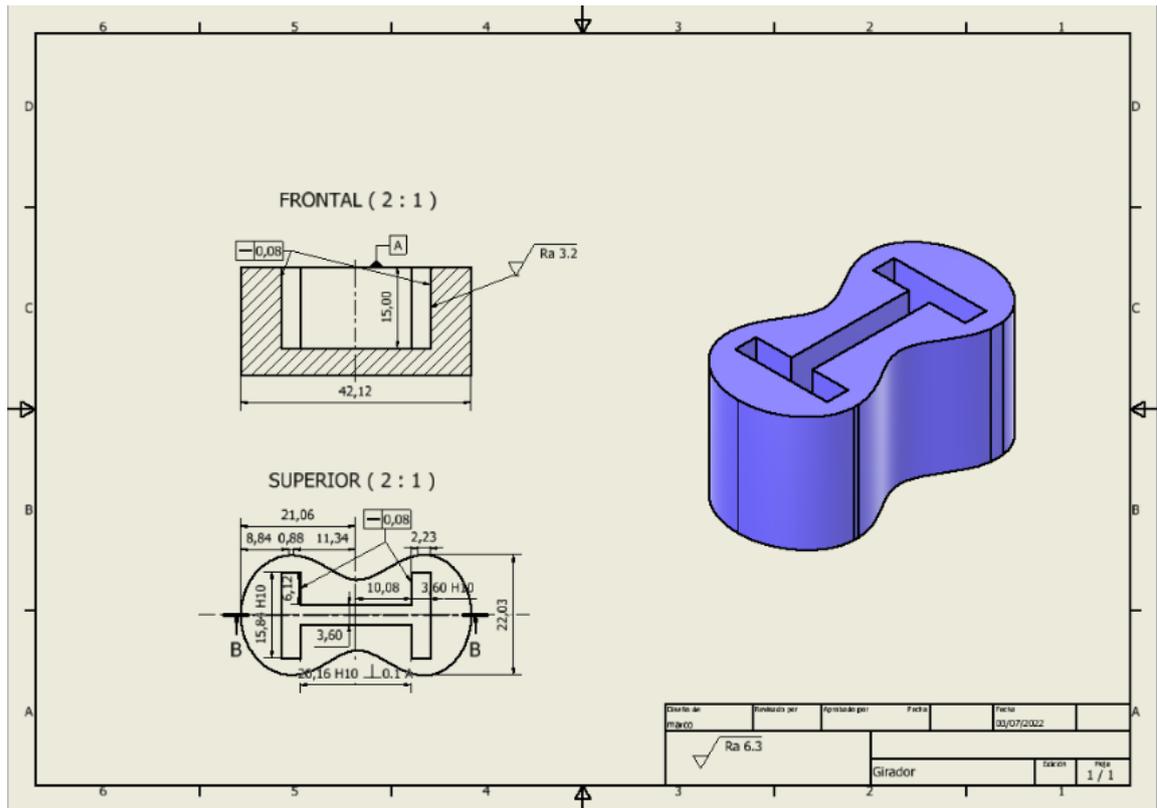


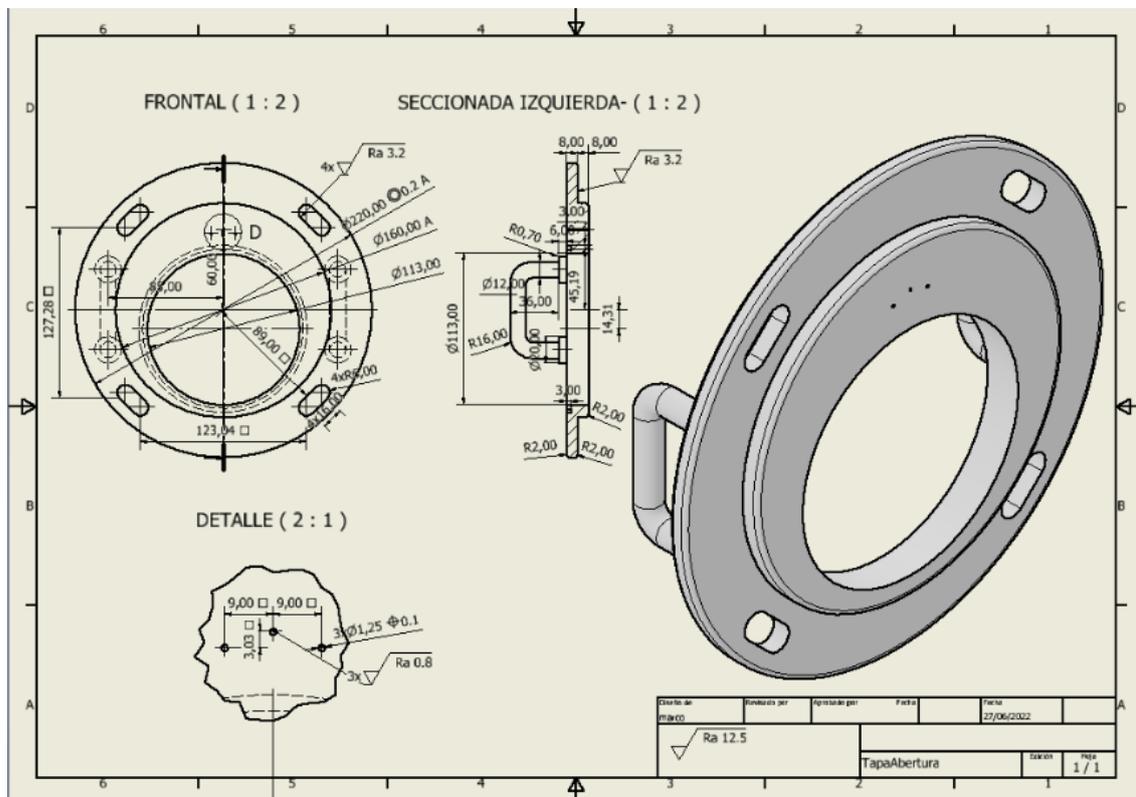
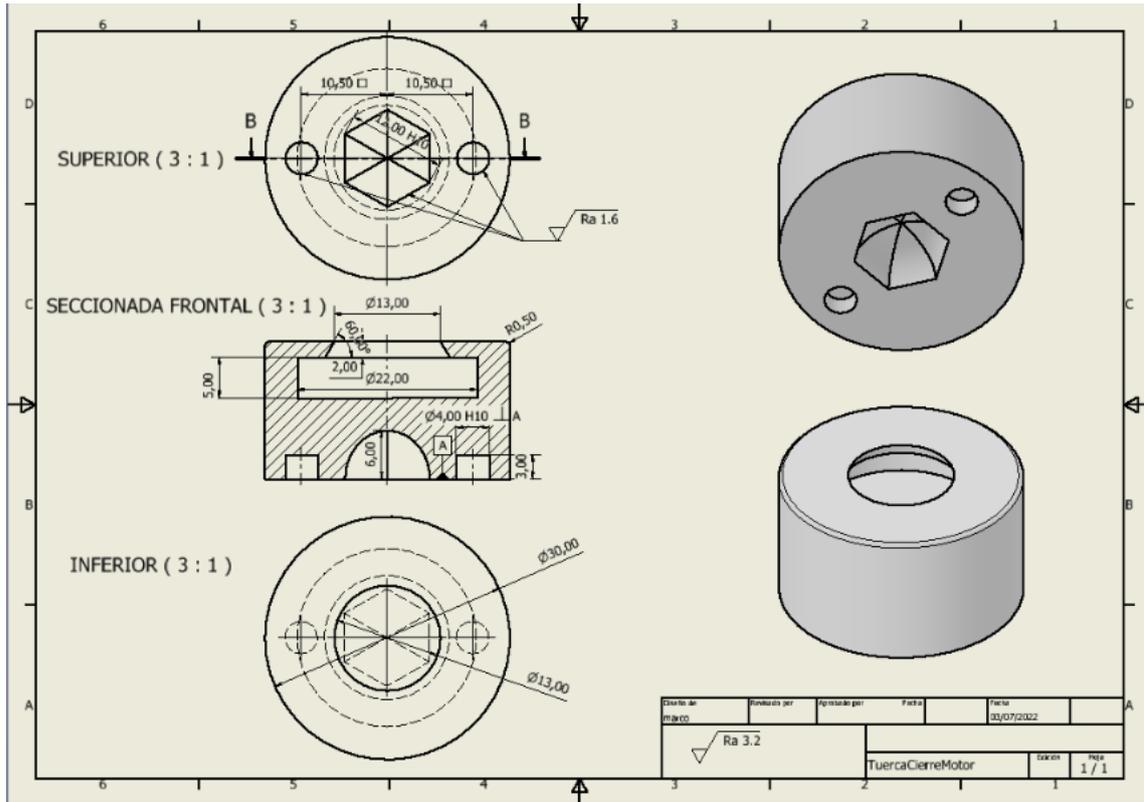
Lista de materiales.

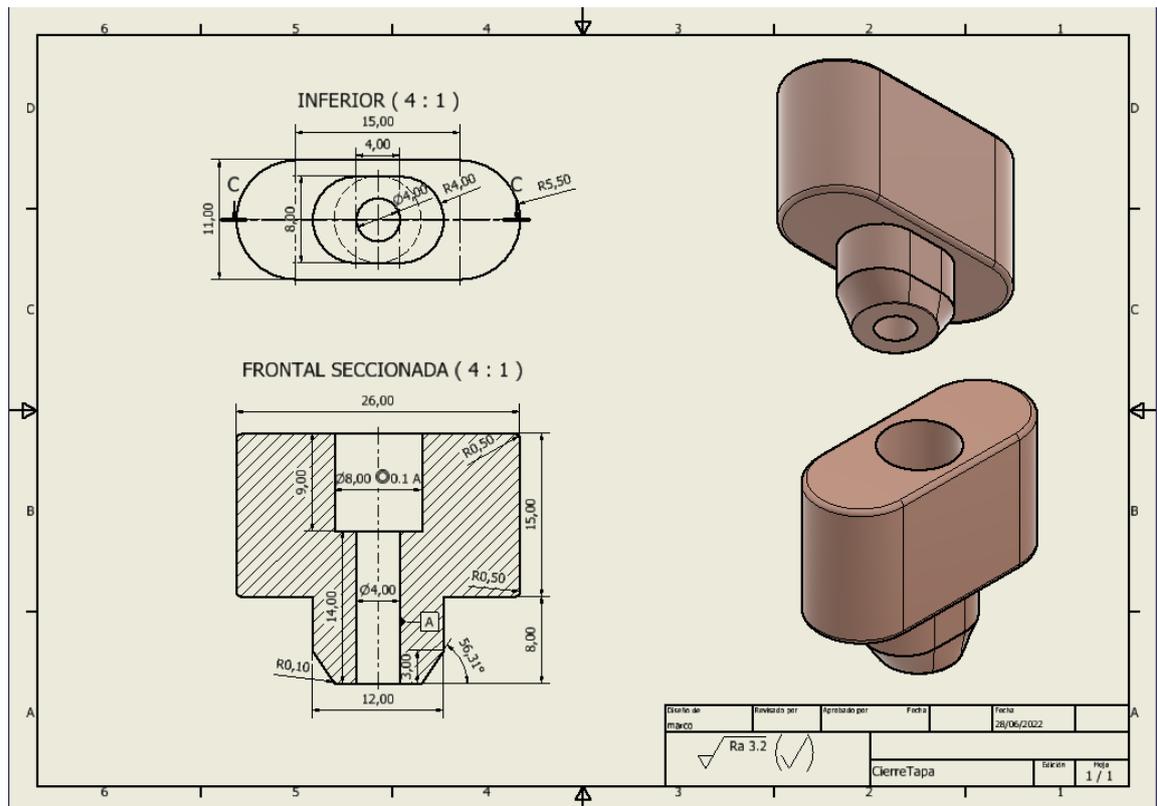
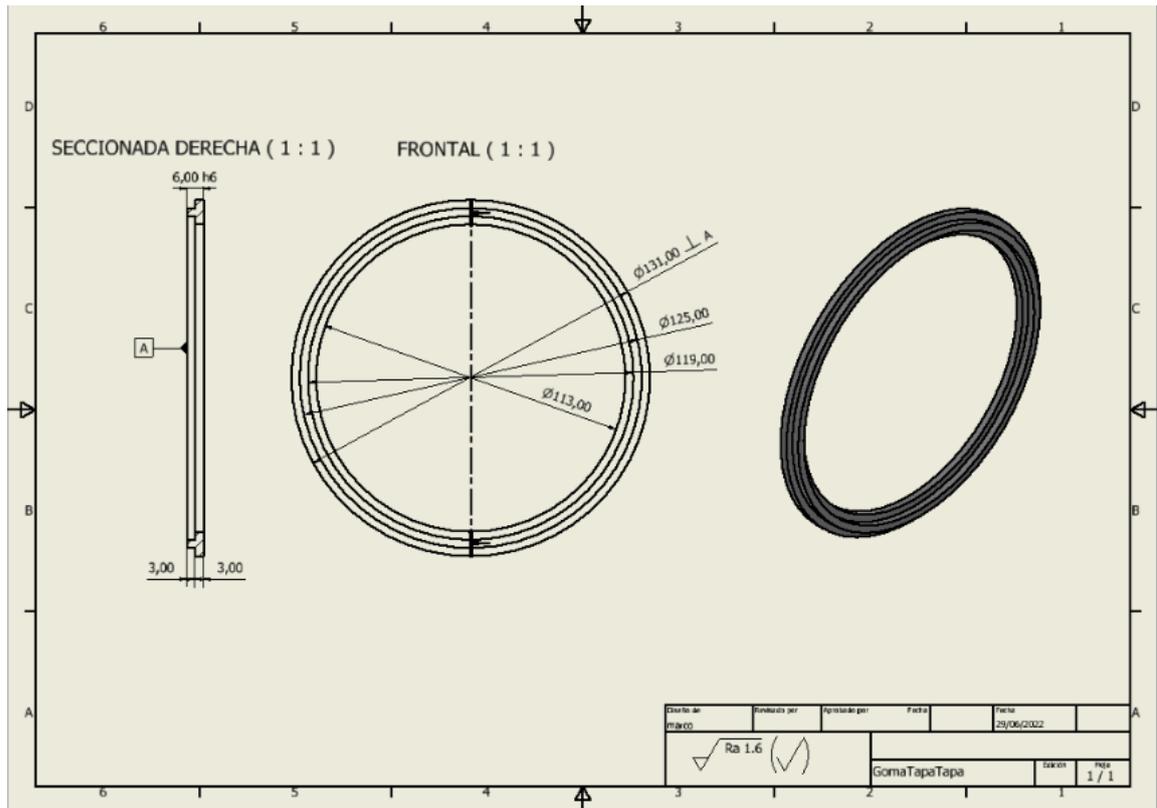
Por último, los planos de cada una de las piezas con sus correspondientes cotas, ajustes, tolerancias geométricas y rugosidades superficiales ordenados primero los de la parte superior y por último los de la parte inferior.

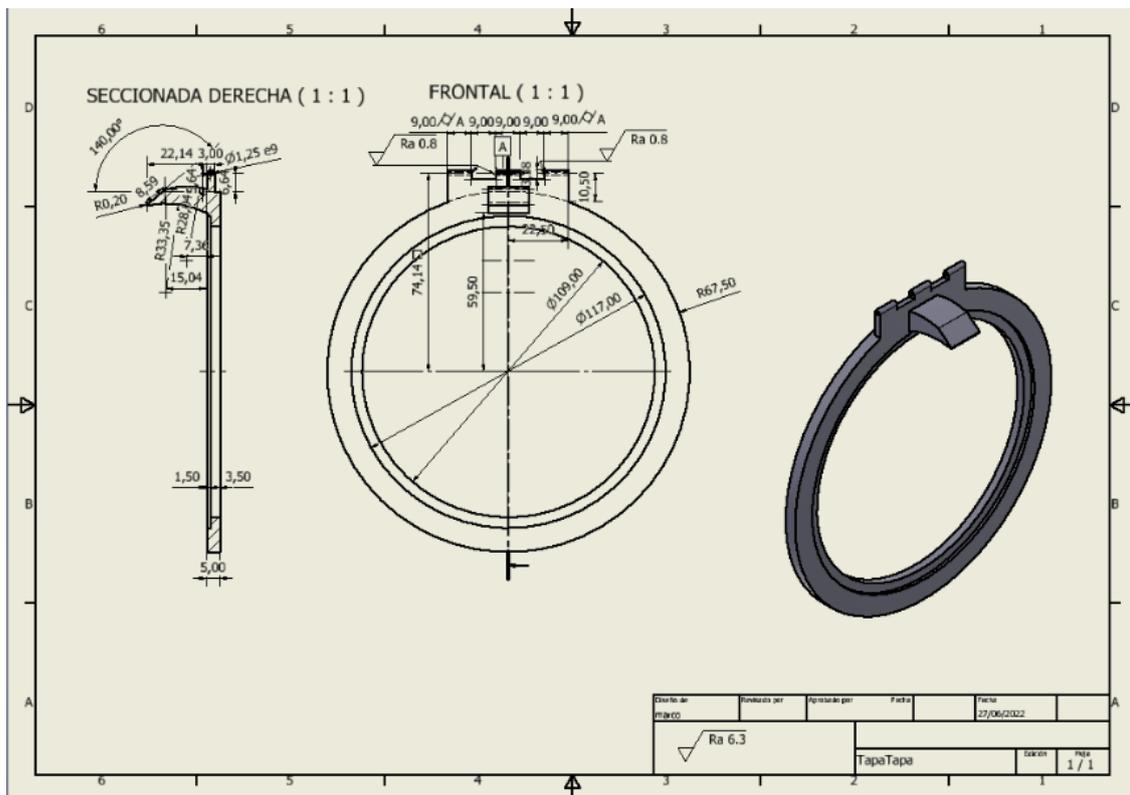
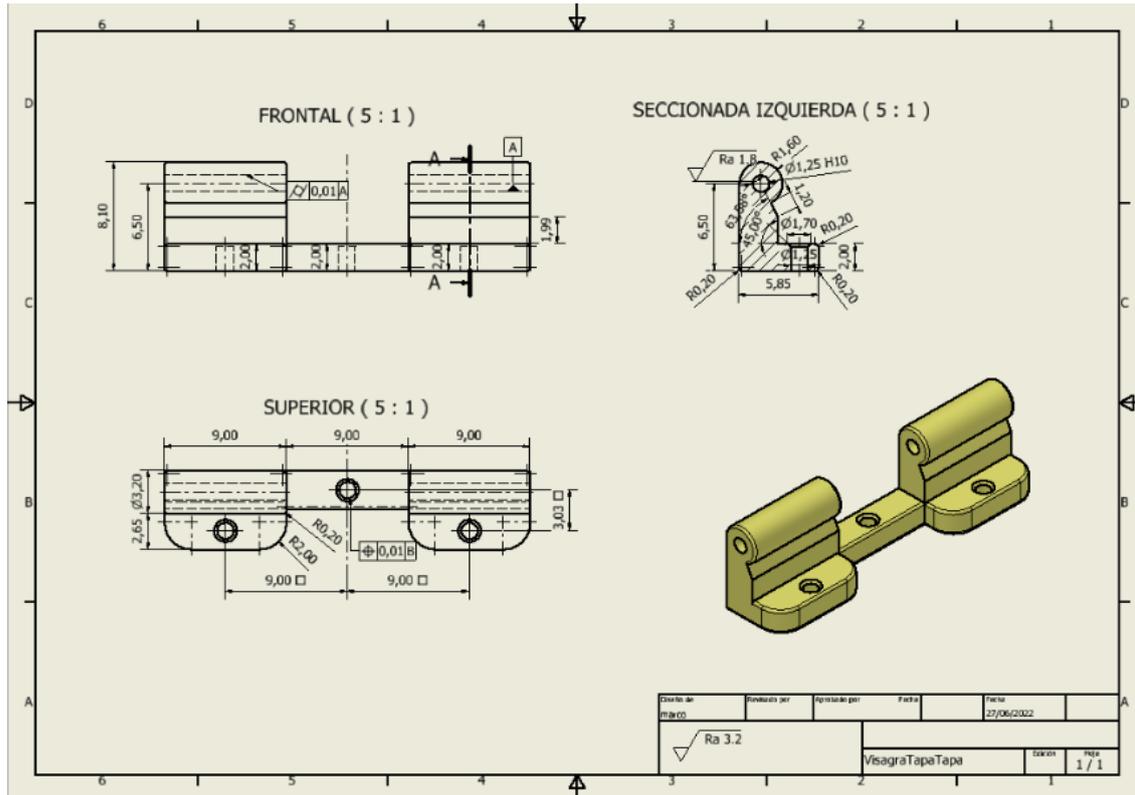


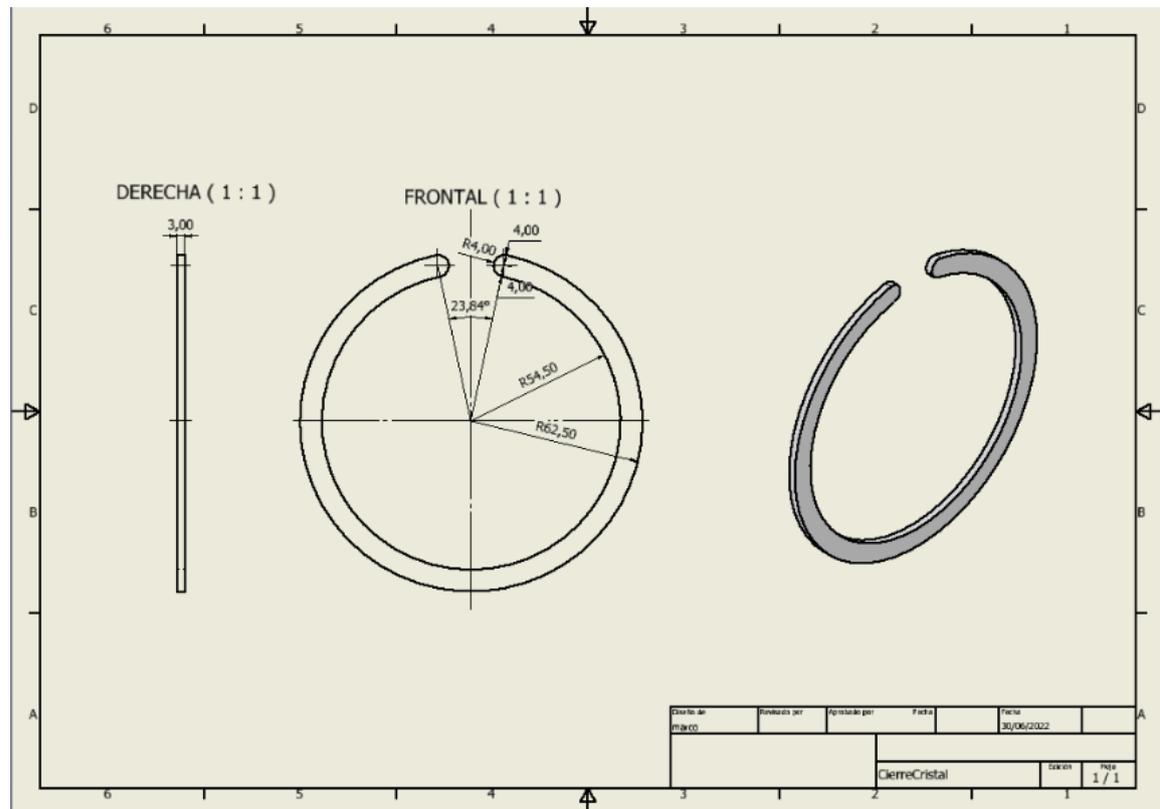
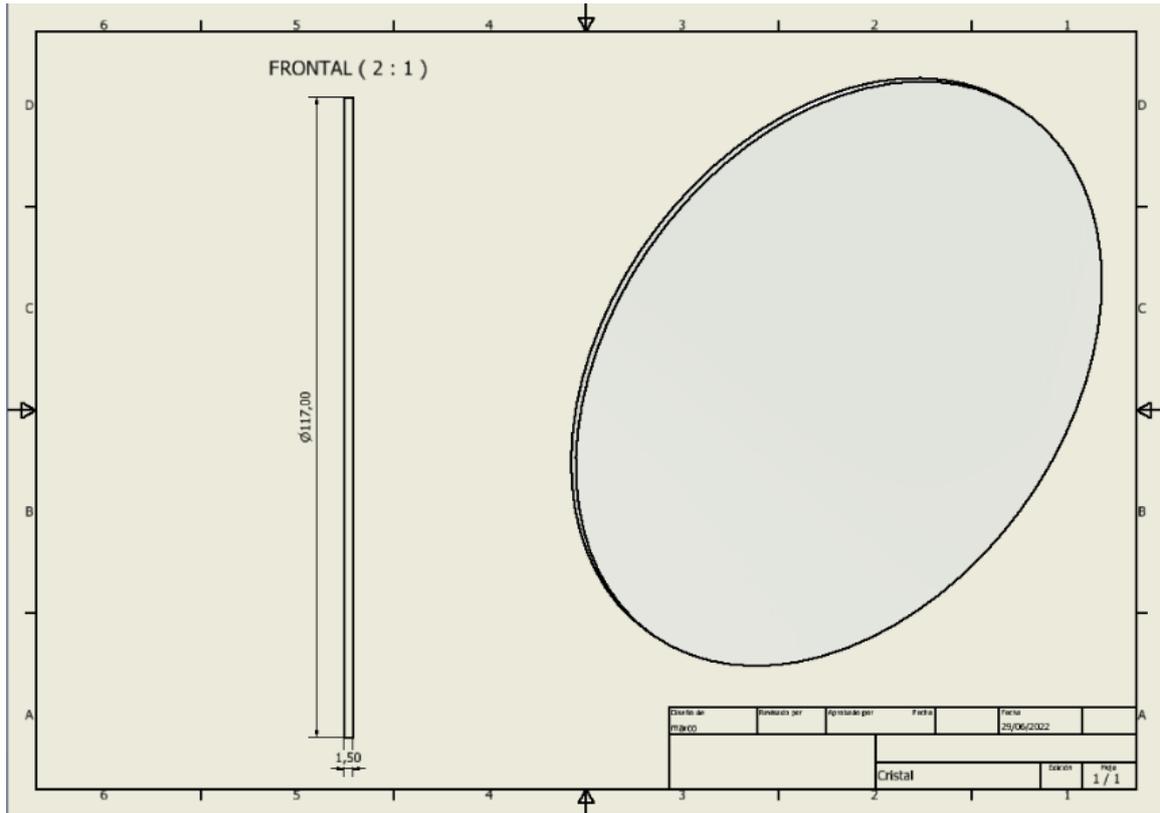


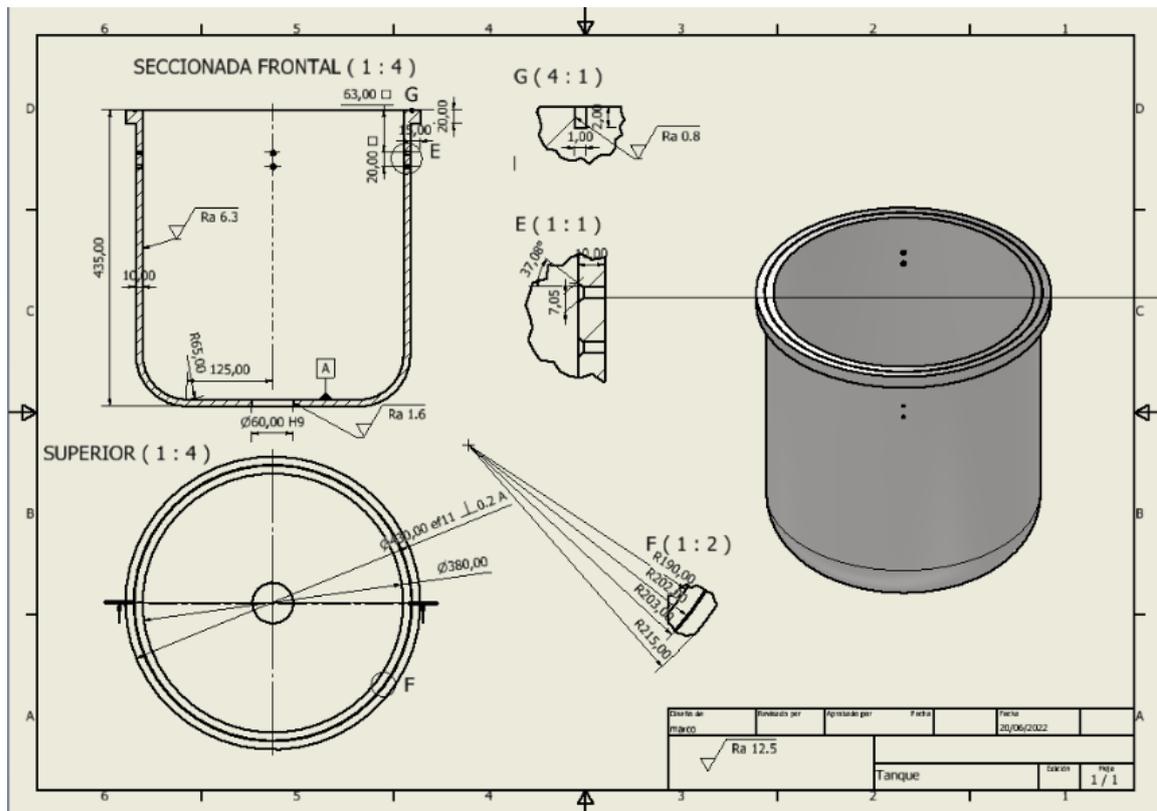
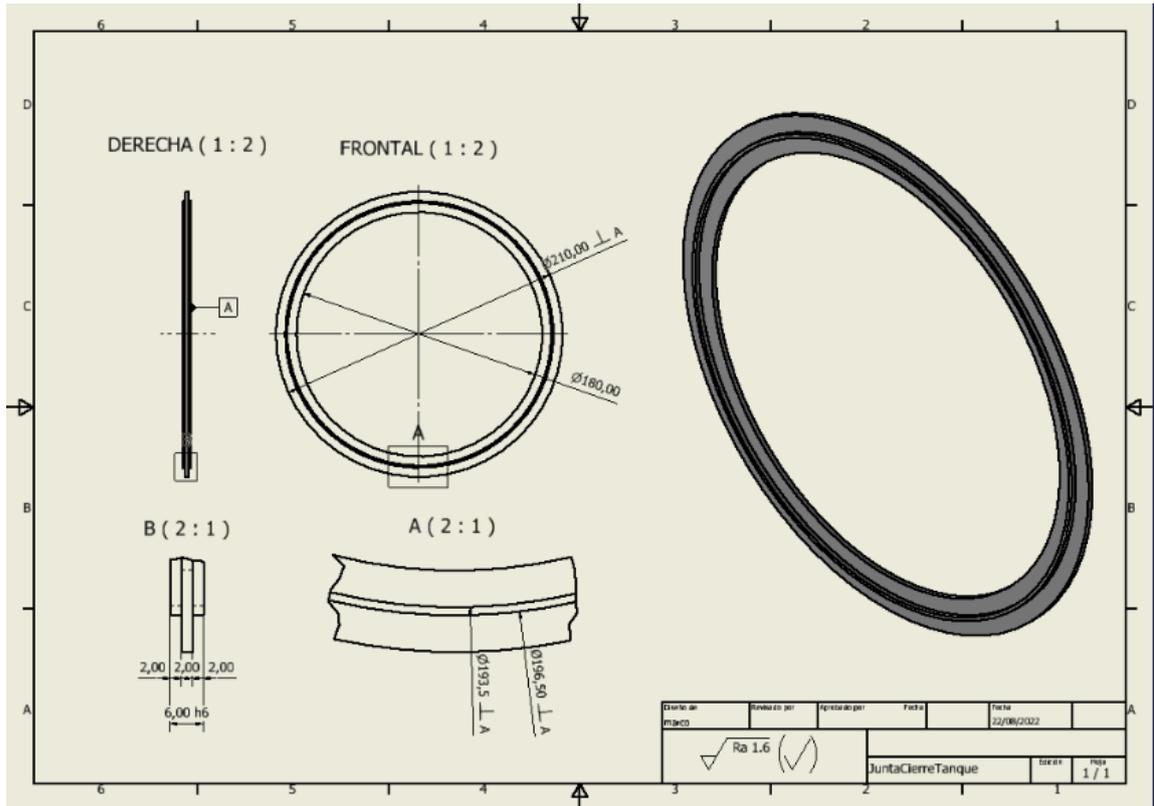


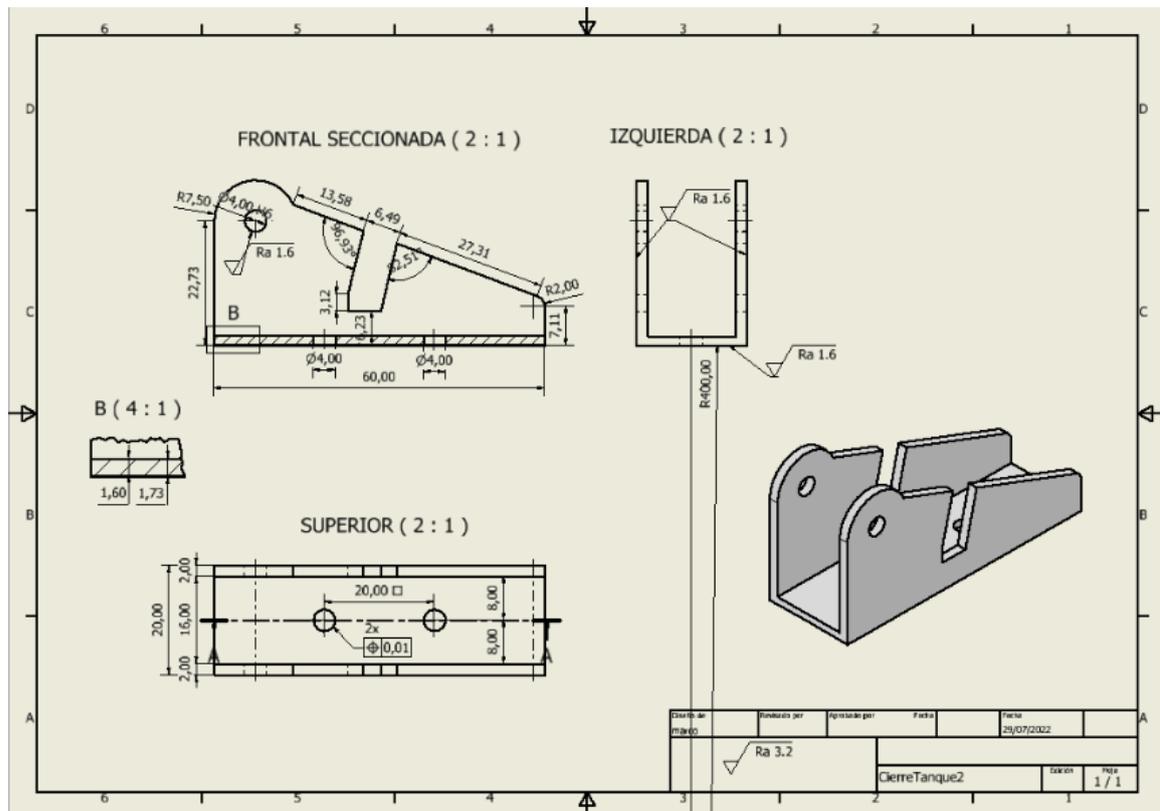
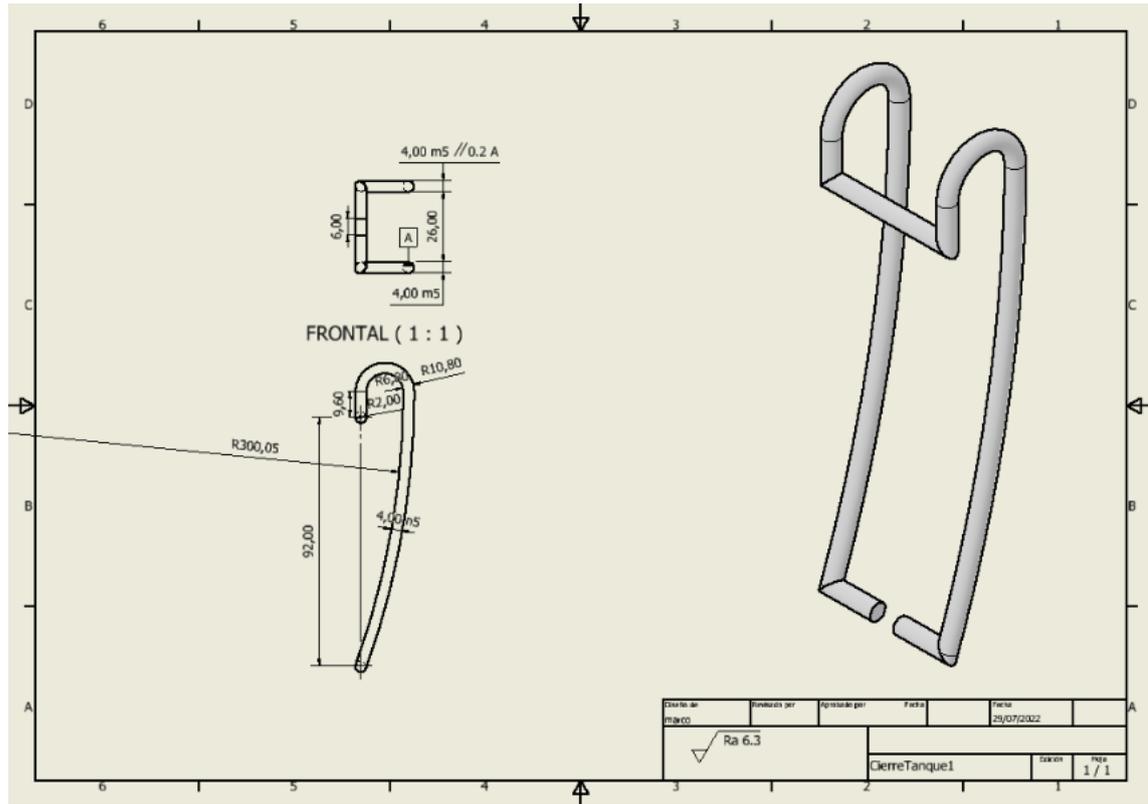


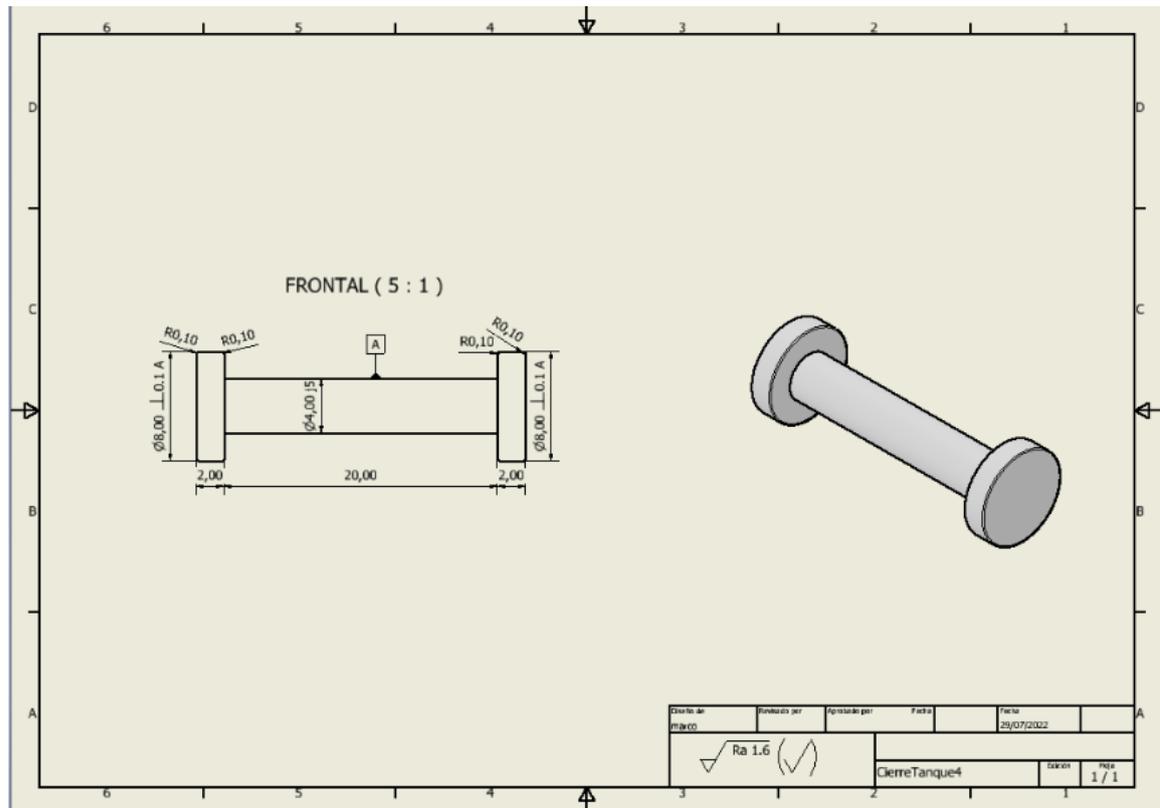
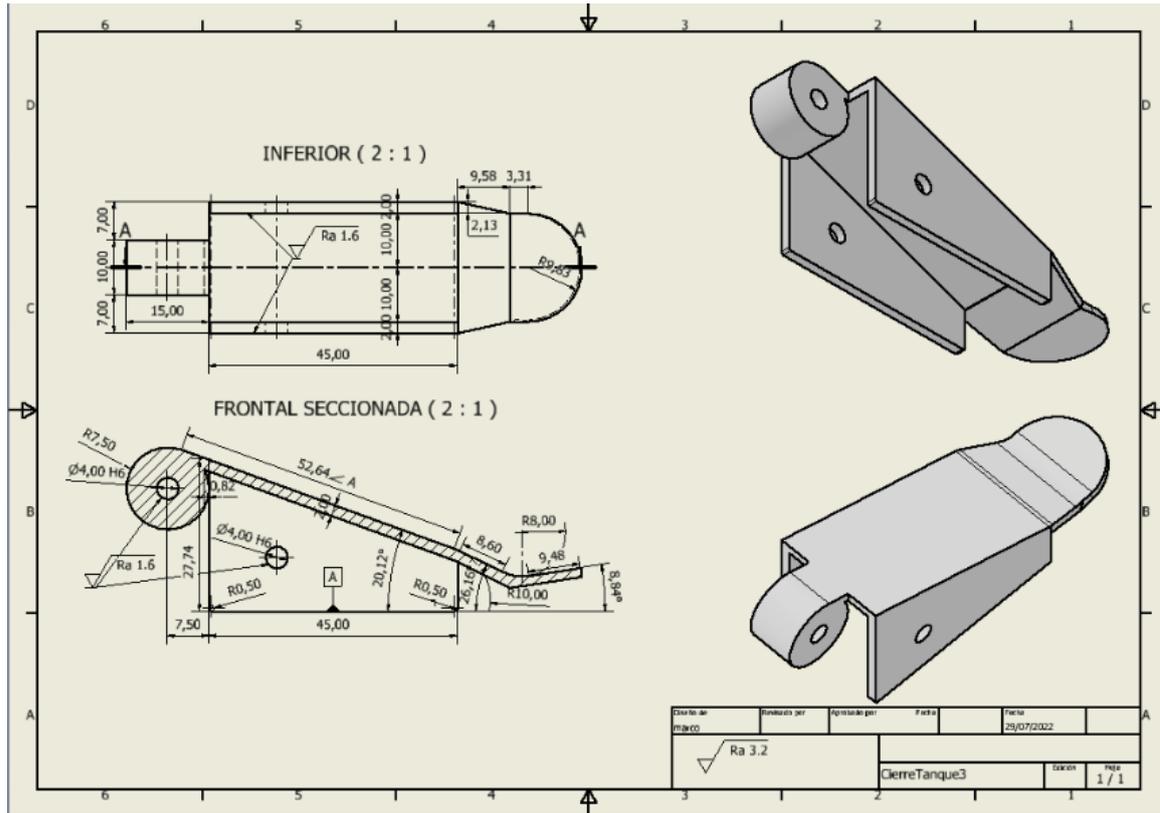


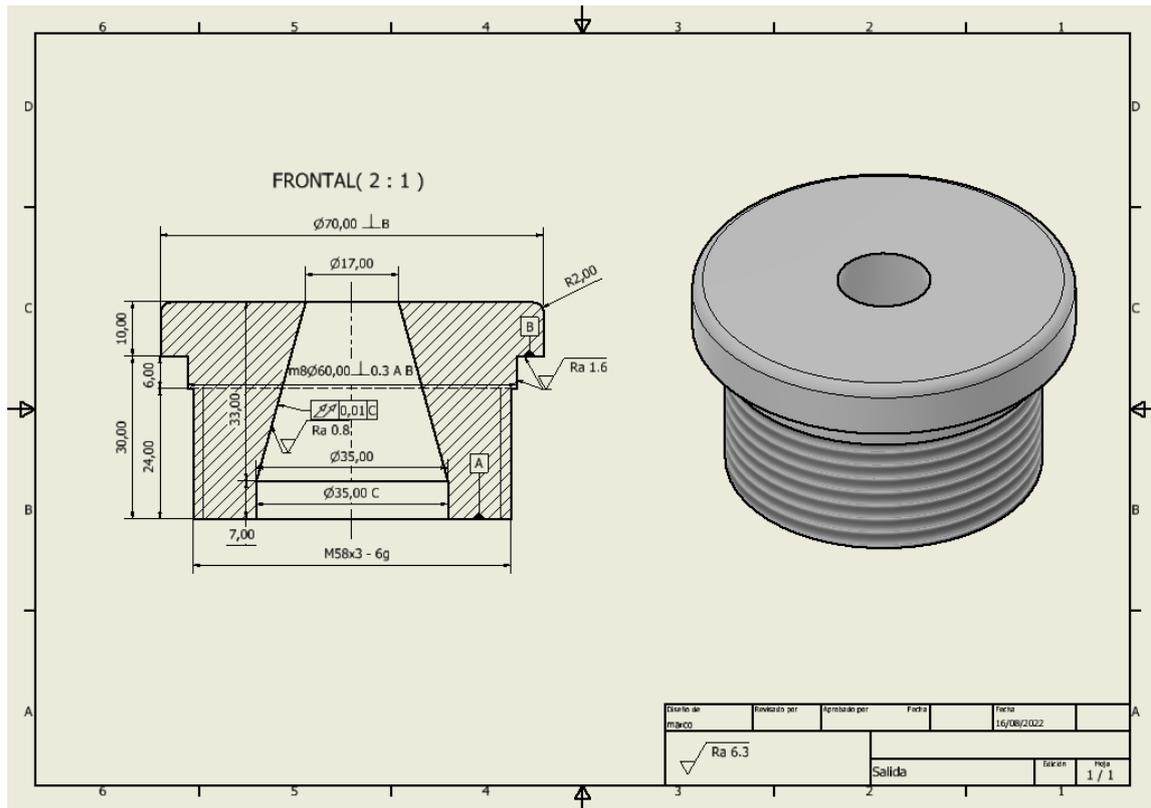












7. CIRCUITO AUTOMÁTICO

A continuación, se modela el funcionamiento de la máquina con el controlador lógico programable de código abierto OpenPLC. Se establecen unas variables de entrada (in), unas de salida (out) y el circuito interno que gobierna las mismas. En primer lugar, se muestra el circuito de la preparación del chocolate y en segundo el de la extrusión del mismo.

Preparación

Las variables del circuito son las siguientes:

#	Nombre	Clase	Tipo	Documentación
1	IP	Local	BOOL	Inicio Preparación
2	PM	Local	BOOL	Pulsador de Marcha
3	PRE	Local	BOOL	Paro Resistencias
4	PP	Local	BOOL	Paro Preparación
5	ER	Local	BOOL	Encendido Resistencias
6	EG	Local	BOOL	Encendido Giro del eje
7	RE	Local	BOOL	Resistencias
8	G	Local	BOOL	Giro del eje
9	SH0	Local	BOOL	Sensor: llegada a H0
10	PH0	Local	BOOL	Piloto llegada H0
11	CT1	Local	BOOL	Sensor llegada T1
12	CT2	Local	BOOL	Sensor llegada T2
13	CT3	Local	BOOL	Sensor llegada T3
14	CT4	Local	BOOL	Sensor llegada T4
15	CT5	Local	BOOL	Sensor llegada T5
16	SR0	Local	SR	Biestable Inicio/Paro
17	VarTime1	Local	TIME	
18	VarTime2	Local	TIME	
19	VarTime3	Local	TIME	
20	VarTime4	Local	TIME	
21	VarTime5	Local	TIME	
22	VarTime6	Local	TIME	
23	VarTime7	Local	TIME	
24	TON0	Local	TON	
25	TON1	Local	TON	
26	TON2	Local	TON	
27	TON3	Local	TON	
28	TON4	Local	TON	
29	TON5	Local	TON	
30	TOF0	Local	TOF	
31	RS0	Local	RS	Biestable Resistencias

La variable de 'Inicio de Preparación' (IP) da comienzo a la preparación activando la bobina 'Pulsador de Marcha' (PM) que a su vez activa el giro del eje (G) que mezclará el chocolate y las resistencias (RE) para calentarlo.

El operario deberá introducir la cantidad de chocolate prefijada por el ordenador y que estará reflejada en la pantalla. Una vez que se haya introducido, el sensor de nivel de líquido SH0 se activará, que a su vez activará la bobina para el encendido del piloto PH0. El piloto informa al operario de que la cantidad necesaria de material ha sido introducida. Anexo: altura de líquido.

A continuación, comienza el ciclo de temperatura para el tratamiento del chocolate:

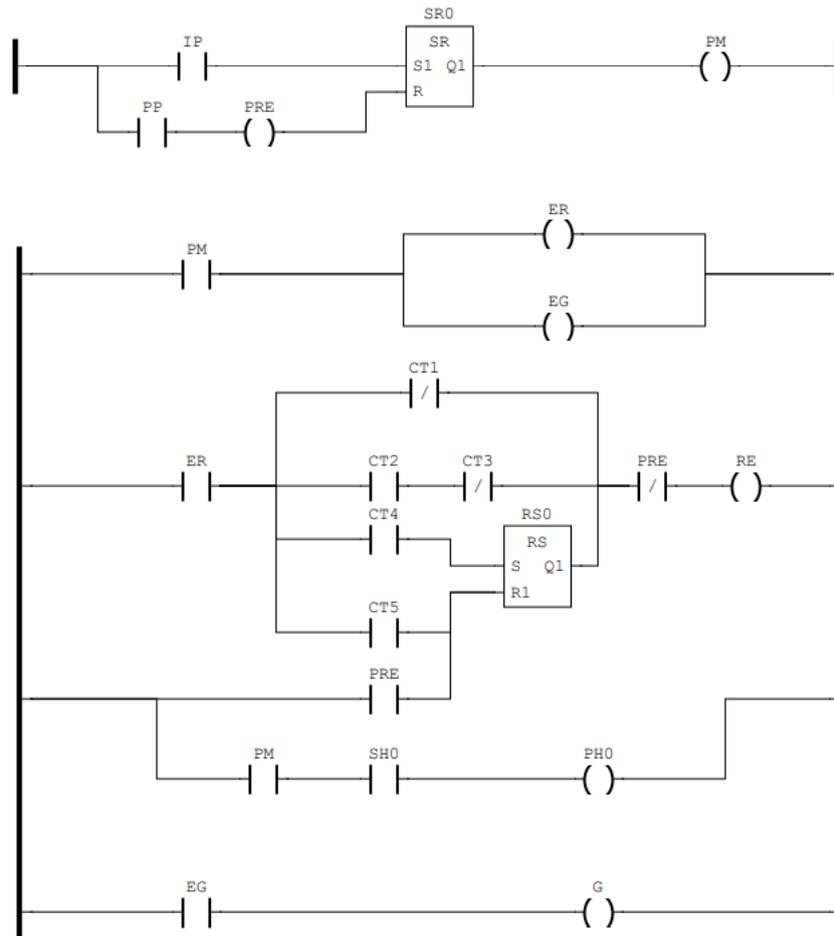
Pasado un tiempo (VarTime1), el chocolate alcanza la temperatura T1, por lo que el sensor de temperatura 'Sensor llegada T1' (LT1) se activa y su bobina corta la alimentación a la resistencia.

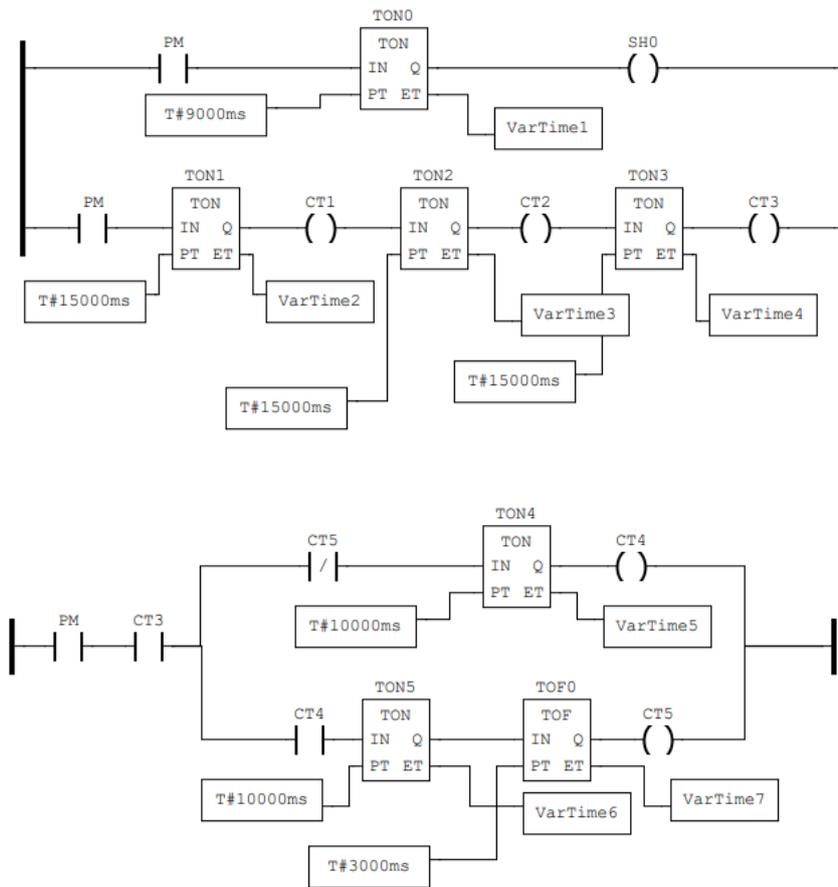
Al no funcionar la resistencia, la temperatura baja. Pasado un tiempo 'VarTime2' la temperatura baja hasta T2 lo que hace que se active el sensor LT2 que a su vez enciende la resistencia. Continúa el ciclo cuando se alcanza la temperatura T3, momento en que la resistencia se vuelve a parar.

A partir de aquí, el ciclo de temperatura se ha completado, luego el chocolate ya se encuentra a la temperatura y microestructura adecuadas. En caso de no haber comenzado la extrusión, se activa el Pulsador de Paro para enviar chocolate al inyector. Sin embargo, si el inyector ya tiene chocolate y está funcionando, el ciclo de mantenimiento de la temperatura entre T4 y T5 continua hasta que el inyector se vacíe de chocolate.

La activación del Pulsador de Paro 'PP' mediante el biestable SR0 hace que se desactive el Pulsador de Marcha 'PM' y se desactive tanto el giro del eje 'G' como la resistencia 'RE'. En caso de que el biestable conmutado por CT4 Y CT5 esté suministrando corriente a la resistencia, se fija en posición de reset (apagado) mediante la bobina 'PRE'.

El circuito de preparación ya ha cumplido su función. A continuación, se pone en marcha el circuito que lleva el material hacia el inyector para comenzar la extrusión.





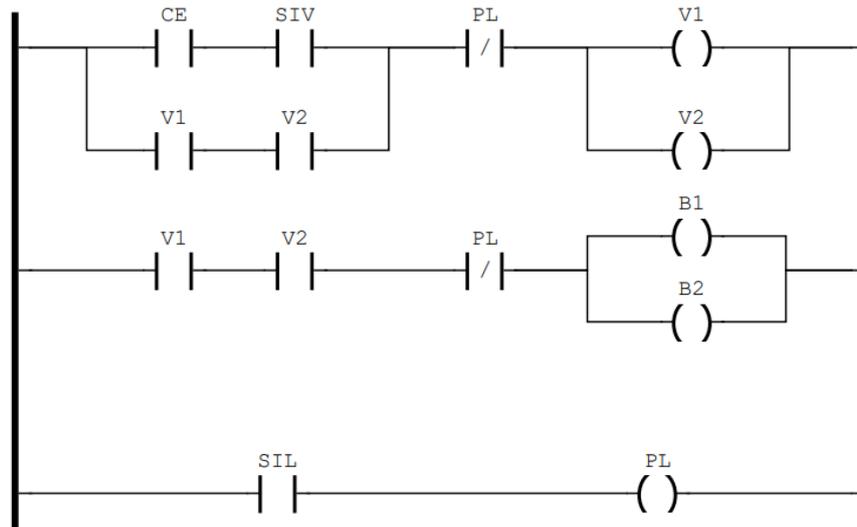
Extrusión

Las variables del circuito son las siguientes:

#	Nombre	Clase	Tipo	Documentación
1	CE	Local	BOOL	Comienzo Extrusión
2	SIV	Local	BOOL	Sensor Inyector Vacío
3	SIL	Local	BOOL	Sensor Inyector Lleno
4	PL	Local	BOOL	Paro Llenado
5	V1	Local	BOOL	Válvula 1
6	V2	Local	BOOL	Válvula 2
7	B1	Local	BOOL	Bomba 1
8	B2	Local	BOOL	Bomba 2

Tras acabar la preparación se activa el pulsador de Comienzo Extrusión 'CE' que activa las válvulas 1 y 2 y las bombas 1 y 2 siempre y cuando el sensor de vacío del inyector esté activado. Es decir, que haya una necesidad de llenar el inyector.

Una vez se llena el inyector se activa el sensor de llenado 'SIL' que a su vez activa el sensor de paro de llenado. Se cierran las válvulas y se paran las bombas.



8. MOVIMIENTO DEL BRAZO ROBÓTICO

Como se explica en el apartado “5. Descripción y funcionamiento”, idealmente el presente producto debería estar dotado de un hardware y software que realice la entrada del diseño y sus ajustes de impresión a través de la pantalla. También realizaría la gestión del proceso controlando los actuadores necesarios, así como el movimiento del brazo robótico. Como lo anterior no es cometido del presente trabajo, se realiza una simulación del movimiento del brazo robótico con la herramienta de software RoboDK. No sólo se hace una simulación, sino que el programa muestra un código con extensión “.src” que es legible para los brazos robóticos y máquinas de CNC para realizar sus movimientos.

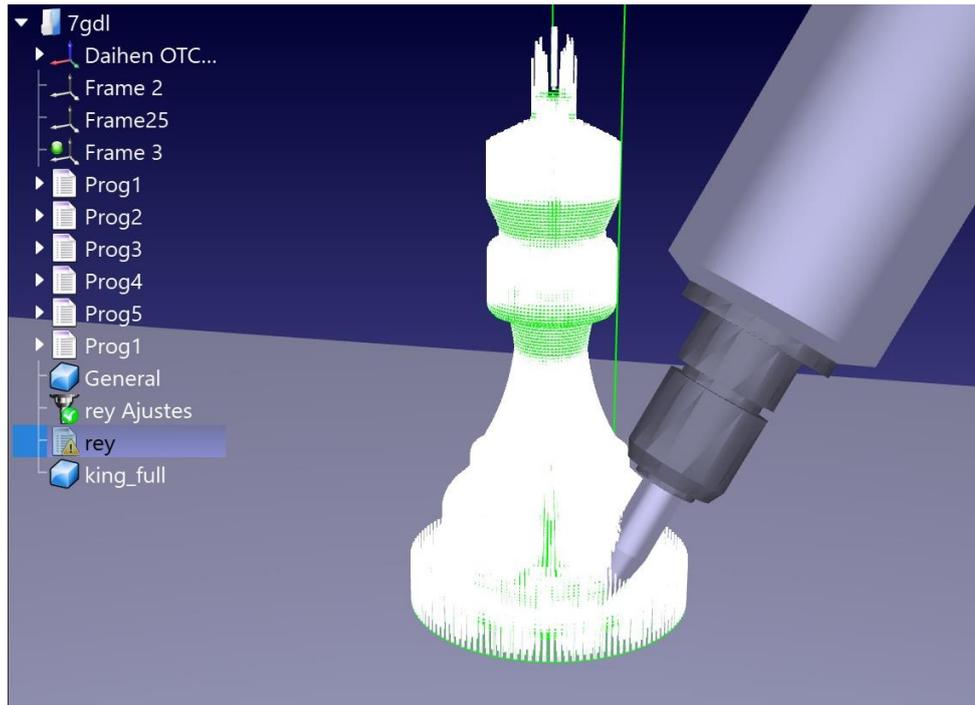
Impresora 3D vs brazo robótico

El trabajo podría haberse realizado perfectamente utilizando para extruir una impresora 3D en vez de un brazo robótico. El proceso de impresión en 3D es ampliamente conocido debido a su simplicidad: consta del movimiento de motores en 3 ejes, movimiento del motor del extrusor y control de la temperatura del extrusor.

Además, existen impresoras comerciales y un gran número de usuarios las utilizan. El conocimiento adquirido por las experiencias de estos usuarios es compartido en la red y conforma una constelación de conocimiento práctico sobre el funcionamiento del proceso de extrusión mediante impresora 3D.

Para el presente trabajo, inicialmente, estaba decidido utilizar el método de la impresión 3D convencional para la extrusión del chocolate. Sin embargo, con un ánimo de innovar, se consultó la posibilidad de utilizar un brazo robótico. En esa documentación, se descubrieron algunas ventajas de la impresión en 3D mediante brazo robótico:

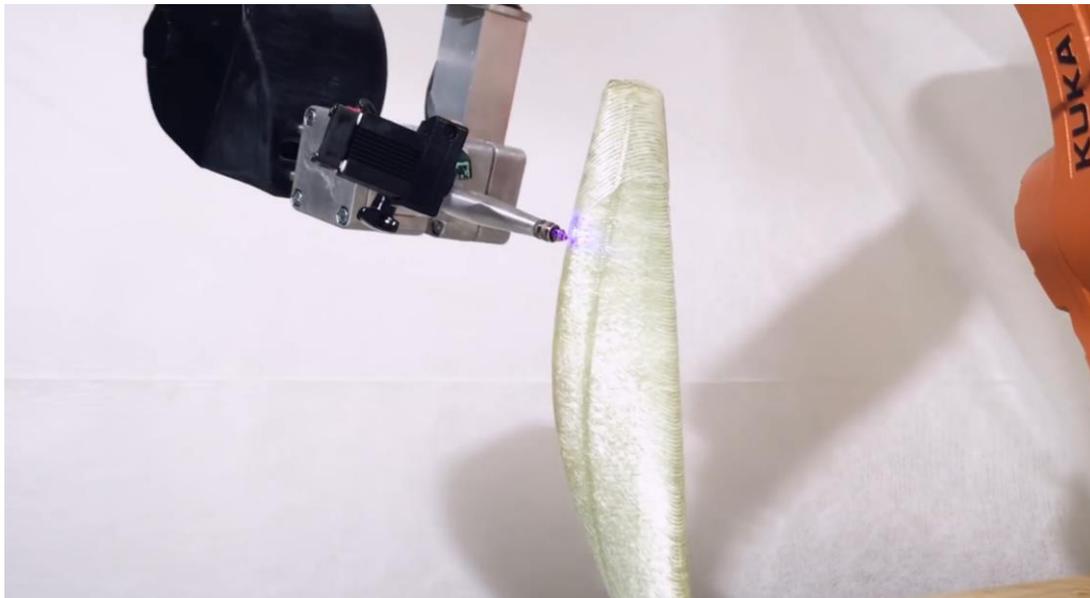
1. El brazo robótico tiene la posibilidad de orientar el extrusor en la dirección que se desee. Idealmente, el objetivo es que la orientación sea de 30° respecto a la vertical, dejando así espacio atrás al material extruido. El material al salir de la boquilla no se encontrará con un incómodo camino a 90° sino que podrá colocarse con más facilidad formando un ángulo de 120° . Lo contrario sucede en la impresión 3D, en donde el extrusor siempre está orientado en la dirección vertical. Esta modalidad de extrusión está más cerca de garantizar que el extrusor no se impregna de material y procura el mejor acabado posible de la pieza.



Extrusión de una pieza de ajedrez con el programa RoboDK en el que se aprecia cómo va alcanzando orientaciones con una inclinación a favor de las trayectorias y formando 30° con respecto a la vertical.

2. Además de la impresión capa a capa, la extrusión con brazo robótico, debido a la versatilidad del extrusor, permite depositar material sobre la superficie de la pieza sin seguir la directriz de las capas. Esto permite ser más flexible con los métodos de impresión y abre la puerta a la

adición de nuevos detalles que se escapaban a las posibilidades de las impresoras 3D convencionales [52].



Tras extruir capa a capa, el brazo robótico es capaz de hacer una extrusión oblicua sobre la superficie de la pieza [52].

3. Aunque no es incumbencia del presente trabajo, los brazos robóticos son clave para la impresión de material con fibra orientada. La fibra del material a imprimir debe de seguir una trayectoria concreta para poder aprovechar sus cualidades mecánicas. La normalización de procesos utilizando brazo robótico puede dar un empujón a la difusión de esta técnica [52].
4. La utilización de brazos robóticos lleva a su normalización de uso y a la adquisición de multitud de conocimiento de tipo práctico sobre sus posibilidades, limitaciones y un sinfín de problemas y sus soluciones. Ello abre un abanico de nuevas posibilidades y usos para los que será útil el brazo robótico. El presente proyecto busca hacer una modesta aportación que suponga un avance en todo el conocimiento científico relacionado con los brazos robóticos.

Grados de libertad

Los robots de 4 grados de libertad son a menudo usados para tareas de chequeo, posicionamiento o ensamblaje de piezas. Aumentando en la escala de grados de libertad nos encontramos con robots posicionadores, cortadores, soldadores o empaquetadores. Cada uno con características propias y útiles para su propósito [64].

Para el trabajo actual, se necesita posicionar la herramienta en determinados lugares dentro del rango del brazo y con una orientación predefinida para cada uno de los puntos. El robot adecuado para tal propósito es el de 6 grados de libertad. Sin embargo, y teniendo en cuenta tanto toda la literatura

sobre problemas de singularidad (anexo 10.3) como las diversas pruebas realizadas con el programa RoboDK, la conclusión es que el robot elegido deberá tener 7 grados de libertad.

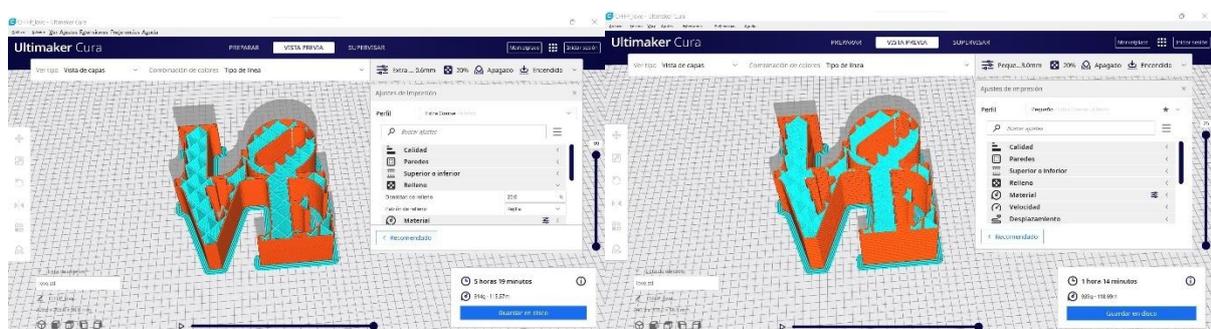
Eligiendo bien la zona en la que trabajará el robot teniendo en cuenta cuestiones de manipulabilidad (como el rango o el índice de Yoshikawa) y cuidando el diseño se puede aspirar a trabajar con un brazo robótico de 6 g.d.l.. Sin embargo, y debido a que se debe mantener la orientación de la herramienta a lo largo de todo el recorrido, en las distintas simulaciones el brazo robótico entraba en posiciones de singularidad, por lo que perdía un grado de libertad, quedándose en 5 grados de libertad y tratando de realizar un movimiento imposible, por lo que el programa de movimiento del brazo daba error y el proceso se paraba. La solución es utilizar un robot de 7 g.d.l. para que, en caso de que en un movimiento se perdiese un g.d.l., el robot continuaría teniendo 6 por lo que el proceso continuaría sin problemas.

Aún así, si en algún diseño se incurriera en un problema de singularidad por la pérdida de 2 grados de libertad, agregar otro grado de libertad al brazo pecaría de ingenuidad, ya que el coste se dispararía y, en general, no se estaría dando uso al grado de libertad añadido. La solución en estos casos es seguir la teoría de la manipulabilidad y tratar de posicionar el movimiento en mejor posición, modificar el diseño o, directamente, obligar a que por esas posiciones la herramienta no trace un ángulo de 30 grados con la horizontal, sino que en los alrededores de la singularidad la herramienta se mantenga vertical.

Proceso del movimiento del brazo robótico

A continuación, se describe el proceso que se ha seguido en el presente TFG:

Primeramente, seleccionamos el modelo que se quiere imprimir y se convierte a formato “.stl”. El archivo se abre con el programa Ultimate Cura en donde se separará por capas. Se pueden modificar parámetros tales como el diámetro del extrusor, la altura de capa, la velocidad y temperatura de extrusión. Además, puede escalarse y rotar el modelo a conveniencia.



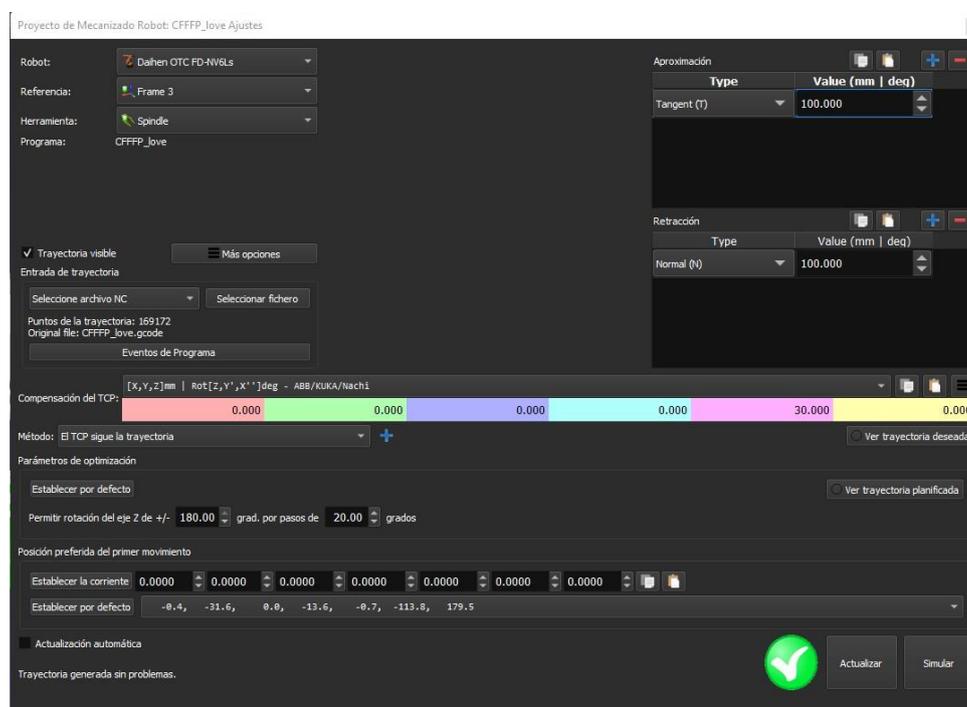
Diseño de las letras “LOVE”. A la izquierda con un diámetro de extrusor de 0,6 mm y a la derecha de 3 mm.

Tras los ajustes, el archivo generado tiene formato “.gcode”.



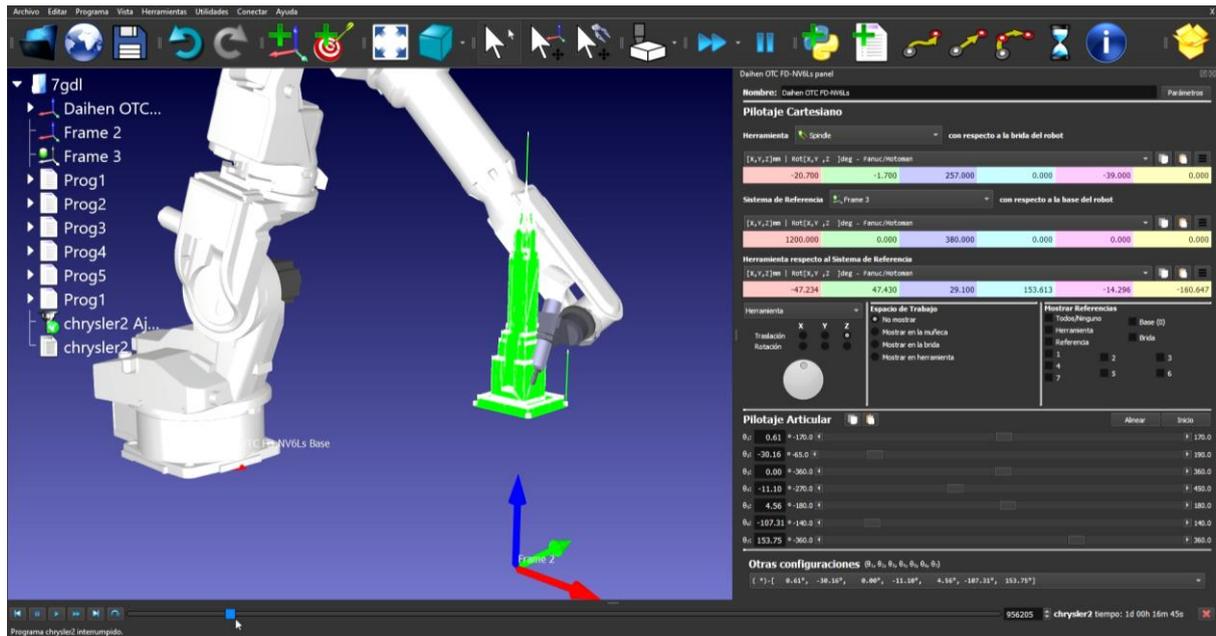
Guardado del archivo en formato “.gcode”.

Una vez configurada la estación de RoboDK con el robot ‘Daihen OTC FD-NV6Ls’ de 7 grados de libertad con sus respectivas referencias, una de ellas donde se insertará la pieza, se introduce el diseño con formato “.gcode”. Automáticamente, salta la opción de configuración del movimiento que realizará el robot. Se selecciona el robot, la herramienta a utilizar y la referencia sobre la que se asentará el diseño a extruir. Como se ha mencionado anteriormente, es importante situar la referencia en un punto que minimice la posibilidad de encontrar puntos singulares. Se selecciona la visibilidad de la trayectoria. Se selecciona que la herramienta se mueva en función de la trayectoria y, con la denominación característica de determinación de posición y orientación de los robots ABB, KUKA y Nachi, se gira la herramienta 30º respecto a la vertical.



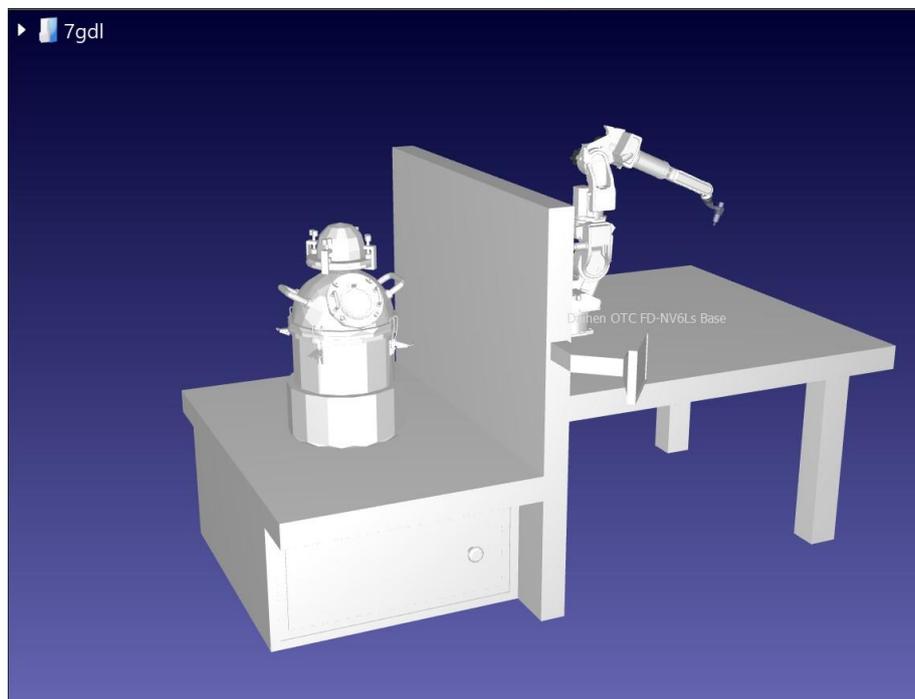
Pestaña de configuración de parámetros del movimiento del brazo robótico.

Tras determinar estos y otros parámetros en caso de que se deseen, se pulsa actualizar para generar la trayectoria y después simular para comenzar la simulación.

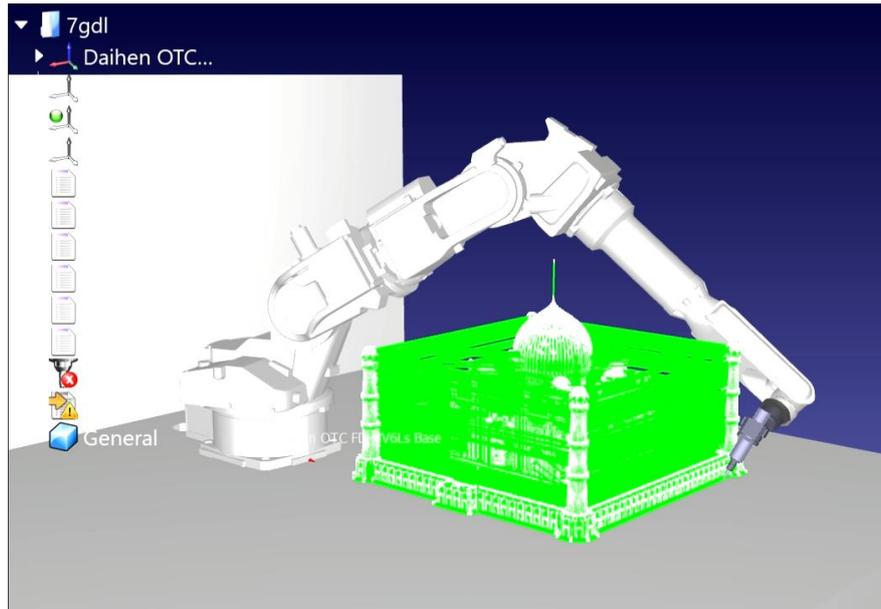


Impresión de un edificio Chrysler en miniatura con el programa RoboDK.

Cargando el archivo “.stl” del tanque y la mesa y haciendo la correspondiente labor de posicionamiento, giro y escalado, se puede colocar el resto de la máquina en el programa RoboDK. A continuación, se extruye el modelo de un Taj Mahal.



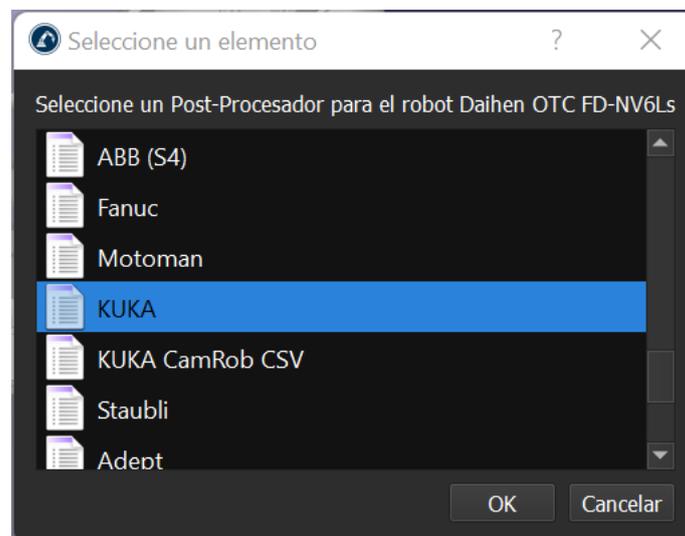
Máquina completa en el espacio de RoboDK.



Extrusión del modelo del Taj Mahal.

Además de la simulación, se ha generado un archivo legible para brazos robóticos y máquinas CNC con una extensión “.src”.

RoboDK da la opción de elegir diferentes post-procesadores. Esto quiere decir que se puede pasar el movimiento del robot de un archivo “.gcode” a un archivo interpretable por distintas marcas de brazo robótico. Algunas de las más famosas son ABB, Fanuc, Motoman, KUKA, Mitsubishi, Nachi, OTC Dahien, Yamaha, Toshiba, Hyundai, Kawasaki, Siasun, Siemens...

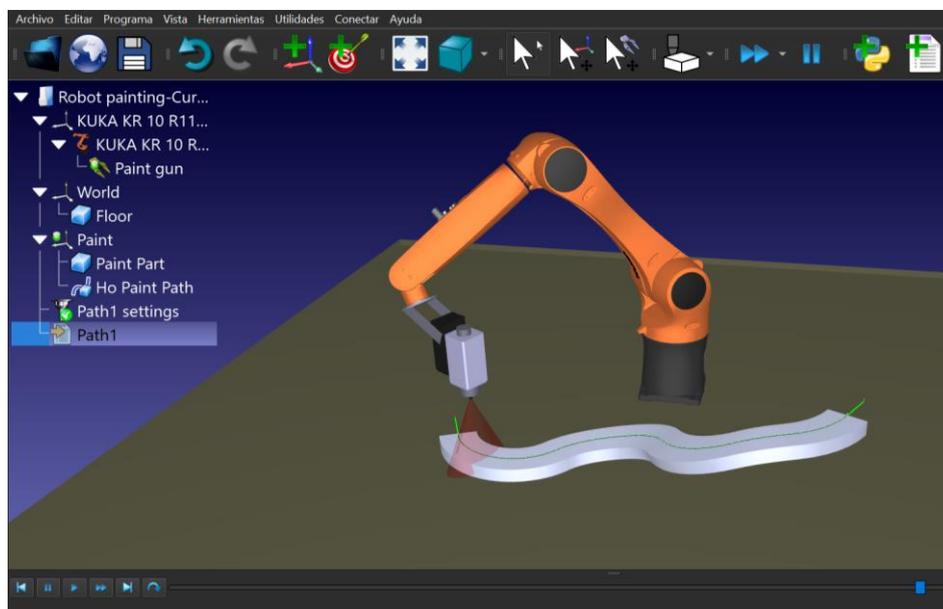


Ventana para la elección del post-procesador.

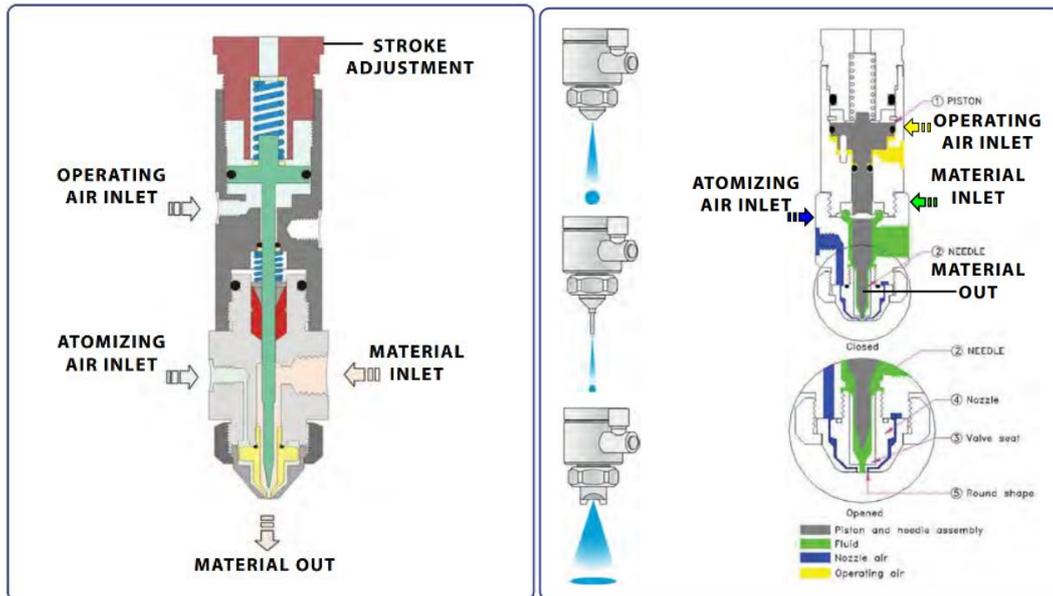
9. RETOS PARA EL FUTURO

9.1. PINTADO

Además de la extrusión, la herramienta puede tener acoplada una pistola para pintar la pieza. Actualmente existen tintas comestibles con las que se imprime en papel comestible. Además, se tiene el conocimiento necesario para diseñar una pistola capaz de pintar en diferentes colores, abriendo el orificio en el momento y magnitud necesarios para, mezclándose con los demás colores, poder pintar la pieza en los colores adecuados. El chef Amaury Guichon ya incluye el pintado en sus diseños pero, como sucede en todo el proceso de creación, lo hace de forma manual [28].



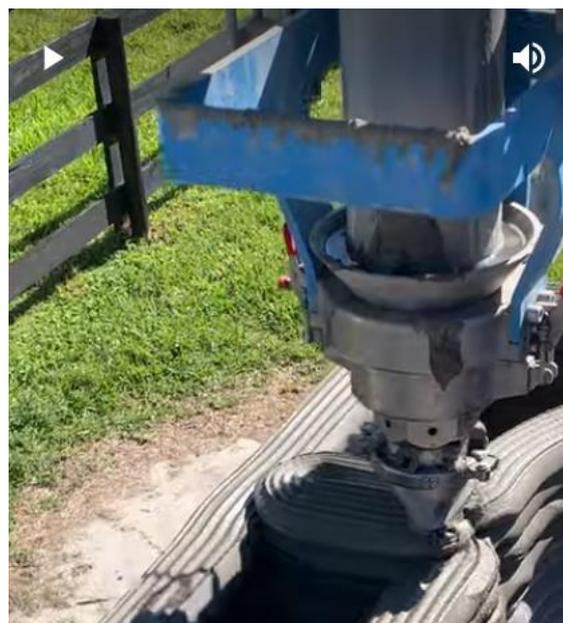
Simulación de pintado con un robot KUKA y una pistola como herramienta. Ejemplo extraído de la librería que incluye RoboDK.



Esquema de propuestas de atomizadores para el pintado de la pieza [65].

9.2. CABEZAL FINAL GIRATORIO

La mayoría de los problemas de singularidad que han surgido en el desarrollo del presente proyecto son debidos a que el extremo del brazo ha de alcanzar en las sucesivas posiciones un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal y la proyección de la herramienta ha de ser tangente al camino trazado. Un cabezal giratorio en el extremo del brazo con capacidad de girar sin restricción (infinitos grados) ayudaría notablemente a evitar posiciones de singularidad [66].



Máquina capaz de imprimir cemento para realizar construcciones cuyo extremo gira infinitos grados [66].

9.3. LIMITACIONES DEL PROYECTO

El presente proyecto esboza las líneas maestras sobre cómo debería ser el funcionamiento de una impresora 3D de chocolate mediante brazo robótico. Por tanto, se encuentra inacabado y no está listo para ser producido y vendido.

A continuación, se describen algunas cuestiones a mejorar del presente proyecto que no se han podido abordar, principalmente por una carencia de información de tipo práctico y experimental.

Vórtices de Succión

En cuanto a la succión del chocolate por medio de las bombas, se ha propuesto anteriormente mantener una cantidad de líquido precaucionaria para evitar la entrada de aire en el circuito [67] [68] [69].

Además, existen en el mercado diversos mecanismos para extraer el aire de un líquido. En la documentación de la introducción, se muestra un sistema de extracción de aire que posee el émbolo que empuja la mezcla que puede ser un gran aliado para este cometido [54].

Aislamiento térmico

El calor producido por el calentamiento del material ha de ser apropiadamente aislado ya que puede interferir en el desarrollo de otros procesos [70].

El brazo robótico es sistema que puede tener una afectación más notable ya que una dilatación o contracción de sus componentes puede suponer una pérdida de exactitud en las posiciones alcanzadas del mismo, teniendo esto un resultado fatal para los diseños.

Fuerzas de inyección

Tal y como se ha comprobado en las diversas pruebas experimentales expuestas en el anexo “10.1. Tratamiento del material a extruir”, una menor temperatura del líquido supone unas mayores fuerzas para extruir el material. Es por ello, que se debe diseñar un inyector y una válvula extrusora que sean capaces de manejar las fuerzas necesarias para realizar la extrusión del material.

Limpieza

Aunque el tanque está diseñado para ser relativamente fácil desmontado y lavado, es posible que otras piezas de difícil acceso no lo sean tanto. Es por ello que es necesario incluir un circuito de limpieza que utiliza agua a alta temperatura y hacerla circular por todo el circuito desde las bombas al extrusor para efectuar una correcta limpieza. Lo último que se desea en una máquina son atascos, averías e inclusiones de impurezas en el material extruido.

10. ANEXO

10.1. TRATAMIENTO DEL MATERIAL A EXTRUIR

Tratamiento del chocolate

El chocolate para utilizar en pastelería ha de seguir un tratamiento para que sea de alta calidad. Las cualidades de las que se le dota son un aspecto de brillo, liso y uniforme. A ello se añade que su rotura ha de ser crujiente y limpia además de ser fácil de desmoldar [71] [72].

Para ello, primero se le ha de mezclar con la manteca de cacao, una grasa derivada de la semilla de cacao al igual que el chocolate, en una proporción del 32%.

Después, se ha de fundir, enfriar, y llevar a cabo la técnica del atemperado. El atemperado consiste en calentar la mezcla hasta una temperatura y después enfriar levemente. Esto consigue devolver a la manteca de cacao su estructura cristalina.

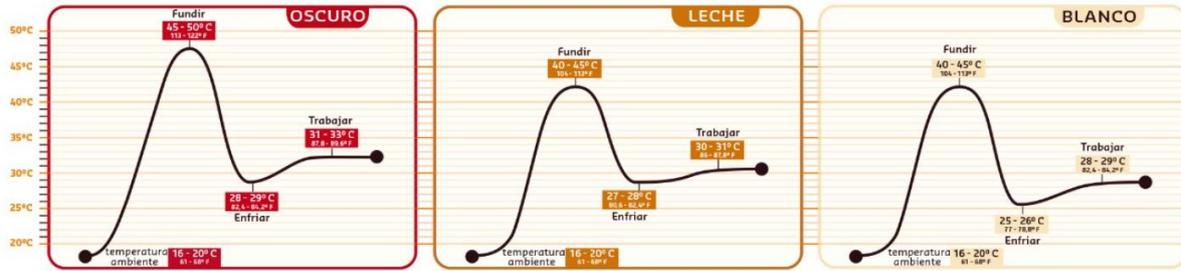
De no hacerse bien el proceso el chocolate tendrá un carácter frágil, de superficie irregular, aspecto con ausencia de brillo y con presencia de trazas blancas y dificultad para desmoldar.

Hay que tomar precauciones con la temperatura máxima que se aplica, ya que en el chocolate blanco y el chocolate con leche pasados los 50°C se produce un quemado de la lactosa lo cual estropea el chocolate.

A continuación, se detalla el ciclo de temperaturas a realizar en función del tipo de chocolate:

	Derretir	Enfriar	Temperar
Chocolate negro	46° a 49° C	27° a 28° C	31° a 32° C
Chocolate con leche	43° a 46° C	26° a 27° C	29° a 30° C
Chocolate blanco	43° a 46° C	26° a 27° C	29° a 30° C

Tabla resumen del ciclo de temperaturas en función del tipo de chocolate [73].



Gráficas de temperatura en función del tipo de chocolate [74].

Prueba experimental

A continuación, se realiza una prueba experimental en la que se comprueba la factibilidad de llevar el chocolate hasta la temperatura de 50º, para después enfriar y atemperar. El chocolate usado es de una pureza del 95% con manteca de cacao. Además, se comprueba la factibilidad de su extrusión utilizando una jeringa que imitaría al inyector. También se utiliza un ventilador para solidificar el chocolate.



Fundido y enfriado del chocolate.



Atemperado del chocolate para conseguir la microestructura óptima.



Extrusión del material con enfriado de un ventilador y limpieza satisfactoria del inyector con agua caliente.

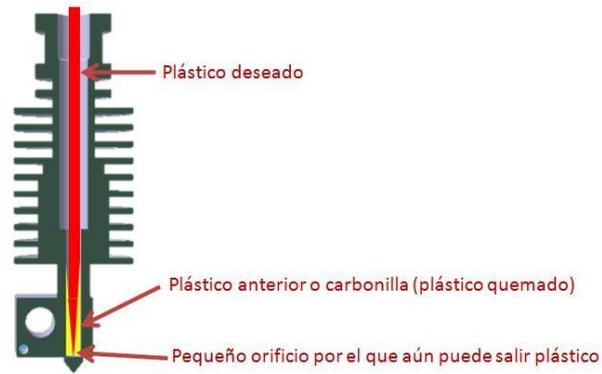
El resultado es satisfactorio en cuanto a la calidad del material ya que el chocolate adquiere un aspecto brillante, homogéneo y con una rotura crujiente, signos de que el material ha tenido un tratamiento óptimo. La información más valiosa se obtiene de la temperatura de extrusión: una extrusión a menor temperatura facilita la solidificación del material, pero también requiere unas fuerzas de inyección mayores. Por tanto, debe prestarse atención a este hecho y actuar en consecuencia.

10.2. PROBLEMAS DE EXTRUSIÓN EN IMPRESORAS 3D

El presente brazo robótico posee un extrusor para imprimir el diseño al igual que las impresoras 3D actuales. Existe una considerable cantidad de información sobre los problemas habituales que surgen en la impresión de piezas en 3D. Dicho conocimiento es útil para prevenir posibles problemas en la extrusión de los diseños. A continuación, se mencionan primero los problemas que podría llegar a tener la impresión en 3D de chocolate y, posteriormente, otros problemas que surgen en las impresoras 3D pero que para el presente caso es improbable que ocurran.

Atasco por impurezas

Tanto el extrusor como el conducto que lleva el material hacia él podría atascarse por impurezas externas o por restos de material adheridos en las paredes, usualmente restos quemados. El atasco puede producir que no salga material del extrusor o que salga una cantidad menor, lo cual provoca el fenómeno de la subextrusión [75].



Esquema de atasco por impurezas [75].

Escape de material

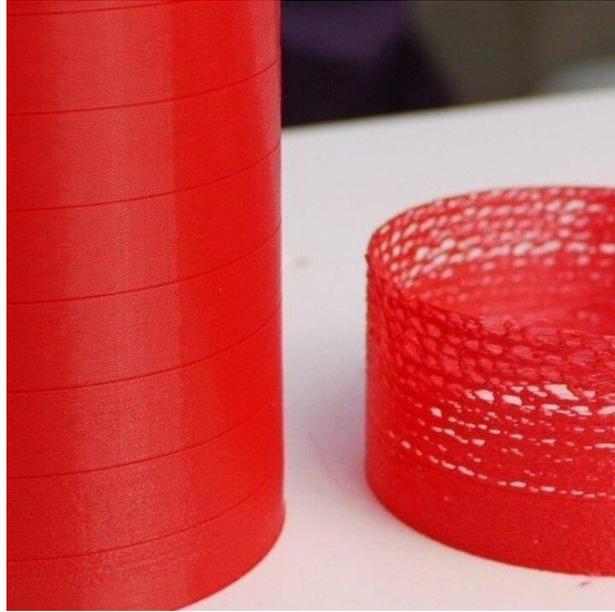
Las piezas del extrusor se encuentran rotas o mal ajustadas y hay un escape de material. También puede suceder debido a un atasco: el material se encuentra a alta presión y encuentra otros orificios por los que salir [76].



Escape de material [76].

Falta de presión

No se proporciona suficiente presión de inyección al material y se produce subextrusión [77].



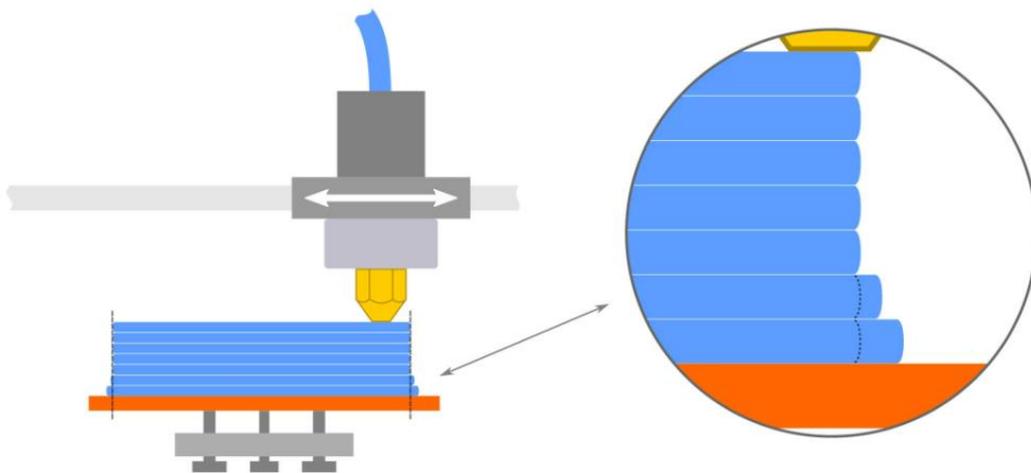
A la izquierda pieza extruida sin problemas. A la derecha pieza con subextrusión [77].

Problemas en la primera capa

La falta de material extruido en la primera capa puede deberse al contacto del extrusor sobre la cama. Para solucionar este problema se deberá recalibrar la posición base [78]. Por el contrario, una altura excesiva puede provocar que el material no se adhiera correctamente a la cama y se produzca un levantamiento de la base, denominado 'warping'. En un apartado posterior se comentará más en detalle el caso del 'warping' [79].

Pie de elefante

Se trata de otro problema en la primera capa. Sucede que la base es más ancha que en el resto de la pieza. Puede ocurrir o bien porque el extrusor se encuentra demasiado cerca de la cama y produce un hilo demasiado ancho o bien porque la extrusión de la base se encuentra caliente, maleable, ya al posarse encima el resto de la pieza hace que los hilos inferiores se compriman y se vuelvan más anchos. Bajar la temperatura de extrusión sería una buena solución [80].



Esquema de cómo se produce el pie de elefante [80].

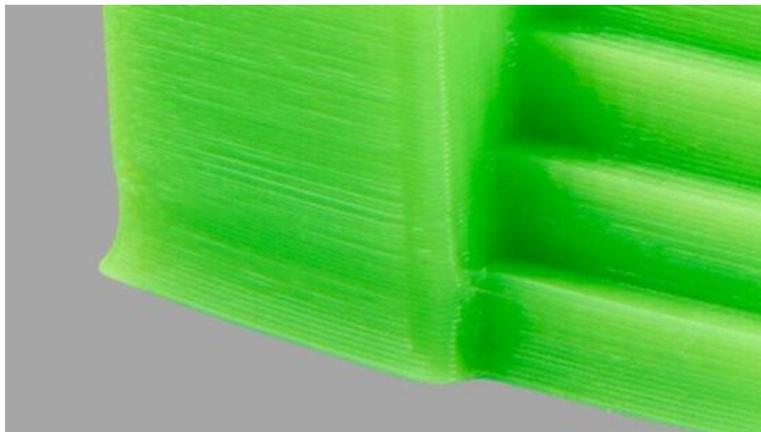
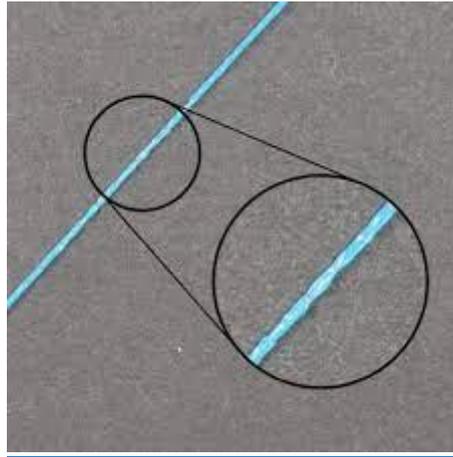


Imagen del pie de elefante [80].

Extrusión heterogénea

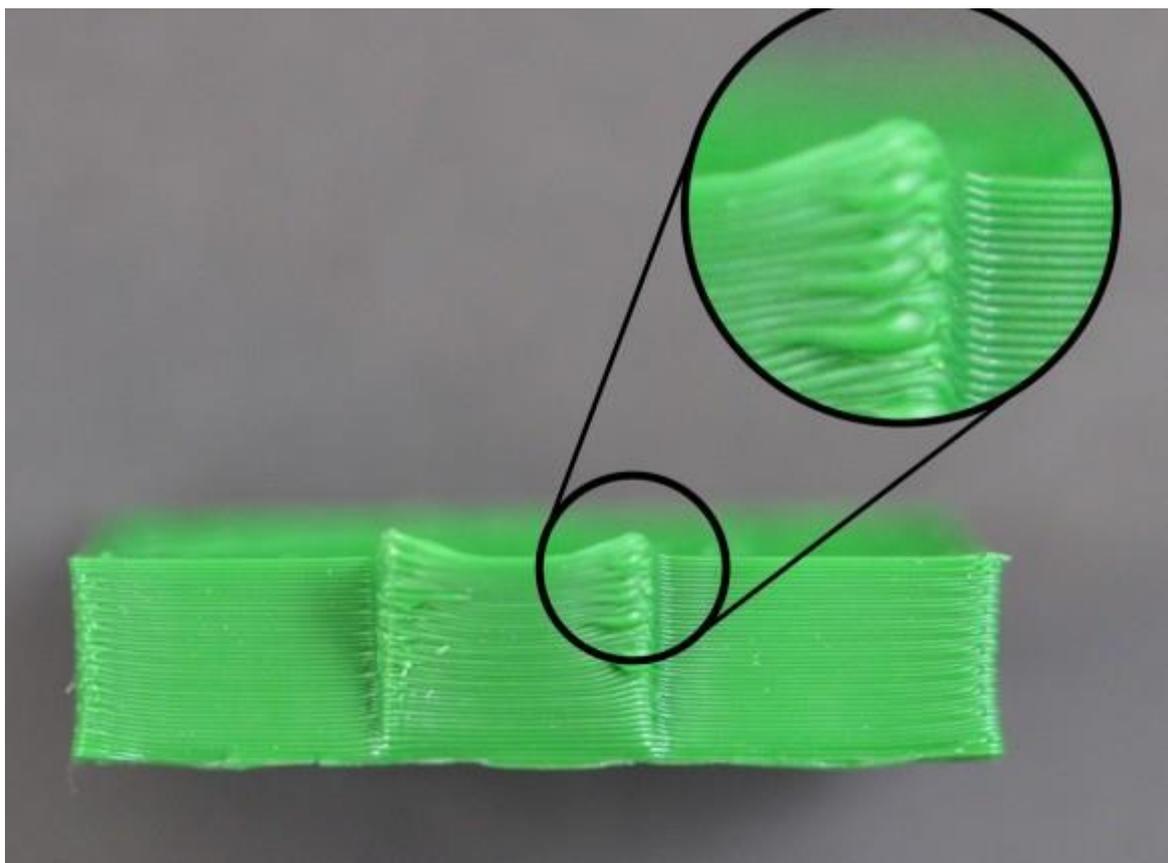
Las líneas impresas no son homogéneas, sino que algunas son más delgadas y otras más gruesas. Esto puede suceder por múltiples motivos desde atascos en el extrusor, temperaturas que varían durante la extrusión, variaciones de velocidad anormales... [81]



Extrusión heterogénea [81].

Curvamiento. Curling

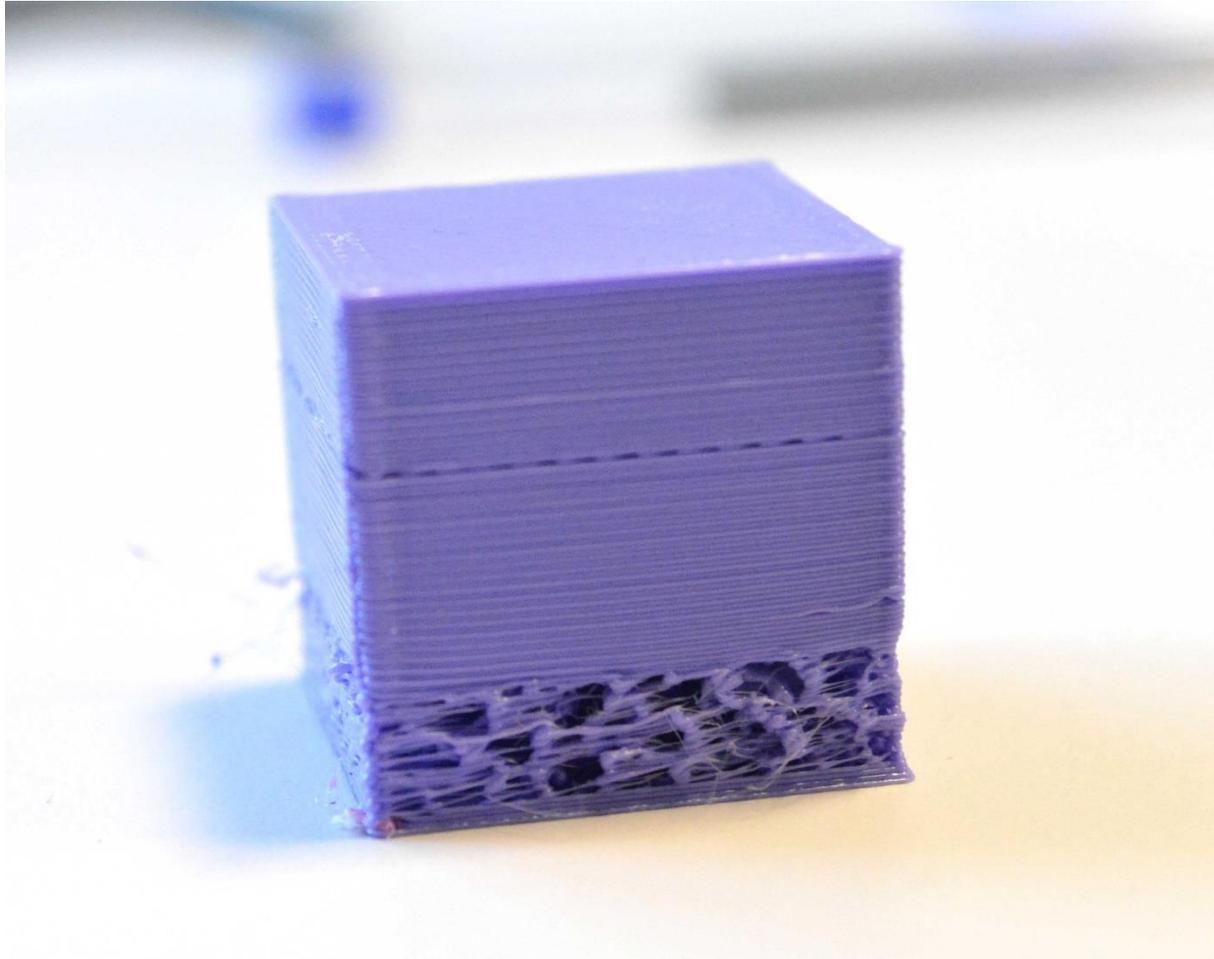
Esta deformación sucede cuando la temperatura del material es demasiado alta y precipita del lugar en el que debería estar. La solución es bajar la temperatura hasta alcanzar la adecuada o una mejor refrigeración [82].



Curvamiento [82].

Subextrusión

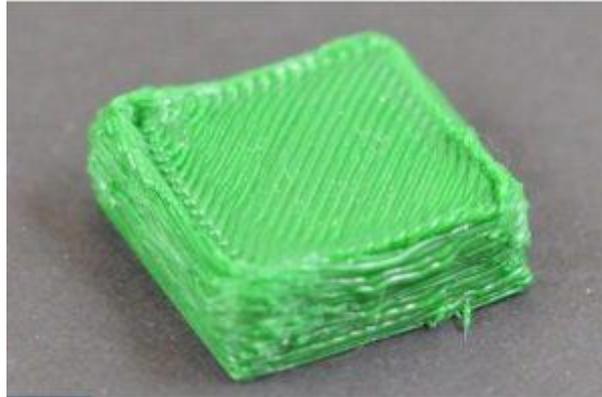
Ocurre cuando el material extruido no es el suficiente y queda un hilo demasiado fino. Los motivos pueden ser varios desde atascos, extrusor demasiado pequeño, temperatura demasiado baja... También puede hacerse una calibración del multiplicador de extrusión, es decir, el caudal de material extruido que pasa por la boquilla [83] [84].



Infraextrusión [83].

Sobreextrusion

Al contrario que la subextrusión, en este caso se deposita más material del deseado. Las razones también son varias ya veces opuestas a las de la subextrusión: extrusor demasiado grande, temperatura demasiado alta... También se puede ajustar la calibración del multiplicador de extrusión [84] [85].



Sobreextrusión [86].

Agujeros en las capas superiores

Hay un desprendimiento de material en las capas superiores que provoca que haya agujeros en la pieza. Una menor temperatura en dichas capas ayudaría a evitar los desprendimientos, aunque generalmente suele ser un problema de los parámetros de diseño. Incluir una malla debajo sobre la que se apoye la capa superior o aumentar la densidad de la misma en caso de que ya la haya sería la solución para este problema [87] [78].

Overhang

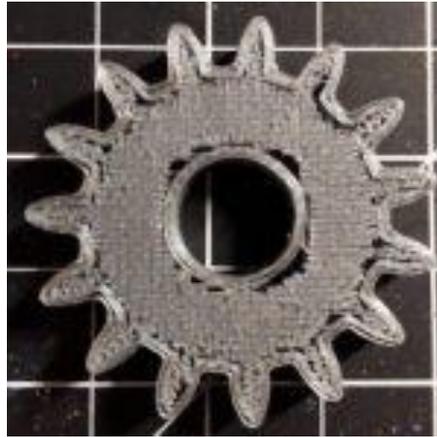
La parte voladiza de la pieza colapsa y cae hacia abajo. Una posible solución es colocar ventiladores más potentes en el extrusor para solidificar más rápido el hilo extruido y evitar que precipite. Construir soportes o cambiar la orientación de extrusión de la pieza pueden ser otras posibles soluciones [88].



Colapso del material extruido [88].

Agujeros entre perímetro y relleno

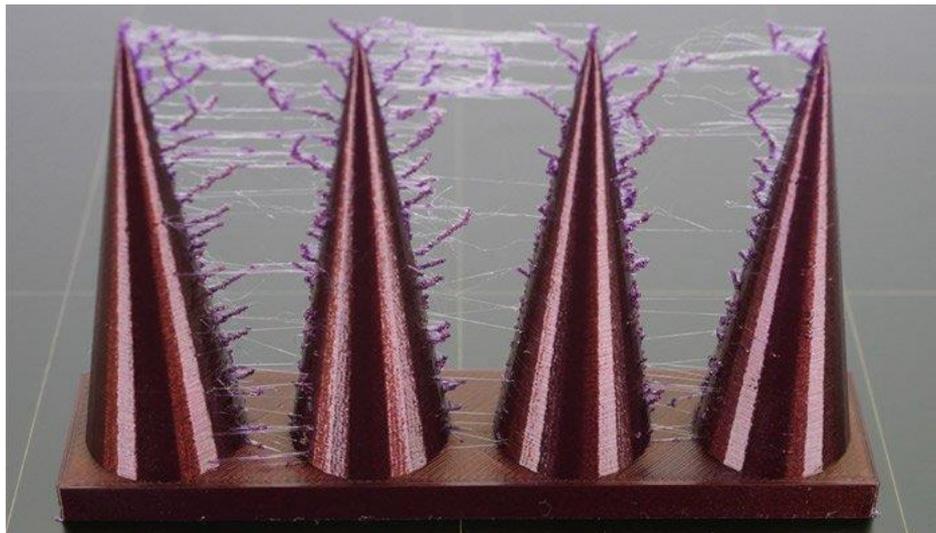
Sucede que hay una separación excesiva entre el perímetro de la pieza y el relleno de la misma (infill). La solución es aumentar el solapamiento (overlap) entre el perímetro y el relleno o bajar la velocidad de extrusión del relleno. Si el problema persiste quizás sea necesario bajar la velocidad de impresión de toda la pieza [78].



Falta de extrusión entre el perímetro y el relleno [78].

Encordado o stringing

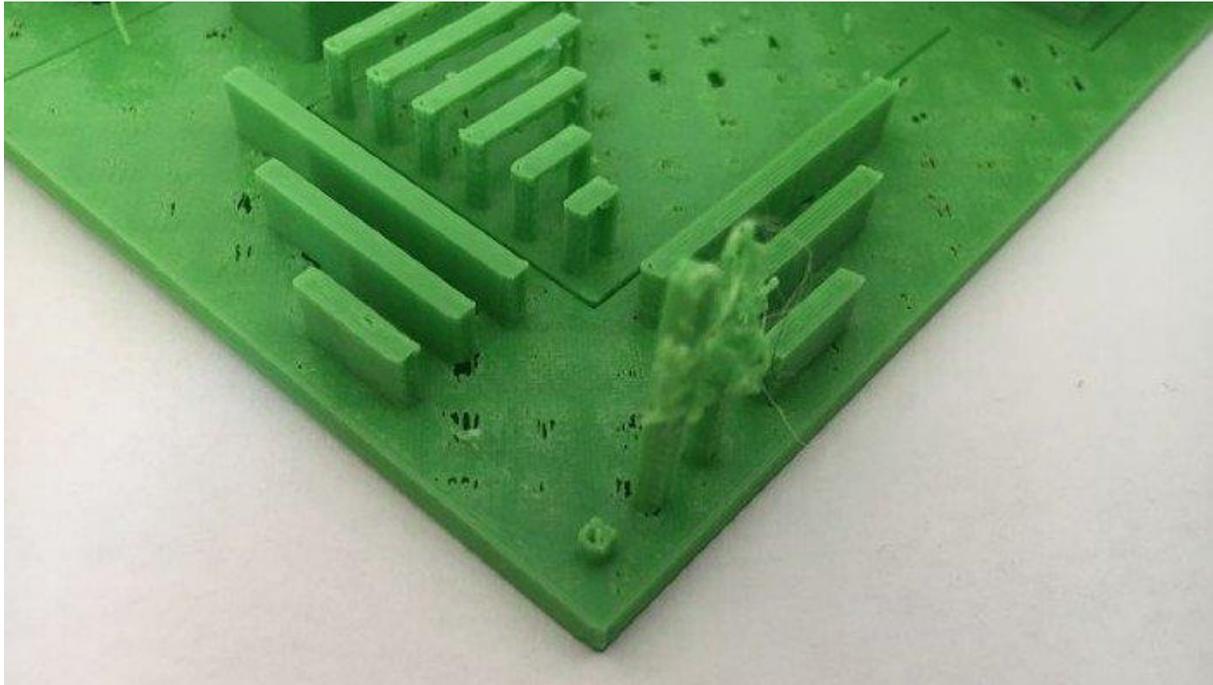
La boquilla extruye hilos de material entre sección y sección de la pieza cuando no debería salir material alguno de la boquilla. Este se debe a una mala configuración de retracción, en desplazamiento, en velocidad o en ambos. También puede suceder que la temperatura de extrusión sea demasiado alta [87].



Hilos de material no deseados entre sección y sección [87].

Detalles finos no se imprimen

Se tratan de imprimir detalles más finos de lo que permite la propia boquilla y, por tanto, dichos detalles no son extruidos. La solución es utilizar una boquilla de menor diámetro para conseguir imprimir mencionados detalles. También está la opción de optar por omitir la extrusión de las partes más finas por no ser del todo determinantes en el diseño ya que su extrusión puede complicar y dilatar el proceso de impresión del diseño [87].



Ejemplo de pies en la que no se han imprimido alguno de sus componentes por requerir una precisión mayor de la que la configuración actual puede ofrecer [87].

Puntos negros o specks

El extrusor tiene una fuga que provoca que se escapen restos de material carbonizado. Dichos restos precipitan en la pieza de forma indeseada. La solución es asegurarse de que no hay fuga alguna entre las piezas que conforman el extrusor [81] [88].

Otros problemas

A continuación, se describen brevemente algunos problemas que son habituales en las impresoras 3D que utilizan el plástico como material, aunque para el caso de la máquina diseñada actual su influencia sea limitada.

Separación entre capas. Cracking.

Las capas no se encuentran bien soldadas entre sí y en algunos tramos se desprenden unas de otras. Las razones pueden ser dos: en primer lugar, una distancia entre capa y capa demasiado alta reduce

la presión que ejerce una capa sobre la anterior y podrían no soldarse adecuadamente. Otra razón es una temperatura de extrusión demasiado baja que impide que se solidifiquen las capas entre sí. La solución es localizar cuáles de los anteriores es el problema y cambiar los parámetros de impresión de la máquina [89] [78].



Separación entre capas [89] [78].

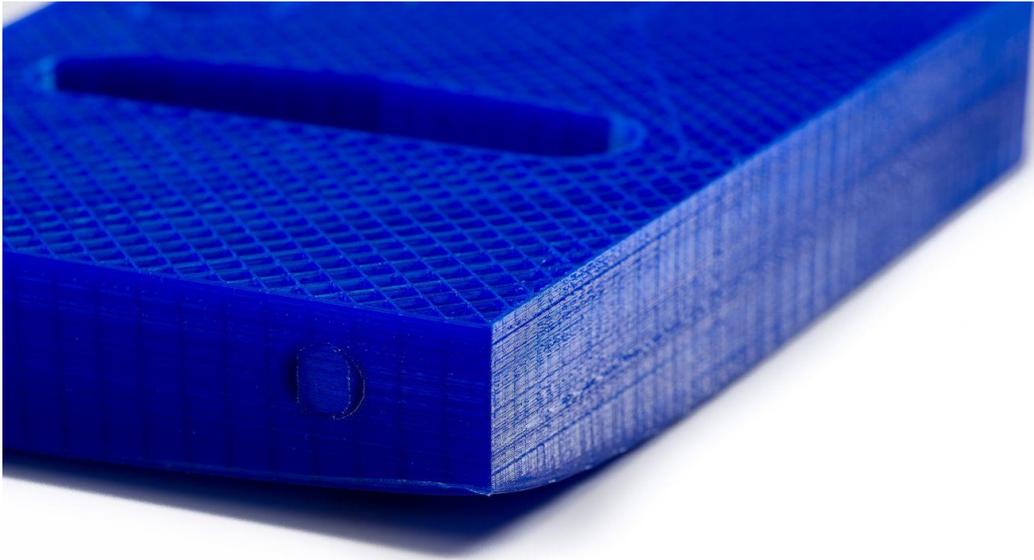
Encogimiento o warping

Sucede cuando la parte inferior de la pieza sufre una deformación que hace que esté despegada de la base. Esto puede suceder por varios motivos:

Una falta de adherencia de la capa inferior a la base puede ser la responsable de dicho desplazamiento. Una altura excesiva entre la primera capa y la base disminuye la adherencia a la base. Además, puede que el material usado, por sus propiedades, tenga una mala adherencia a la base por lo que será necesario el uso de materiales adherentes.

Si la temperatura de la cama es demasiado baja puede producirse una rápida transferencia de calor de la base a la cama, lo que hace que el material se deforme rápidamente. Utilizar una cama caliente sería la solución.

Otro de las afectaciones de la contracción térmica sucede cuando las capas superiores sufren dicha contracción y tiran de las capas inferiores, despegándola de la base. La solución es o bien bajar la temperatura y velocidad de extrusión o bien evitar la transferencia rápida de calor sea poniendo barreras físicas a su salida o crear un ambiente mejor calefactado [79].



Deformación en las primeras capas de la pieza denominada 'warping' [79].

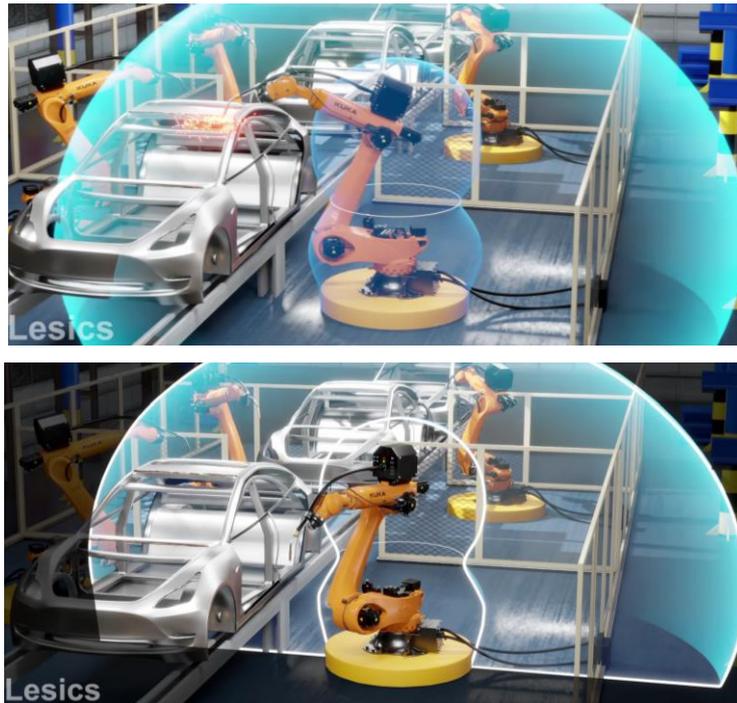
10.3. PROBLEMAS DE SINGULARIDAD EN BRAZOS ROBÓTICOS

Los movimientos de los brazos robóticos se pueden clasificar en 2 grandes grupos.

Espacio articular

Por un lado, se puede ordenar a un brazo robótico pasar por una serie de puntos con un ángulo de herramienta en cada uno de ellos. El camino que realiza para unir las posiciones deseadas es el elegido por el programa que se asegurará de las trayectorias por las que pasa son viables. Por tanto, el único problema que al operario debe preocupar es si los puntos designados son posibles de alcanzar por el brazo robótico.

A continuación, se muestra una imagen en la que se puede visualizar el rango del brazo robótico. Los puntos seleccionados dentro de ese rango serán viables para el brazo robótico [90].



Rango del brazo robótico [91].

Espacio cartesiano

El segundo gran grupo es el espacio cartesiano en el que, dentro del rango del robot, el operario le ordena pasar por una trayectoria cartesiana sea curva o recta. El brazo robótico se ve obligado a pasar por cada uno de los puntos consecutivos con el ángulo de herramienta seleccionado.

Esta modalidad de movimiento supone la aparición de los puntos singulares o singularidades [90].

Singularidades del brazo robótico

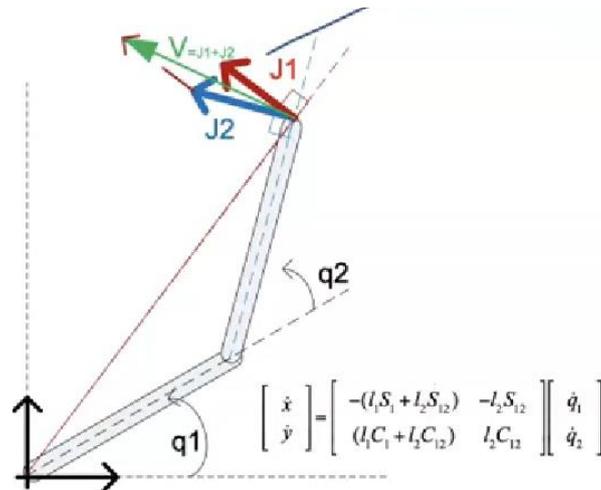
Sucede en los brazos robóticos que al trazar trayectorias cartesianas la suma de la trayectoria seguida y la configuración de las articulaciones, determinadas trayectorias son imposibles de realizar por el brazo robótico. En ese momento, el programa del robot se para y comunica que ha habido un error.

¿Qué es un punto singular?

Haciendo un análisis del movimiento del robot, partimos de la matriz $[v \ w]$ en donde v es la velocidad lineal y w la velocidad angular del extremo de la herramienta del robot. Desagregamos dicho vector en la multiplicación de la matriz Jacobiana por la matriz de velocidades articulares. Cada columna de la matriz Jacobiana indica la dirección del movimiento cuando gira cada grado de libertad [92].

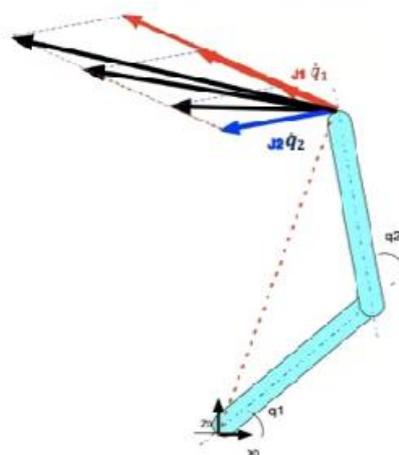
$$\begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dots \\ \dot{q}_6 \end{bmatrix} = [J_1 \quad | \dots | \quad J_6] \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dots \\ \dot{q}_6 \end{bmatrix} = \vec{J}_1 \dot{q}_1 + \dots + \vec{J}_6 \dot{q}_6$$

Desarrollo del movimiento del extremo del robot en la matriz Jacobiana multiplicada por cada uno de los módulos de las velocidades de cada grado de libertad [90].



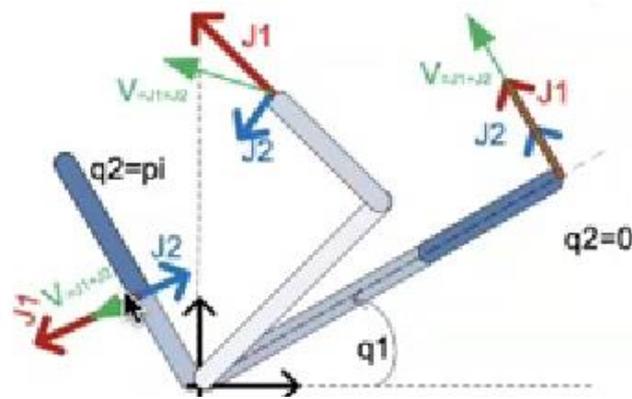
Expresión de la velocidad del extremo del robot como suma de las velocidades independientes de cada elemento que compone el brazo (1 y 2) [90].

Tomando los 2 primeros términos $[v,w]=J_1 \cdot \dot{q}_1$ y representándolos gráficamente se observa la influencia del movimiento de cada articulación sobre el movimiento final. En la siguiente representación, observamos como variando las velocidades de los motores de cada articulación obtenemos las trayectorias desde el punto actual hasta el punto próximo más deseado.



Variando la velocidad de movimiento de la articulación q_2 (vectores rojos) se obtienen las diferentes velocidades finales en el extremo del brazo (vectores negros) [90].

Sin embargo, en la siguiente ilustración, se observa que en el caso de que $q_2=0$ y $q_2=\pi$ la trayectoria del conjunto articulado sólo puede moverse en una dirección. Gráficamente, se acaba de observar que el extremo del conjunto articulado ha pasado por un punto denominado singularidad y que ha limitado el movimiento del conjunto articulado.



Representación gráfica de un brazo robótico cuyo extremo se halla en un punto singular [90].

Matemáticamente y en este caso, se da el punto de singularidad cuando los valores del Jacobiano J_1 y J_2 son colineales. En caso de estar cerca de ser colineales, el conjunto articulado tendrá problemas para alcanzar las posiciones deseadas. La dificultad ante la que se encontraría es que, estando cerca de un punto singular, las velocidades de uno o los dos motores deberían ser muy altas, lo cual es una limitación en la realidad.

Extendiendo este caso particular al caso general con n articulaciones, el caso ideal es que el brazo robótico se encuentre en posiciones donde la matriz Jacobiana que integra las direcciones de movimiento de cada grado de libertad sea muy linealmente independiente. A medida que un par de los valores se acerquen a ser linealmente dependientes irán surgiendo los problemas derivados de la singularidad [90].

Tipos de singularidades en los brazos robóticos

Como se ha demostrado anteriormente, si el brazo robótico se encuentra en un punto singular resultará imposible alcanzar ciertas trayectorias mientras que si nos encontramos cerca de uno, las velocidades de algunos de las articulaciones será demasiado alta para llevarse a cabo en la realidad.

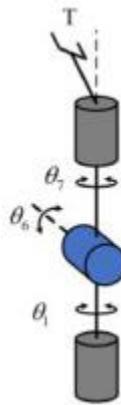
Existe una clasificación en tres grupos de los puntos de singularidad que pueden aparecer en un brazo robótico. En ellos, se muestra que si el vértice de la herramienta se encuentra en un punto singular, pueden moverse las articulaciones del robot pero ello no se traduce en un movimiento del vértice de la herramienta. Además, pasar por las cercanías de uno de estos puntos puede llevar a que las velocidades necesarias de uno o varios de los motores para acometer el movimiento sean tan altas

que los motores en la realidad no puedan alcanzarla. Por tanto, el robot se para y muestra un mensaje de error.

En el presente trabajo, se ha seleccionado para la impresión un brazo robótico de 7 grados de libertad. En caso de que se dé algún tipo de las singularidades, un grado de libertad se habría perdido, no obstante, con 6 grados de libertad podría continuarse la impresión [90].

Singularidad de muñeca

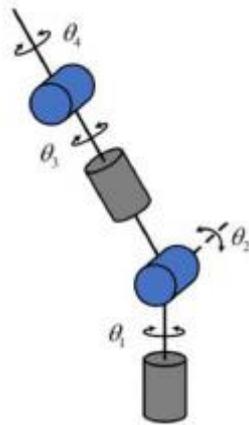
Tal y como se aprecia en la imagen, el ángulo de la articulación 6 es 0° lo que hace que los ejes de las piezas grises sean colineales. Si el ángulo girado por la articulación 1 es opuesto al girado por la articulación 7, la herramienta no sufrirá movimiento alguno. Por tanto, estamos ante una singularidad en este caso de muñeca.



Representación de la singularidad de muñeca [93].

Singularidad de codo

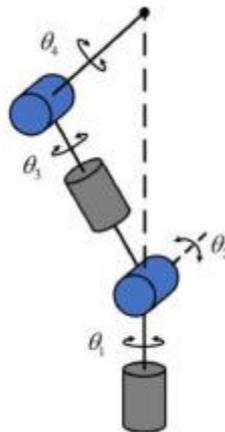
Sucede cuando, siguiendo la siguiente imagen, el ángulo de la articulación 2 es 0° y ello coloca a las dos piezas grises en el mismo plano. El movimiento se ha limitado en una sola dirección, la perpendicular al plano, siendo todas las demás imposible de alcanzar. Es por ello que se trata de una singularidad de codo.



Representación de la singularidad de codo [93].

Singularidad de hombro

Siguiendo la imagen siguiente, si la articulación 1 y la 5 se encuentran en el mismo plano y giran un ángulo opuesto, la herramienta no sufrirá desplazamiento alguno. Por tanto, nos encontramos ante una singularidad de hombro.



Representación de la singularidad de hombro [93].

Índice de manipulabilidad

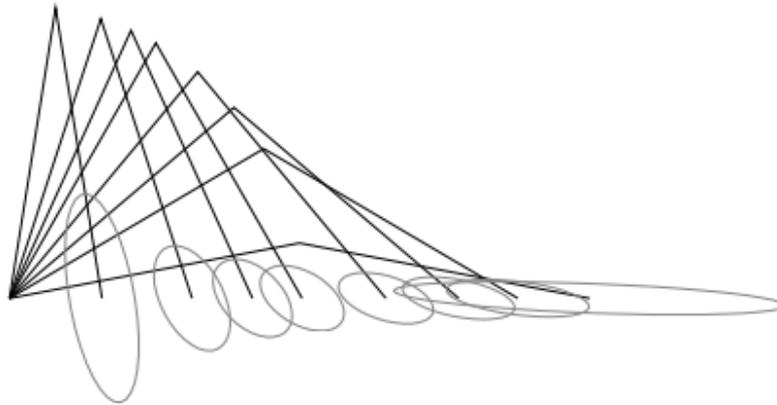
Se acuña el término de manipulabilidad para definir los lugares del espacio en los cuales el robot puede moverse con más eficacia ya sea para poder alcanzar las posiciones y orientaciones deseadas o para poder transmitir fuerza de forma satisfactoria a otro cuerpo. En suma, lo que se busca es evitar las posiciones singulares. Un índice frecuentemente usado es el índice de Yoshikawa [94].

El índice de Yoshikawa se define como:

$$w = \sqrt{\mathbf{Det}(\mathbf{J}(\mathbf{q})\mathbf{J}^T(\mathbf{q}))}$$

Expresión del Índice de Yoshikawa [90].

Siendo J la matriz Jacobiana. A partir del índice se extrae el elipsoide de manipulabilidad, que es una representación gráfica de las posiciones más aptas para ser realizadas por el brazo robótico.



Elipsoide de manipulabilidad en donde se representan varias elipses en cuyo interior se encuentran las zonas de mayor manipulabilidad y, por tanto, zonas que se buscará utilizar en los movimientos del brazo robótico [90].

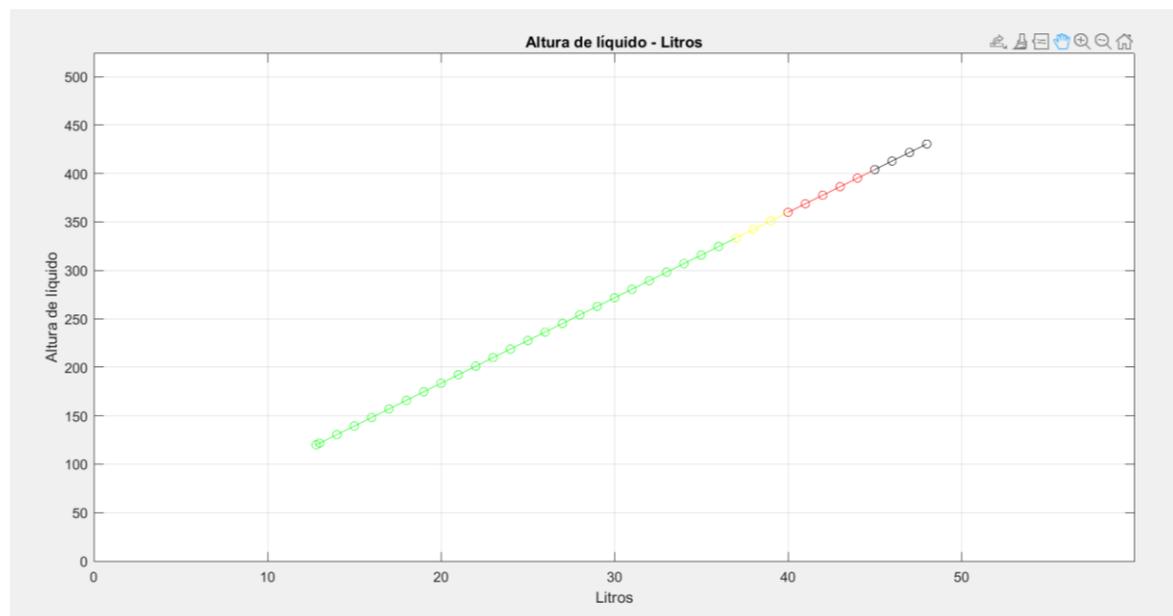
10.4. ALTURA DE LÍQUIDO

A lo largo del tanque discurre un soporte que porta los sensores de temperatura y los medidores de nivel de líquido. En el caso de los medidores, la marca de altura de nivel se traduce en una cantidad de litros del tanque como marca la siguiente gráfica:

	Altura	Litros			Altura	Litros
H0	120	12,8		H20	289,34	32
H1	121,76	13		H21	298,16	33
H2	130,58	14		H22	306,98	34
H3	139,4	15		H23	315,8	35
H4	148,22	16		H24	324,62	36
H5	157,04	17		H25	333,44	37
H6	165,86	18		H26	342,26	38
H7	174,68	19		H27	351,08	39
H8	183,5	20		H28	359,9	40
H9	192,32	21		H29	368,72	41
H10	201,14	22		H30	377,54	42
H11	209,96	23		H31	386,36	43
H12	218,78	24		H32	395,18	44
H13	227,6	25		H33	404	45
H14	236,42	26		H34	412,82	46
H15	245,24	27		H35	421,64	47
H16	254,06	28		H36	430,46	48
H17	262,88	29		H37	439,28	49
H18	271,7	30		H38	448,1	50
H19	280,52	31		H39	456,92	51

En verde se muestra la altura de líquido permitida. En amarillo y en naranja la altura de líquido que sobrepasa la parte inferior del tanque y en rojo y en gris la altura de líquido que junto con el mezclador podría elevar el material hasta la tapa frontal que se encuentra en la parte superior. Por tanto, no es una altura recomendable.

La relación entre altura de líquido y litros en el tanque se puede apreciar visualmente en la siguiente gráfica:



Diseñada con el siguiente programa en Matlab:

```
x1=[120];
sp=(121.76:8.82:333.44);
x1=[x1, sp];
y1=[12.8];
sp=(13:37);
y1=[y1, sp];
x2=[333.44,342.26,351.08,359.9];
y2=[37,38,39,40];
x3=[(359.9:8.82:404)];
y3=[(40:45)];
x4=[404,412.82,421.64,430.46];
y4=[45,46,47,48];
x5=[430.46,439.28,448.1,456.92];
y5=[48,49,50,51];
figure
plot(y1,x1, '-og',y2,x2, '-oy',y3,x3, '-or',y4,x4, '-ok')
title('Altura de líquido - Litros')
xlabel('Litros')
ylabel('Altura de líquido')
grid on
```

10.5. ARCHIVOS “.gcode” y “.src”

Ambas extensiones tienen como propósito dar instrucciones a un brazo robótico o a una máquina CNC sobre cómo tiene que ser su movimiento. A continuación, analizamos el código más en detalle.

Archivo “.gcode”

En este archivo se almacenan diversas variables. Se explicarán las más relevantes.

“;TIME” indica el tiempo en segundos que se tardará en extruir la pieza. “M104” fija la temperatura del extrusor, aunque para este trabajo es irrelevante. El comando “G28” hace moverse la herramienta al centro de coordenadas mientras que el “G92” define el punto actual de la herramienta como nuevo centro de coordenadas. “;LAYER COUNT:” nos informa del número de coordenadas mientras que “;LAYER:0” nos indica que las siguientes instrucciones van a conformar la capa número 0. La variable “G0” seguida de “F”, “X”, “Y” y “Z” nos indica que el extrusor se tiene que mover sin extruir material alguno a una velocidad prefijada a continuación de “F” y a las coordenadas indicadas por “X”, “Y” y “Z”. Al contrario, se encuentra la instrucción “G1” en la que se marca la posición que se debe alcanzar pero con el parámetro “E”, que indica la cantidad de material a depositar [95] [96].

```

love.txt Bloc de notas
Archivo Editar Ver

;FLAVOR:Marlin
;TIME:19141
;Filament used: 115.566m
;Layer height: 0.6
;MINX:-107.157
;MINY:-110
;MINZ:0.3
;MAXX:107.159
;MAXY:109.999
;MAXZ:98.7
;Generated with Cura_SteamEngine 4.13.1
M104 S200
M105
M109 S200
M82 ;absolute extrusion mode
G28 ;Home
G1 Z15.0 F6000 ;Move the platform down 15mm
;Prime the extruder
G92 E0
G1 F200 E3
G92 E0
G92 E0
G92 E0
G1 F1500 E-6.5
;LAYER_COUNT:165
;LAYER:0
M107
G0 F3600 X-4.293 Y-13.363 Z0.3
;TYPE:SKIRT
G1 F1500 E0
G1 F1800 X10.721 Y-13.309 E1.41212
G1 X12.484 Y-13.381 E1.57807
G1 X13.198 Y-13.603 E1.6484
G1 X13.787 Y-13.996 E1.71499
G1 X14.277 Y-14.593 E1.78763
G1 X14.524 Y-15.188 E1.84822
G1 X14.672 Y-16.773 E1.99795
G1 X15.794 Y-84.113 E8.33234
G1 X15.635 Y-85.205 E8.43613
G1 X15.449 Y-85.604 E8.47753
G1 X15 Y-86.105 E8.54081
G1 X14.657 Y-86.317 E8.57873
G1 X13.893 Y-86.536 E8.65348
G1 X13.381 Y-86.571 E8.70175
G1 X13.179 Y-86.588 E8.72082
G1 X4.606 Y-87.418 E9.5309
G1 X3.867 Y-87.529 E9.60119
G1 X3.143 Y-87.719 E9.67159
G1 X2.444 Y-87.986 E9.74196
G1 X1.777 Y-88.325 E9.81233
G1 X1.151 Y-88.733 E9.88261
G1 X0.571 Y-89.206 E9.953
G1 X0.046 Y-89.739 E10.02337
G1 X-.42 Y-90.324 E10.09371
G1 X-.821 Y-90.955 E10.16403
G1 X-1.152 Y-91.626 E10.2344
G1 X-1.41 Y-92.328 E10.30474
G1 X-1.591 Y-93.054 E10.37511
G1 X-1.694 Y-93.795 E10.44548
G1 X-1.719 Y-94.425 E10.50478
G1 X-1.67 Y-103.04 E11.31505
G1 X-1.626 Y-103.787 E11.38543
G1 X-1.502 Y-104.524 E11.45572
G1 X-1.3 Y-105.245 E11.52615
G1 X-1.023 Y-105.939 E11.59643
G1 X-.673 Y-106.601 E11.66686
G1 X-.254 Y-107.221 E11.73724
G1 X0.228 Y-107.792 E11.80752
G1 X0.768 Y-108.31 E11.87789
G1 X1.361 Y-108.766 E11.94825

```

Ejemplo de código obtenido en formato “.gcode”.

Archivo “.src”

Se trata de un archivo legible para los robots KUKA.

La variable “\$VEL” y “\$ACC” programa la velocidad y aceleración de la herramienta. La variable PTP es la instrucción más simple para el movimiento de la herramienta. Dependiendo de si le sigue “AXIS” o “POS”, estará ordenando un movimiento de giro de la herramienta o de cambio de posición. La variable “LIN” ordena realizar un movimiento lineal hasta la posición “X”, “Y”, “Z” indicada y con los ángulos de herramienta “A”, “B”, “C”. Así mismo, ordena extruir una cantidad de material “E1” [97].

```

love.txt: Bloc de notas
Archivo  Editar  Ver

DEF CFFFP_love()
: Program generated by RoboDK v5.5.0 for daihen OTC FD-NV6Ls on 06/09/2022 20:56:00
: using nominal kinematics.
BAS(#INITMOV,0)
$ORI_TYPE = #VAR
$CIRC_TYPE = #BASE
$VEL_ORI1 = 200
$VEL_ORI2 = 200
$ACC_ORI1 = 100
$ACC_ORI2 = 100
$ADVANCE = 2
$ACT_EX_AX = 0
PTP $AXIS_ACT ; skip BCO quickly
$APO_CPTP = 1
$APO_CDIS = 1
$BASE = {FRAME: X 1200.000,Y 0.000,Z 380.000,A 0.000,B 0.000,C 0.000}
$TOOL = {FRAME: X -20.700,Y -1.700,Z 257.000,A 0.000,B -39.000,C 0.000}
$APO_CPTP = 1
$APO_CDIS = 1
M_RunCode104
M_RunCode105
M_RunCode109
M_RunCode82
$VEL_CP = 0.10000
$VEL_CP = 1.00000
:----- Using Reference frame number 3 -----
$ACT_BASE = 3
$BASE=BASE_DATA[3]
:----- $BASE = {FRAME: X 1200.000,Y 0.000,Z 380.000,A 0.000,B 0.000,C 0.000}
: Mostrar Spindle
PTP {AXIS: A1 -0.438,A2 -31.560,A3 0.000,A4 -13.607,A5 -0.657,A6 -113.831,E1 179.504} C_PTP
; PTP {Pos:X 1328.212,Y -11.186,Z 506.426,A -179.794,B -69.000,C 180.000,E1 179.50394,S 'B010',T 'B0111011'} C_PTP
LIN {X -4.293,Y -13.363,Z 15.000,A -179.794,B -30.000,C 180.000,E1 179.49927} C_DIS
Extruder000000
$VEL_CP = 0.00333
Extruder300000
LIN {X -4.293,Y -13.363,Z 15.000,A -179.794,B -30.000,C 180.000,E1 179.49927} C_DIS
Extruder000000
Extruder000000
Extruder000000
$VEL_CP = 0.02500
Extruder650000
LIN {X -4.293,Y -13.363,Z 15.000,A -179.794,B -30.000,C 180.000,E1 179.49927} C_DIS
M_RunCode107
$VEL_CP = 0.06000
LIN {X -4.293,Y -13.363,Z 0.300,A -179.794,B -30.000,C -180.000,E1 179.50704} C_DIS
$VEL_CP = 0.02500
Extruder000000
LIN {X -4.293,Y -13.363,Z 0.300,A -179.794,B -30.000,C -180.000,E1 179.50704} C_DIS
$VEL_CP = 0.05000
Extruder141212
LIN {X 10.721,Y -13.309,Z 0.300,A 177.661,B -30.000,C 180.000,E1 181.17082} C_DIS
Extruder157807
LIN {X 12.484,Y -13.381,Z 0.300,A 162.728,B -30.000,C -180.000,E1 190.74490} C_DIS
Extruder164840
LIN {X 13.198,Y -13.603,Z 0.300,A 146.287,B -30.000,C 180.000,E1 200.16824} C_DIS
Extruder171499
LIN {X 13.787,Y -13.996,Z 0.300,A 129.378,B -30.000,C 180.000,E1 207.99178} C_DIS
Extruder178763
LIN {X 14.277,Y -14.593,Z 0.300,A 112.545,B -30.000,C 180.000,E1 213.76389} C_DIS
Extruder184822
LIN {X 14.524,Y -15.188,Z 0.300,A 95.335,B -30.000,C 180.000,E1 217.72998} C_DIS
Extruder199795
LIN {X 14.672,Y -16.773,Z 0.300,A 90.955,B -30.000,C 180.000,E1 218.44072} C_DIS
Extruder833234
LIN {X 15.794,Y -84.113,Z 0.300,A 81.716,B -30.000,C 180.000,E1 219.33473} C_DIS
Extruder843613
LIN {X 15.635,Y -85.205,Z 0.300,A 65.007,B -30.000,C -180.000,E1 220.35165} C_DIS
Extruder847753
LIN {X 15.449,Y -85.604,Z 0.300,A 48.133,B -30.000,C 180.000,E1 219.23983} C_DIS
-----
Ln 1, Col 1

```

Ejemplo de código obtenido en formato “.src”.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] c. d. E. B. a. L. S. Josep Francesc Valls, «De la era de las necesidades a la de las aspiraciones. El Periódico.» 25 Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.elperiodico.com/es/mas-valor/20180625/de-la-era-de-las-necesidades-a-la-de-las-aspiraciones-josep-francesc-valls-6906433>. [Último acceso: 15 Febrero 2022].
- [2] «El sector servicios en la economía global: transformaciones y consecuencias. Tema 8 del temario de oposiciones de Geografía e Historia, BOE,» 18 11 2011. [En línea]. Available: <http://clio.rediris.es/n37/oposiciones2/tema08.pdf>. [Último acceso: 15 Febrero 2022].

-
- [3] «¿Cómo ha cambiado la industria del automóvil en 50 años? Seat te lo enseña. Autocasión,» 5 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.autocasion.com/actualidad/noticias/como-ha-cambiado-la-industria-del-automovil-en-50-anos-seat-te-lo-ensena>. [Último acceso: 15 Febrero 2022].
- [4] Félix, «Evolución de la población ocupada en el sector terciario 1900 - 2007. Blog 'Gestión de la memoria',» 26 Abril 2014. [En línea]. Available: <https://gestindelamemoria-felix.blogspot.com/2014/04/evolucion-de-la-poblacion-ocupada-en-el.html>. [Último acceso: 15 Febrero 2022].
- [5] L. Zappa, «Sector terciario: graficos y contenidos. La terciarización de la economía española. Paisajes y territorios Geografía de España',» 19 Diciembre 2010. [En línea]. Available: <https://paisajesyterritoriosgeo2.wordpress.com/2010/12/19/sector-terciario-graficos-y-contenidos/>. [Último acceso: 15 Febrero 2022].
- [6] «Sector servicios. Wikipedia,» 15 Febrero 2022. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Sector_servicios. [Último acceso: 15 Febrero 2022].
- [7] «Negocios rentables con la mínima inversión en el sector de servicios. 'Emprendedores',» 24 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.emprendedores.es/ideas-de-negocio/negocios-rentables-servicios/>.
- [8] «Vídeo-resumen del 2º cumpleaños de Stormi Webster,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=eKLTBYEBhOg>.
- [9] «Típico que eres Kylie Jenner y haces una fiesta para niños de TERROR loco. 'El Deforma',» [En línea]. Available: <https://eldeforma.com/2020/02/06/kylie-jenner-fiesta-para-su-hija-tematica-cara-gigante-fotos/>.
- [10] «La gran fiesta de cumpleaños de Stormi, hija de Kylie Jenner y Travis Scott. La Vanguardia,» [En línea]. Available: <https://www.lavanguardia.com/gente/20210202/6217184/fiesta-cumpleanos-kylie-jenner-hija-stormi-travis-scott.html>.
- [11] «Tuit de la usuaria 'myriam',» [En línea]. Available: https://twitter.com/_hienna/status/1356590287368450049.
- [12] «Tuit de la usuaria ' 🇪🇺 La loca de la bandera... 🇪🇺 ',» [En línea]. Available: <https://twitter.com/CHRIIS09PACHECO/status/1356722764531568640>.
- [13] «Tuit de la usuaria 'Monni 🌟',» [En línea]. Available: <https://twitter.com/MoneyMonni/status/1356681856234762240>.
- [14] «Tuit de la usuaria 'anusssski',» [En línea]. Available: <https://twitter.com/anamartinmz/status/1224129616769622018>.
- [15] «Tuit de la usuaria 'albi',» [En línea]. Available: https://twitter.com/albb_/status/1358555475499966469.
- [16] «Richest City in the World,» [En línea]. Available: <https://worldpopulationreview.com/world-city-rankings/richest-city-in-the-world>.
-

-
- [17] «List of OECD regions by GDP (PPP) per capita - Wikipedia,» [En línea]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_OECD_regions_by_GDP_\(PPP\)_per_capita](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_OECD_regions_by_GDP_(PPP)_per_capita).
- [18] «The history of economic growth. Our World In data,» [En línea]. Available: <https://ourworldindata.org/economic-growth>.
- [19] «Tarta de cumpleaños de Frozen. 'Pixiecocina',» [En línea]. Available: <https://pixiecocina.com/2015/10/03/receta-tarta-de-frozen/>.
- [20] «Topper para tarta de boda. Página web de venta de accesorios para fiestas 'Impresión de azúcar',» [En línea]. Available: <https://www.impresiondeazucar.es/comprar-toppers-tartas/359-topper-para-tarta-de-boda.html>.
- [21] «Libro Natura de 'El Bulli'. Web de compraventa 'Todo Colección',» [En línea]. Available: <https://www.todocoleccion.net/libros-segunda-mano-cocina-gastronomia/natura-bulli-reposteria-albert-adria-nuevo-recintado~x129338775>.
- [22] «Biografía de Amaury Guichon. Wikipedia,» [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Amaury_Guichon.
- [23] «Perfil de Instagram de Amaury Guichon,» [En línea]. Available: <https://www.instagram.com/amauryguichon/>.
- [24] «Estatua libertad en repostería creativa. Perfil de Instagram de Amaury Guichon,» [En línea]. Available: <https://www.instagram.com/reel/CfmDhxMAqML/?igshid=MDJmNzVkMjY=>.
- [25] «Caracol en repostería creativa. Perfil de Instagram de Amaury Guichon,» [En línea]. Available: <https://www.instagram.com/reel/CeL66HDgx61/?igshid=MDJmNzVkMjY=>.
- [26] «Dragón en repostería creativa. Perfil de Instagram de Amaury Guichon,» [En línea]. Available: <https://www.instagram.com/reel/CS07rT8HgMB/?igshid=MDJmNzVkMjY=>.
- [27] «Mancuerna en repostería creativa. Perfil de Instagram de Amaury Guichon,» [En línea]. Available: <https://www.instagram.com/reel/COYS7h9DQg0/?igshid=MDJmNzVkMjY=>.
- [28] «Estatua libertad en repostería creativa. Perfil de Instagram de Amaury Guichon,» [En línea]. Available: <https://www.instagram.com/reel/CfmDhxMAqML/?igshid=MDJmNzVkMjY=>.
- [29] «Thingiverse,» [En línea]. Available: <https://www.thingiverse.com/>.
- [30] «Torre Eiffel. Thingiverse,» [En línea]. Available: <https://www.thingiverse.com/thing:912478>.
- [31] «Decoraciones de chocolate. Vídeo en Youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=MEeyH5yEeEY>.
- [32] «Trucos fáciles y geniales para decoración con chocolate. YouTube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=yzAZuuYsVr0>.
- [33] «Ideas de decoración de chocolate para tartas caseras. Youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=uhOyjqINWLU>.
-

- [34] «Ideas de decoración de chocolate. Youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=-rbzbYrQfKM>.
- [35] «¿Qué es un gemelo digital? Página oficial de IBM. Temas,» [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/es-es/topics/what-is-a-digital-twin>.
- [36] «¿Cuál es la diferencia entre una simulación y un gemelo digital? Página web de Fegemu Solutions. Blog,» [En línea]. Available: <https://www.fegaut.com/es/blog/cual-es-la-diferencia-entre-una-simulacion-y-un-gemelo-digital/0-432/>.
- [37] «Impresión 3D para hacer pasteles. YouTube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=dOx-JgHmBZQ>.
- [38] «Impresión de comida en el 2021. Vídeo en YouTube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Odkh-up73kk>.
- [39] «La NASA quiere imprimir comida. El País,» [En línea]. Available: https://elpais.com/tecnologia/2013/05/22/actualidad/1369214761_804007.html.
- [40] «Overview of Food 3D printers on the market right now. YouTube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=IRsMNXhB5VU>.
- [41] «Impresión 3D en un restaurante con estrella Michelin. YouTube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=LMD6DgM7-mE&t=155s>.
- [42] «Jet Chef Pro, la impresora 3D que usa azúcar para crear arte. El Español,» [En línea]. Available: https://www.elespanol.com/cocinillas/actualidad-gastronomica/20140117/jet-chef-pro-impresora-azucar-crear-arte/15498455_0.html.
- [43] «Repostería con Chef Jet Pro. Reportaje de ‘The Social Media Show’. Youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=BWbFYZTrpM4>.
- [44] «Diseños del Chef Jet Pro. YouTube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=516MqQ2WIIE>.
- [45] «Impresión personalizada - Página web de María Lunarillos,» [En línea]. Available: <https://www.marialunarillos.com/impresiones-comestibles.html>.
- [46] «Gelatina con Transfer Encapsulado. Youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=00ooQtgHc8A>.
- [47] «Tarta de cumpleaños con foto. Página web de la Pastelería Leganés,» [En línea]. Available: <https://www.pastelerialeганes.com/tartas-con-foto>.
- [48] «El chocolate belga se pasa a la impresión 3D. Agencia EFE. Youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=ZE8rBXjI7d8>.
-

- [49] «Página oficial de 'La Miam Factory',» [En línea]. Available: <https://www.miamfactory.com/?lang=en>.
- [50] «El chocolate impreso en 3D. Tout s'explique'. Youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=mVT6oWySdVo>.
- [51] «Impresión 3D en ángulo 90 grados con brazo robótico y extrusión de pellet,» [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=pZfX__7XS_o.
- [52] «Este brazo robótico de 6 ejes puede imprimir compuestos de fibra de vidrio,» [En línea]. Available: <https://www.archdaily.com/867696/atropos-this-6-axis-robot-arm-can-3d-print-fiberglass-composites>.
- [53] «Dispensador de agua eléctrico portátil, bomba dispensadora de agua potable de 115V-230V AC. AliExpress,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/i/1005002740300285.html>.
- [54] «Dispensación de fluidos 101: Cómo llenar un cilindro de jeringa. Página web oficial de Nordson,» [En línea]. Available: <https://www.nordson.com/en/divisions/efd/blog/033120-fluid-dispensing-101-how-to-fill-a-syringe-barrel>.
- [55] «Llenado de jeringas con cargador manual de barriles. YouTube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=ik3L3p30S70>.
- [56] «Controlador de dispensador manual. Página web oficial de Drifton,» [En línea]. Available: <https://www.drifton.eu/shop/16-accessories-for-pumps/2199-handheld-dispensing-controller/>.
- [57] «302 Barbaran pillaca Electricidad industrial.CICLO III. Semana 7: electrobombas y calentadores – Blog 'Electricidad Industrial III ciclo',» [En línea]. Available: <https://otonielpillaca3.home.blog/semana-7-electrobombas/>.
- [58] «Estanqueidad con un robot de 3 ejes y un retenedor CR300. Vídeo en canal oficial de Fisnar en YouTube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=0LbqCn9J3RI>.
- [59] «F4000 ADVANCE Series 3-Axis Benchtop Robot. Página web oficial de Fisnar,» [En línea]. Available: <https://www.fisnar.com/products/robotics/benchtop-robots/f4000-advance-series-3-axis-benchtop-robot/>.
- [60] «F4000 ADVANCE Series 4-Axis Benchtop Robot. Página web oficial de Fisnar,» [En línea]. Available: <https://www.fisnar.com/products/robotics/benchtop-robots/f4000-advance-series-4-axis-benchtop-robot/>.
- [61] «Estanqueizado en pieza de pared vertical con Robot de 4 Ejes. Vídeo en el canal oficial de Fisnar en YouTube,» [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=Uyi74cA_hGQ.
- [62] «Reforzamiento de RTV con el robot de 5 ejes F4505. Vídeo en canal oficial de Fisnar en YouTube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=iz0sPNY5bJM>.
- [63] «Interruptor de flotador magnético, sensor de nivel de doble Flotador para tanque de agua/dispensador de agua. Alibaba,» [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Sunwoald-reed-switch-magnetic-float-switch-60709892600.ht>.

-
- [64] «Brazos robóticos industriales: una descripción general. Página web de Cyber-weld,» [En línea]. Available: <https://www.cyberweld.co.uk/industrial-robotic-arms-an-overview>.
- [65] «SV1000SS Válvula de pulverización de acero inoxidable. Producto de Fisnar en la página web “KT International Solution”,» [En línea]. Available: http://www.ktisolution.com/Products/Fisnar/Dispensing_Valves/Spray_Valves/3_DispensingValves-Spray-SV1000SS.htm.
- [66] A. Construction, «The Future of construction. Youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/shorts/SMV2hMVvFt8>. [Último acceso: 12 Noviembre 2022].
- [67] «Cavitación vs entrada de aire. Página web de Pump sand and systems,» [En línea]. Available: <https://www.pumpsandsystems.com/cavitation-vs-air-entrainment>.
- [68] «Cómo reducir o eliminar la entrada de aire. Página web de Pump sand and systems,» [En línea]. Available: <https://www.pumpsandsystems.com/how-reduce-or-eliminate-air-entrainment>.
- [69] «El aire en las tuberías. Universidad de Riego,» [En línea]. Available: <https://www.universidadderiego.com/el-aire-en-las-tuberias/>.
- [70] «Efecto de la temperatura en la eficiencia de motores industriales. Electro Industria,» [En línea]. Available: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2237>.
- [71] «Atemperar el chocolate. Valrhona,» [En línea]. Available: <https://www.valrhona.com/es/l-ecole-valrhona/descubra-l-ecole-valrhona/lexico-del-chocolate/atemperar-el-chocolate#:~:text=El%20atemperado%20del%20chocolate%20consiste,perfecto%20para%20todas%20sus%20realiz>.
- [72] «Atemperado del chocolate. Fabrisa,» [En línea]. Available: <https://lacocinadefrabisalavozdegalicia.es/atemperado-del-chocolate/>.
- [73] «Cómo temperar chocolate como un profesional. Bake and share,» [En línea]. Available: <https://www.bakeandshare.com/blog/como-temperar-chocolate-como-profesional/>.
- [74] «Atemperado. Puratos,» [En línea]. Available: <https://www.puratos.com.mx/es/blog/atemperado-belcolade>.
- [75] «Guía para la limpieza y el desatasco del extrusor,» [En línea]. Available: <http://www.dima3d.com/guia-para-la-limpieza-y-el-desatasque-del-extrusor/>.
- [76] «Cómo solucionar atasco en la boquilla o nozzle,» [En línea]. Available: <https://www.impresoras3d.com/como-solucionar-atasco-en-la-boquilla-o-nozzle/>.
- [77] «Subextrusión (impresión 3D): 8 soluciones sencillas,» [En línea]. Available: <https://all3dp.com/es/2/subextrusion-impresion-3d-soluciones/>.
- [78] «¿Cómo solucionar los problemas más comunes de una impresora 3D FDM?,» [En línea]. Available: <https://capasobrecapa.com/solucionar-problemas-fdm/#sub>.
-

-
- [79] Diego, «Cómo evitar el warping y el cracking en mis impresiones 3D. Bitfab,» [En línea]. Available: <https://bitfab.io/es/blog/warping-cracking/>. [Último acceso: 12 Noviembre 2022].
- [80] «¿Cómo deshacerse del pie de elefante de la impresión 3D?,» [En línea]. Available: <https://tu3dprintlab.club/pie-de-elefante-de-la-impresion-3d>.
- [81] «Problemas comunes y soluciones en impresiones 3D,» [En línea]. Available: https://filament2print.com/es/blog/78_problemas-soluciones-impresiones-3d.html.
- [82] «Curling or round corners. Simplify 3D,» [En línea]. Available: <https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/curling-or-rough-corners/>.
- [83] «Subextrusión en impresión 3D, ¿qué lo causa y cómo se resuelve? Descubre Arduino,» 2017. [En línea]. Available: <https://descubrearduino.com/subextrusion-impresion-3d/>.
- [84] J. Prusa, «Calibración del multiplicador de extrusión. Prusa Research. Help,» 1 Mayo 2022. [En línea]. Available: https://help.prusa3d.com/es/article/calibracion-del-multiplicador-de-extrusion_2257. [Último acceso: 1 Noviembre 2022].
- [85] «Trucos para solucionar la extrusión excesiva. Impresoras3D.com Everything to create,» 7 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.impresoras3d.com/trucos-para-solucionar-la-extrusion-excesiva/>. [Último acceso: 1 Noviembre 2022].
- [86] «Sobre-extrusión en impresoras 3D: 3 soluciones sencillas. Idea161,» [En línea]. Available: <https://idea161.org/2021/07/15/sobre-extrusion-en-impresoras-3d-3-soluciones-sencillas/>.
- [87] «Problemas de impresión 3D: ¿cómo evitarlos?,» [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/problemas-de-impresion-3d-221020202/#!>.
- [88] «Identificar y corregir problemas de impresión 3D,» [En línea]. Available: <https://cults3d.com/es/blog/articles/identificar-corregir-defectos-problemas-impresion-3D>.
- [89] «Guía visual para resolver problemas impresión 3D por Bitfab,» [En línea]. Available: <https://bitfab.io/es/blog/problemas-impresion-3d/>.
- [90] A. Barrientos, «Robótica 4.14 Singularidades. Youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=ikEoQKnZckM>.
- [91] «Entendiendo el trabajo de los brazos robóticos. YouTube,» [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=_canCYWZPsc.
- [92] «¿Qué es un punto singular?,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=ikEoQKnZckM>.
- [93] Q. X. Q. Z. Xinyang Tian, «An analytical inverse kinematics solution with joint limits avoidance of 7-DOF anthropomorphic manipulators without offset,» Enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016003220307894>. [Último acceso: 28 Noviembre 2022].
-

- [94] «Índice de Yoshikawa,» [En línea]. Available:
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791207702443?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=7636cf822c200026.
- [95] A. M., «¿Qué es un G-Code y cuál es su función en el proceso de impresión 3D? 3Dnatives,» 23 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/g-code-proceso-impresion-3d-230920212/>. [Último acceso: 29 Noviembre 2022].
- [96] L. Llamas, «Qué es el gcode y su importancia en la impresión 3D. luisllamas.es,» 12 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/que-es-el-g-code-y-su-importancia-en-la-impresion-3d/>. [Último acceso: 29 Noviembre 2022].
- [97] «Programación por el experto KUKA System Software (KSS) Release 4.1. InfoPLC.net,» [En línea]. Available: http://www.infopl.net/files/descargas/kuka/infoPLC_net_prog%20experto_r41_es.pdf. [Último acceso: 29 Noviembre 2022].
- [98] «¿Cómo solucionar los problemas más comunes de una impresora 3D FDM?,» [En línea]. Available: <https://capasobrecapa.com/solucionar-problemas-fdm/>.