



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA  
Especialidad Mecánica

# MODELADO Y DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL RECICLAJE DE PLÁSTICO

Autor: Manuel Llanes Menéndez

Director: Elise Contraires

Madrid

Julio 2018



## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### ***1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.***

El autor D. MANUEL LLANES MENÉNDEZ

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: MODELADO Y DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL RECICLAJE DE PLÁSTICO,

que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### ***2º. Objeto y fines de la cesión.***

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### ***3º. Condiciones de la cesión y acceso***

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### ***4º. Derechos del autor.***

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### ***5º. Deberes del autor.***

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos

derivada de las obras objeto de la cesión.

**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 4 de Julio de 2018

ACEPTA



Fdo. MANUEL LLANES MENÉNDEZ

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
MODELADO Y DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL RECICLAJE DE  
PLÁSTICO

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2017/2018 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es  
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Manuel Lianes Menéndez

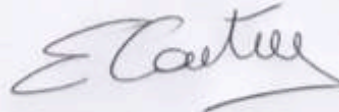
Fecha: 02/ 07/ 2018



Autorizada la entrega del proyecto  
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Elise Contraires

Fecha: 08/07/18







ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
GRADO EN INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA  
Especialidad Mecánica

# **MODELADO Y DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL RECICLAJE DE PLÁSTICO**

Autor: Manuel Llanes Menéndez

Director: Elise Contraires

Madrid

Julio 2018





# MODELADO Y DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL RECICLAJE DE PLÁSTICO.

**Autor: Llanes Menéndez, Manuel**

Directores: Contraires, Elise

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

El presente documento responde a la realización del Trabajo de Fin de Grado en el grado de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Pontificia de Comillas (ICAI), que tiene como finalidad la puesta en práctica de los conocimientos adquiridos a lo largo de los cuatro años cursados.

Este proyecto esta enmarcado en el ámbito del modelado y del diseño de una máquina para el reciclaje de plástico.

El proyecto surge como respuesta al problema de los residuos plásticos y todos los problemas que conlleva, ya que existe una gran parte de residuos que no son reciclados y terminan en vertederos donde tardan décadas en descomponerse.

El reciclaje es uno de los mayores desafíos para el desarrollo sostenible. El reciclaje evita el desuso de materiales potencialmente útiles, reduce el consumo de materias primas, reduce el consumo de energía, evita la contaminación del aire y del agua, y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.

Actualmente, no todos los desechos son reciclados después de su utilización, como es el caso de los plásticos. Aunque las técnicas de reciclaje han aumentado los últimos años y la sociedad esta cada día más concienciada con el cuidado del medio ambiente, la tasa de reciclaje esta todavía muy baja y lejos de objetivos de la Unión Europea.

Este proyecto se centra en el diseño y en la realización de una maquina de reciclaje de plástico, así como en el diseño y en la realización de un molde para la creación de un nuevo objeto.

La creación de una maquina para el reciclaje de plástico tiene como sub-objetivo la sensibilización ciudadana hacia el reciclaje de plástico y hacia la mejora del medio ambiente. Se busca dar una segunda vida a objetos que iban a desecharse. Busca sensibilizar a todo el mundo de que es fácil y asequible reciclar. Ya, no solo una persona puede ayudar a recolectar y a separar los residuos, sino que puede ver como el plástico que ha utilizado, lo va a dar una nueva vida y lo va a reutilizar con una forma nueva.

El proyecto comienza con la enumeración de una serie de requisitos, restricciones y objetivos para la realización del mismo y de la máquina. A partir de ellos, se llegará a la elección de un tipo de máquina. Finalmente, se llega a la conclusión de que el objetivo

principal es la creación de una máquina que permita producir un objeto en plástico reciclado.

El proyecto está enfocado para la realización de las diferentes fases por las que pasa una máquina, como pueden ser su concepción, dimensionamiento, realización y fabricación y finalmente utilización.

El proyecto está destinado al público en general, es decir, se busca que cualquier persona sea capaz de fabricar y pueda utilizar después la propia máquina. Es por eso que el presente documento hace un estudio técnico teniendo en cuenta los diferentes aspectos que conforman la realización de una máquina de inyección de plástico y los agrupa para dar una solución sencilla, fácil de implementar y fácil de comprender por el operador final.

El objetivo es la creación de una máquina fácil de fabricar, fácil de utilizar y que todo el público tenga acceso a su realización. El objeto será un elemento pequeño y útil en la vida cotidiana.

El proyecto comenzará con un recordatorio sobre el estado del arte. Continuará con el estudio de los conceptos teóricos sobre la inyección plástica, sobre los diferentes polímeros y sobre las reglas esenciales para la creación de un molde. A partir del estudio teórico, comenzará la fase de concepción de la propia máquina y del molde realizando un modelado y un dimensionamiento. Acto seguido, se verá como es posible la fabricación de la máquina.

En el estado del arte y en el estudio de los conceptos teóricos sobre la inyección plástica se hace un estudio sobre la parte teórica de este procedimiento enumerando las diferentes partes que existen en el proceso de la inyección plástica, estudiando las diferentes partes que existen dentro de la propia máquina. Se analizan las reglas que existen para la concepción ligadas a la fluidez del polímero dentro del molde, los polímeros que pueden introducirse dentro de este y la importancia que tiene el movimiento del plástico dentro del molde para el resultado de la pieza final.

La elección de la máquina es uno de los grandes aspectos que definen el proyecto y ayuda o influye en el cumplimiento de los requisitos y exigencias funcionales del proyecto. Es por eso, que la elección de la máquina a dimensionar y modelar es una máquina de moldeo por inyección plástica.

El moldeo por inyección es un proceso que consiste en introducir un polímero en estado fundido en un molde cerrado a presión a través de un orificio pequeño. En el molde, el polímero se solidifica formando una estructura semicristalina. La pieza final se obtiene al abrir el molde y sacar de aquí la pieza solidificada. El moldeo por inyección es una técnica muy popular para la fabricación de diferentes piezas y componentes.

A continuación, se reflexionará sobre la concepción de los elementos funcionales de la máquina en cuanto a la operación de inyección, calentamiento del polímero, conexión entre la máquina y el molde. Se hará la elección del objeto a realizar con el

molde y finalmente se mostrará el diseño de la máquina después de esta fase de concepción.

Después, comenzará la fase de elaboración de la máquina mostrando como se ha realizado el esqueleto de esta misma y de su parte eléctrica. Al final de esta parte se mostrará la máquina montada y en estado funcional. Al mismo tiempo, se podrá ver el estado final del molde.

Una vez que la máquina ha sido armada, comenzará la fase experimental y de prueba que servirá para reglar diferentes parámetros para optimizar el tiempo y las características de la pieza final que se va a realizar. Este estudio se realizará para diferentes tipos de polímeros. Para finalizar los resultados experimentales, se mostrará el procedimiento a seguir para la utilización de la máquina.

Posteriormente, se expondrá lo que ha sido el desarrollo del proyecto haciendo un repaso de los objetivos que tenía el mismo y como han sido confeccionados para que el resultado final sea el esperado.

Al final del proyecto, se realiza un estudio de las mejoras potenciales del mismo y de la máquina.

A su vez, se realiza una valoración económica basada en los diferentes recursos empleados para la realización del proyecto como pueden ser los recursos humanos, informáticos y materiales.

Para terminar la memoria, se hace un análisis de los impactos socioeconómicos que este proyecto puede aportar como pueden ser la reducción de la basura en el entorno, la disminución del consumo y del precio de la energía, la creación de puestos de trabajo y de nuevos productos. También se realiza un estudio sobre el impacto ambiental que pone de manifiesto como el proyecto ayuda a la reducción de los residuos, el incremento de la eficiencia en el uso de los recursos y la eliminación de productos y procesos dañinos para el medio ambiente.

Por último, aparecerán una serie de anexos sobre las propiedades de los polímeros, el presupuesto de materiales que se han utilizado para la realización de la máquina y los planos de la máquina de inyección de plástico.

El resultado de este proyecto es una máquina capaz de calentar un polímero y llenar un molde para crear un nuevo objeto a partir de plástico reciclado.

Este trabajo ha ayudado a realmente profundizar en uno de los métodos más utilizados para la fabricación de piezas como es la inyección.

Igualmente, el proyecto ha ayudado a la consolidación de los objetivos generales planteados por el proyecto como son el modelizado por técnicas gráficas, el diseño y cálculo de máquinas, a capacidad para el diseño de estructuras, conocimientos aplicados en máquinas fluidomecánicas y el conocimiento sobre los diferentes procesos de fabricación.



# MODELLING AND DESIGN OF A MACHINE FOR PLASTIC RECYCLING.

**Author: Llanes Menéndez, Manuel**

Directors: Contraires, Elise

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

This document responds to the completion of the End of Degree Work in Electromechanical Engineering at the Universidad Pontificia de Comillas (ICAI), which aims to put into practice the knowledge acquired over the four years studied.

This project is part of the modelling and design of a machine for plastic recycling.

The project arises as a response to the problem of plastic waste and all the problems it entails, since there is a large part of waste that is not recycled and ends up in landfills where it takes decades to decompose.

Recycling is one of the greatest challenges to sustainable development. Recycling prevents the disuse of potentially useful materials, reduces raw material consumption, reduces energy consumption, prevents air and water pollution, and reduces greenhouse gas emissions.

Currently, not all waste is recycled after use, as is the case with plastics. Although recycling techniques have increased in recent years and society is becoming more and more environmentally conscious, the recycling rate is still very low and far from European Union targets.

This project focuses on the design and construction of a plastic recycling machine, as well as on the design and construction of a mould for the creation of a new object.

The creation of a machine for the recycling of plastic has as a sub-objective the sensitization of the public towards the recycling of plastic and towards the improvement of the environment. The aim is to give a second life to objects that were to be discarded. It aims to raise awareness that recycling is easy and affordable. Already, not only can a person help to collect and separate waste, but they can see how the plastic they have used will give them a new life and reuse them in a new way.

The project begins with the enumeration of a series of requirements, restrictions and objectives for the realization of the project and the machine. From them, we will arrive at the choice of a type of machine. Finally, it is concluded that the main objective is the creation of a machine to produce a recycled plastic object.

The project is focused on the realization of the different phases through which a machine passes, such as its conception, sizing, realization and manufacture and finally use.

The project is aimed at the general public, that is to say, it is intended that any person is able to manufacture and use the machine itself. That is why this document makes a technical study taking into account the different aspects that make up the realization of a plastic injection machine and groups them together to provide a simple solution, easy to implement and easy to understand by the end operator.

The aim is to create a machine that is easy to manufacture, easy to use and accessible to the general public. The object will be a small and useful element in everyday life.

The project will begin with a state-of-the-art reminder. It will continue with the study of the theoretical concepts of plastic injection, of the different polymers and of the essential rules for the creation of a mould. From the theoretical study, the design phase of the machine and the mould itself will begin, carrying out a modeling and sizing process. Afterwards, you will see how the machine can be manufactured.

In the state of the art and in the study of the theoretical concepts of plastic injection, a study is made of the theoretical part of this procedure, listing the different parts that exist in the plastic injection process, studying the different parts that exist within the machine itself. We analyze the rules that exist for the conception linked to the fluidity of the polymer inside the mold, the polymers that can be introduced inside the mold and the importance of the movement of the plastic inside the mold for the result of the final piece.

The choice of machine is one of the main aspects that define the project and helps or influences the fulfillment of the requirements and functional requirements of the project. That is why the choice of machine to size and shape is a plastic injection molding machine.

Injection moulding is a process of introducing a molten polymer into a closed die through a small hole. In the mould, the polymer solidifies into a semi-crystalline structure. The final part is obtained by opening the mould and removing the solidified part from it. Injection moulding is a very popular technique for the manufacture of different parts and components.

Next, we will reflect on the design of the functional elements of the machine in terms of the injection operation, polymer heating, connection between the machine and the mould. The choice of the object to be made with the mould will be made and finally the design of the machine will be shown after this conception phase.

Afterwards, the elaboration phase of the machine will begin, showing how the skeleton of the machine and its electrical part has been made. At the end of this section, the assembled machine will be shown in working order. At the same time, the final state of the mould can be seen.

Once the machine has been assembled, the experimental and testing phase will begin, which will serve to set different parameters to optimize the time and characteristics of the final piece to be made. This study will be conducted for different types of polymers. To finish the experimental results, the procedure to be followed for the use of the machine is shown.

Subsequently, the development of the project will be explained by a review of the objectives of the project and how they have been prepared so that the final result is as expected.

At the end of the project, a study of the potential improvements of the project and the machine is carried out.

At the same time, an economic assessment is made based on the different resources used to carry out the project, such as human, computer and material resources.

To conclude the report, an analysis is made of the socio-economic impacts that this project may have, such as the reduction of waste in the environment, the reduction of energy consumption and prices, the creation of jobs and new products. An environmental impact study is also carried out which shows how the project helps to reduce waste, increase resource efficiency and eliminate environmentally harmful products and processes.

Finally, there will be a series of annexes on the properties of the polymers, the budget of materials that have been used to produce the machine and the plans of the plastic injection machine.

The result of this project is a machine capable of heating a polymer and filling a mould to create a new object from recycled plastic.

This work has really helped to deepen one of the most used methods for the manufacture of parts such as injection moulding.

Likewise, the project has helped to consolidate the general objectives of the project, such as the modelling by graphic techniques, the design and calculation of machines, the capacity for the design of structures, the knowledge applied to fluidomechanical machines and the knowledge of the different manufacturing processes.







*"Cambiamos de conducta o cambiamos de planeta"*  
*Anónimo*



UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

---



## ÍNDICE DE CAPITULOS DEL DOCUMENTO Nº1

<b>PARTE I MEMORIA .....</b>	<b>27</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>27</b>
1.1. OBJETO DEL TRABAJO .....	27
1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO .....	27
<b>2. CONTEXTO .....</b>	<b>29</b>
2.1. ESTADO DEL ARTE.....	29
2.2. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO.....	29
2.3. REQUISITOS Y EXIGENCIAS FUNCIONALES .....	30
2.4. ALCANCE DEL PROYECTO .....	31
<b>3. CONCEPTOS TEORICOS.....</b>	<b>33</b>
3.1. LA INYECCIÓN PLÁSTICA .....	33
3.1.1. PLASTIFICACIÓN.....	34
3.1.2. INYECCIÓN.....	35
3.1.3. TIEMPO DE ENFRIAMIENTO.....	37
3.1.4. ELEMENTOS PRINCIPALES .....	38
3.1.5. FASES DEL CICLO DE INYECCIÓN .....	39
3.1.6. CIRCULACIÓN DEL POLIMERO FUNDIDO EN EL MOLDE .....	42
3.2. LOS POLIMEROS .....	44
3.2.1. LOS TERMOPLASTICOS .....	45
3.3. LAS REGLAS ESENCIALES DE CONCEPCIÓN LIGADAS A LA FLUIDEZ DEL POLIMERO FUNDIDO .....	47
3.3.1. FLUJO .....	47
3.3.2. MOLDE .....	49
<b>4. CONCEPCIÓN.....</b>	<b>51</b>
4.1. ELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS FUNCIONALES DE LA MÁQUINA .....	52
4.1.1. OPERACIÓN DE INYECCIÓN .....	52
4.1.2. CALENTAMIENTO DEL POLIMERO.....	57
4.1.3. CONEXIÓN ENTRE LA MÁQUINA Y EL MOLDE .....	59
4.2. ELECCIÓN DEL OBJETO A REALIZAR Y DEL MOLDE .....	60
4.3. DISEÑO DE LA MAQUINA DE INYECCION DESPUES DE LA FASE DE CONCEPCIÓN.....	67
<b>5. ELABORACIÓN DE LA MAQUINA .....</b>	<b>69</b>
5.1. ESQUELETO DE LA MAQUINA.....	69
5.2. PARTE ELECTRICA .....	70
<b>6. RESULTADOS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>75</b>



<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>81</b>
7.1.	DESARROLLO DEL PROYECTO .....	81
7.2.	CONCLUSIONES GENERALES .....	83
7.3.	POSIBLES DESARROLLOS FUTUROS .....	84
<b>8.</b>	<b>VALORACIÓN ECONÓMICA</b> .....	<b>87</b>
8.1.	RECURSOS HUMANOS .....	87
8.2.	RECURSOS INFORMATICOS: .....	88
8.3.	RECURSOS MATERIALES:.....	88
8.4.	CONCLUSIÓN SOBRE LA VALORACIÓN ECONÓMICA .....	89
<b>9.</b>	<b>ANÁLISIS DE IMPACTOS</b> .....	<b>91</b>
9.1.	IMPACTO SOCIOECONÓMICO .....	91
9.2.	IMPACTO AMBIENTAL.....	92
<b>10.</b>	<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>95</b>
<b>11.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>97</b>
11.1.	PUBLICACIONES.....	97
<b>12.</b>	<b>ANEXO 1: PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS</b> .....	<b>99</b>
<b>13.</b>	<b>ANEXO 2: PLANO DE LA MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO</b> .....	<b>105</b>
<b>14.</b>	<b>ANEXO 3: PLANO DEL MOLDE DEL LLAVERO DE TALLER ESFERICA</b> .....	<b>107</b>
<b>15.</b>	<b>ANEXO 4: PRESUPUESTO DE MATERIALES</b> .....	<b>109</b>
<b>16.</b>	<b>ANEXO 5: PLANOS DE LA MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO</b> .....	<b>111</b>
<b>17.</b>	<b>MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE INYECCIÓN PLÁSTICA</b> .....	<b>121</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS DEL DOCUMENTO Nº1

Ilustración 1: Diferentes máquinas realizadas por Precious Plastic. Fuente: Precious Plastic .....	29
Ilustración 2: Uno de los lemas de Precious Plastic. Fuente: Precious Plastic.....	30
Ilustración 3: Máquina industrial de inyección plástica. Fuente: Nexamspro (Nexamspro, s.f.) .....	33
Ilustración 4: Esquema del grupo de inyección. Fuente: Google Sites (Materiales Tecnología, s.f.).....	35
Ilustración 5: Fases de inyección. Fuente: elaboración propia .....	36
Ilustración 6: Esquema máquina de inyección. Fuente: Dimoplast (Aprende inyeccion de plastico, s.f.) .....	38
Ilustración 7: Esquema sencillo máquina de inyección. Fuente: ECL.....	39
Ilustración 8: Fase 1 del ciclo de inyección: Fuente: ECL.....	39
Ilustración 9: Fase 2 del ciclo de inyección: Fuente: ECL.....	40
Ilustración 10: Fase 2 del ciclo de inyección: Fuente: ECL.....	40
Ilustración 11: Fase 2 del ciclo de inyección: Fuente: ECL.....	40
Ilustración 12: Fase 3 del ciclo de inyección: Fuente: ECL.....	41
Ilustración 13: Fase 3 del ciclo de inyección: Fuente: ECL.....	41
Ilustración 14: Transcurso del ciclo de inyección en función del tiempo. Fuente: ECL .	42
Ilustración 15: Presión en función del tiempo experimentalmente. Fuente: ECL .....	42
Ilustración 16: Perfil de velocidades. Fuente: (Aprende inyeccion de plastico, s.f.).....	43
Ilustración 17: Perfil de velocidad del flujo, gradiente de velocidad y temperatura durante el llenado de un molde. Fuente: (Aprende inyeccion de plastico, s.f.).....	43
Ilustración 18: Presión para diferentes caudales. Fuente: ECL.....	44
Ilustración 19: Modulo de Young en función de la temperatura. Fuente: (Temperatura de transición vítrea , s.f.) .....	46



Ilustración 20: Sistema de codificación de los plásticos. Fuente: (Depositphotos, s.f.).	46
Ilustración 21: Llenado del molde y líneas de soldadura. Fuente: ECL .....	47
Ilustración 22: Llenado del molde no equilibrado. Fuente: ECL .....	48
Ilustración 23: Llenado del molde equilibrado. Fuente: ECL .....	48
Ilustración 24: Tipos de línea de soldadura. Fuente: ECL .....	49
Ilustración 25: Efecto de "incertidumbre". Fuente: ECL.....	49
Ilustración 26: Máquina de inyección de Precious Plastic. Fuente: (Hakkens, s.f.) .....	51
Ilustración 27: Relación entre largo del flujo de resina y espesor de pared. Fuente: (Tecnova, s.f.) .....	53
Ilustración 28: Esquema de la máquina de inyección. Fuente: Elaboración propia .....	55
Ilustración 29: Esquema de la máquina de inyección, segunda versión. Fuente: Elaboración propia.....	56
Ilustración 30: Banda calefactora. Fuente: (RS Components Ltd., s.f.).....	57
Ilustración 31: Termopar. Fuente: (RS Components Ltd., s.f.).....	58
Ilustración 32: Reguladores de temperatura. Fuente: (TC Direct, s.f.) .....	58
Ilustración 33: Relé de estado solido. Fuente: (RS Components Ltd., s.f.).....	59
Ilustración 34: Modelo de la pieza que conecta el cilindro con el molde. Fuente: Elaboración propia.....	60
Ilustración 35: Llavero con forma de tabla de surf. Fuente: (Taller Esférica, s.f.) .....	60
Ilustración 36: Molde del llavero con forma de tabla de surf. Fuente: (Taller Esférica, s.f.) .....	61
Ilustración 37: Llavero con forma de aleta de tiburón. Fuente: (Taller Esférica, s.f.)....	61
Ilustración 38: Molde del llavero con forma de aleta de tiburón. Fuente: (Taller Esférica, s.f.) .....	62
Ilustración 39: Modelo del objeto a realizar. Fuente: (Taller Esférica, s.f.).....	63
Ilustración 40: Modelo del objeto a realizar. Fuente: Elaboración propia .....	63



Ilustración 41: Primera pieza del molde. Fuente: Elaboración propia .....	65
Ilustración 42: Segunda pieza del molde. Fuente: Elaboración propia .....	65
Ilustración 43: Tercera pieza del molde. Fuente: Elaboración propia.....	66
Ilustración 44: Cuarta pieza del molde. Fuente: Elaboración propia .....	66
Ilustración 45: Modelo 3D de la máquina a realizar. Fuente: Elaboración propia .....	67
Ilustración 46: Perfil de aluminio. Fuente: (Elcom, s.f.).....	69
Ilustración 47: Caja para almacenar los componentes eléctricos. Fuente: Elaboración propia .....	70
Ilustración 48: Máquina realizada. Fuente: Elaboración propia .....	71
Ilustración 49: Máquina realizada. Fuente: Elaboración propia .....	71
Ilustración 50: Máquina realizada. Fuente: Elaboración propia .....	72
Ilustración 51: Molde realizado. Fuente: Elaboración propia.....	73
Ilustración 52: Molde realizado. Fuente: Elaboración propia.....	73
Ilustración 53: Masa en función de tiempo de mantenimiento para el PP. Fuente. Elaboración propia.....	76
Ilustración 54: Masa en función de tiempo de mantenimiento para el PS. Fuente. Elaboración propia.....	77
Ilustración 55: Como desmoldar la pieza final. Fuente: Elaboración propia .....	79
Ilustración 56: Como desmoldar la pieza final. Fuente: Elaboración propia .....	80
Ilustración 57: Objeto final realizado con la máquina de inyección de plástico y con una impresora 3D. Fuente: Elaboración propia .....	80
Ilustración 58: Molde para la fabricación de un parachoques de un coche. Fuente: (Mecaplastica, s.f.).....	83
Ilustración 59: Molde de una percha de plástico. Fuente: (Evisos, s.f.).....	83
Ilustración 60: Residuos plásticos en la playa. Fuente: (Hakkens, s.f.) .....	92
Ilustración 61: Como desmoldar la pieza final. Fuente: Elaboración propia .....	122



Ilustración 62: Como desmoldar la pieza final. Fuente: Elaboración propia ..... 123

Ilustración 63: Objeto final realizado con la máquina de inyección de plástico y con una impresora 3D. Fuente: Elaboración propia ..... 123





## INDICE DE TABLAS DEL DOCUMENTO N°1

Tabla 1: Requisitos y exigencias. Fuente: Elaboración propia .....	30
Tabla 2: Prevención de riesgos. Fuente: Elaboración propia.....	31
Tabla 3: Factor por viscosidad. Fuente: (Tecnova, s.f.) .....	53
Tabla 4: Limitaciones máximas de fuerza a aplicar. Fuente: Elaboración propia (Strength Data, s.f.) .....	55
Tabla 5: Características más importantes del esqueleto de la máquina. Fuente: Elaboración propia.....	56
Tabla 6: Características del PP y PS. Fuente: ECL .....	75
Tabla 7: Tiempo de mantenimiento y masa de la pieza final para el PP. Fuente: Elaboración propia.....	76
Tabla 8: Tiempo de mantenimiento y masa de la pieza final para el PS. Fuente: Elaboración propia.....	77
Tabla 9: Recordatorio de los requisitos y exigencias del proyecto. Fuente: Elaboración propia .....	81
Tabla 10: Costes recursos humanos alumno. Fuente: Elaboración propia .....	87
Tabla 11: Costes recursos humanos profesorado. Fuente: Elaboración propia .....	87
Tabla 12: Costes recursos informáticos. Fuente: Elaboración propia .....	88
Tabla 13: Coste de materiales. Fuente: Elaboración propia .....	88



## SIGLAS Y ACRONIMOS DEL DOCUMENTO Nº1

TFG: Trabajo de Fin de Grado

ICAI: Instituto Católico de Artes e Industrias

ECL: École Centrale Lyon



## PARTE I MEMORIA

### 1. INTRODUCCIÓN

El reciclaje es uno de los mayores desafíos para el desarrollo sostenible. El reciclaje evita el desuso de materiales potencialmente útiles, reduce el consumo de materias primas, reduce el consumo de energía, evita la contaminación del aire y del agua, y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.

El reciclaje es un elemento clave en la disminución de residuos, siendo uno de los elementos de las 3R “Reducir, reciclar y reutilizar” (Reciclaje, s.f.).

Actualmente, no todos los desechos son reciclados después de su utilización, como es el caso de los plásticos. Aunque las técnicas de reciclaje han aumentado los últimos años y la sociedad esta cada día más concienciada con el cuidado del medio ambiente, la tasa de reciclaje esta todavía muy baja y lejos de objetivos de la Unión Europea (Residuos plásticos: una estrategia europea para proteger el planeta, defender a los ciudadanos y capacitar a las industrias, 2018).

Es por eso por lo que organizaciones tratan de luchar contra este hecho como pueden ser la asociación de “WeWaste” y la comunidad de “Precious Plastic” (Hakkens, s.f.). WeWaste es una asociación lionesa que organiza colectas de residuos y busca sensibilizar a los propios habitantes de Lyon a gestionar sus residuos. Precious Plastic es una comunidad global de miles de personas que trabajan en común para encontrar una solución a la contaminación que produce el plástico.

#### 1.1. OBJETO DEL TRABAJO

Este proyecto se centra en el diseño y en la realización de una máquina de reciclaje de plástico, así como en el diseño y en la realización de un molde para la creación de un nuevo objeto. Esta máquina será una máquina de inyección de plástico. El plástico entrará en la máquina, será calentado hasta su estado fundido e inyectado en el molde a alta presión. El objetivo es la creación de una máquina fácil de fabricar, fácil de utilizar y que todo el público tenga acceso a su realización. El objeto será un elemento pequeño y útil en la vida cotidiana.

#### 1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO

Con la realización de este TFG se pretende se pretende la sensibilización ciudadana hacia el reciclaje de plástico y la mejora del medio ambiente. Se busca dar una segunda vida a objetos que iban a desecharse. Así, los objetivos específicos de este proyecto son los siguientes (La Bio Guia, s.f.):



- Fomentar el reciclaje de los plásticos.
- Reaprovechar los envases ya utilizados.
- Mantener el entorno limpio.
- Reducir las necesidades de crear nuevos objetos a partir de materias primas.
- Reducir la necesidad de vertederos y del proceso de incineración.

La consecuencia de estos objetivos específicos permitiría una mejora en otros aspectos más generales como pueden ser:

- Evitar la contaminación del agua, del aire y de los suelos.
- Ahorro de energía.
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Preservación de los recursos naturales.
- Reducción de costes asociados a la producción de nuevos bienes.
- Reducción del volumen de residuos.

## 2. CONTEXTO

### 2.1. ESTADO DEL ARTE

Existen numerosos proyectos que buscan sensibilizar y popularizar el reciclaje de plástico. Uno de los proyectos con mayor relevancia es el proyecto de Precious Plastic, iniciado en 2013 con Dave Hakkens. Este proyecto consistía en la sensibilización del público en general al reciclaje de plástico a través del diseño y la simple realización de máquinas que permitiesen crear objetos reciclados a partir de desechos y a escala no industrial (individual). El proyecto ha creado diferentes máquinas (máquina de extrusión, máquina de inyección, máquina de compresión...) para diferentes necesidades y para crear diferentes objetos.

El proyecto de Dave Hakkens continua y crece ininterrumpidamente. Existe una comunidad global de cientos de personas buscando una solución a la contaminación plástica. Se comparten habilidades y conocimientos.



*Ilustración 1: Diferentes máquinas realizadas por Precious Plastic. Fuente: Precious Plastic*

Este proyecto tiene un enfoque basado en el plan que siguió Dave Hakkens, buscando sensibilizar y popularizar el reciclaje de plástico. Precious Plastic y su máquina de inyección para el reciclaje de plástico han servido de inspiración y de modelo para la creación de una nueva máquina de inyección de plástico y un molde para esta nueva máquina.

### 2.2. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La principal motivación de este proyecto ha sido la responsabilidad que cada persona tiene por preservar los recursos naturales. El proyecto no solo busca la importancia y la sensibilización al reciclaje de plástico sino a hacer participe a cada persona del proceso del reciclaje siendo cada uno actor y agente, es decir, siendo la persona que separa los materiales, los recicla y los utiliza para crear un nuevo objeto que esta misma persona va a utilizar. Es hacer ver que todo el mundo es participe de la

economía circular con la reducción de la entrada de materias primas, y que todo el mundo puede ayudar a la reducción de la contaminación.



Ilustración 2: Uno de los lemas de Precious Plastic. Fuente: Precious Plastic

### 2.3. REQUISITOS Y EXIGENCIAS FUNCIONALES

La elaboración de los requisitos para la concepción y la fabricación de la máquina han sido concebidos a partir del objetivo de crear una máquina de inyección de plástico que todo el mundo pueda utilizar y la creación de un molde para esta máquina, es decir, “la máquina debe de producir un objeto en plástico reciclado”. Los requisitos han sido influenciados por las observaciones hechas ya por Dave Hakkens y por la comunidad de Precious Plastic.

TIPO DE FUNCIÓN	SIGLA	FUNCIÓN	CRITERIO
FUNCIÓN PRINCIPAL	FP1	Reciclaje del plástico más común recolectado	Temperatura de utilización
	FP2	Utilización simple	Mínimas operaciones
	FP3	Creación de un manual de empleo	Funcionamiento, riesgos...
	FP4	Funcionamiento en diferentes lugares	Interiores, exteriores...
	FP5	Seguridad en su utilización	Sin riesgos potenciales
	FP6	Calentamiento del plástico a una temperatura precisa	Indicador de temperatura
	FP7	Fabricación asequible y económica	Precio razonable
FUNCIÓN COMPLEMENTARIA	FC1	Transporte fácil de la máquina	Limite de volumen
	FC2	Mantenimiento simple	Limpieza sencilla
	FC3	Conocimiento de los plásticos que puede ser usados	Guía de acompañamiento
OBLIGACIONES	O1	Respeto con el medio ambiente	Eco-concepción

Tabla 1: Requisitos y exigencias. Fuente: Elaboración propia



Estos requisitos y exigencias hacen que exista una serie de riesgos a tener en cuenta y a evitar en mayor o en menor medida. Con los diferentes riesgos que existen, se han valorado y se ha realizado un estudio para su prevención.

SIGLA	RIESGO	PREVENCIÓN
R1	Restringir la utilización de algún tipo de plástico	Estudiar las cualidades medias de los plásticos
R2	No poder desplazar la máquina	Encontrar un medio de transporte
R3	Complejidad en la elaboración	Crear una máquina simple
R4	Mala utilización de la máquina	Buena explicación del método de empleo
R5	Degradación de la máquina	Mantenimiento sencillo
R6	Lesiones de los operadores	Buena protección de las partes térmicas y móviles
R7	No alcanzar la temperatura deseada en un tiempo razonable	Tener un indicador de la temperatura en cada instante
R8	Utilizar materiales perjudiciales para el medio ambiente	Seleccionar bien los materiales que se tienen que utilizar
R9	Utilizar materiales caros	Elegir materiales asequibles con las cualidades necesarias

Tabla 2: Prevención de riesgos. Fuente: Elaboración propia

## 2.4. ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto está enfocado para la realización de las diferentes fases por las que pasa una máquina, como pueden ser su concepción, dimensionamiento, realización y fabricación y finalmente utilización.

El proyecto está destinado al público en general, es decir, se busca que cualquier persona sea capaz de fabricar y pueda utilizar después la propia máquina. Es por eso que el presente documento hace un estudio técnico teniendo en cuenta los diferentes aspectos que conforman la realización de una máquina de inyección de plástico y los agrupa para dar una solución sencilla, fácil de implementar y fácil de comprender por el operador final.





### 3. CONCEPTOS TEORICOS

#### 3.1. LA INYECCIÓN PLÁSTICA

La elección de la máquina es uno de los grandes aspectos que definen el proyecto y ayuda o influye en el cumplimiento de los requisitos y exigencias funcionales del proyecto. Es por eso, que la elección de la máquina a dimensionar y modelar es una máquina de moldeo por inyección plástica.

El moldeo por inyección es un proceso que consiste en introducir un polímero en estado fundido en un molde cerrado a presión a través de un orificio pequeño. En el molde, el polímero se solidifica formando una estructura semicristalina. La pieza final se obtiene al abrir el molde y sacar de aquí la pieza solidificada (¿Qué es la inyección de plasticos?, s.f.).

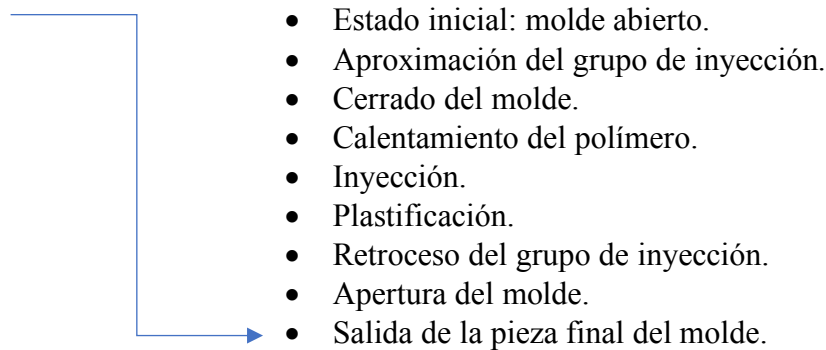
El moldeo por inyección es una técnica muy popular para la fabricación de diferentes piezas y componentes. La popularidad del método puede explicarse por la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez de la fabricación, la complejidad de geometrías que puede aportar a la pieza final, los altos niveles de producción a bajos costes, la gran capacidad de automatización, la buena tolerancia dimensional de la pieza a producir o los diferentes acabados como el color, rugosidad, transparencia en los que puede ser moldeada la pieza. Por todo esto, cerca del 90% de las piezas en termoplástico son obtenidas por inyección. Es el método que mejor permite respetar las especificaciones técnicas de las piezas. Es una técnica que principalmente está reservada a las grandes producciones en serie pero que perfectamente puede adaptarse a una técnica más “manual”.



Ilustración 3: Máquina industrial de inyección plástica. Fuente: Nexamspro (Nexamspro, s.f.)

La inyección puede descomponerse como mínimo en dos fases: la fase dinámica de rellenado del molde y la fase de mantenimiento a presión. El paso de una fase a la otra es llamado punto de conmutación.

El funcionamiento secuencial de la fabricación de una pieza podría ser esquematizado así:



### 3.1.1. PLASTIFICACIÓN

La capacidad de plastificación puede ser definida como la cantidad de plástico que puede ser fundido, homogeneizado, y calentado a la temperatura de procesado en el cilindro, por unidad de tiempo (kg/h). Si la capacidad de plastificación es demasiado baja con relación al tamaño de la inyectada requerida, el material plástico no estará suficientemente fundido, por contra, una capacidad excesiva puede producir una degradación térmica del plástico, debido a su larga permanencia en el cilindro (Moldeo por inyección, capacidad de plastificación, s.f.).

En la fase dinámica, el llenado del molde se hace hasta que el orificio de salida que esta en contacto con el molde es obstruido por el polímero inyectado (este orificio actúa como tapón del molde ya que el polímero plastifica).

Los principales parámetros a tener en cuenta en la plastificación son:

- El perfil de temperatura en la camisa calefactora: debe ser superior a la temperatura de fusión del polímero para disminuir su viscosidad.
- El volumen de vertido: cantidad de materia fundida disponible para la inyección y el mantenimiento bajo presión.
- La velocidad de inyección: esta velocidad no debe pasar un valor limite por miedo a dañar el polímero.
- La contra presión: presión en el pistón o tornillo sin fin que mejor permite el llenado con la mejor mezcla del polímero fundido.

- La descompresión después de la inyección: que permita evitar los filamentos del polímero después de la apertura del molde.

El ajuste se hace principalmente sobre los tres primeros parámetros. Los criterios de calidad de esta fase son el volumen de materia inyectada y la homogeneidad de la viscosidad del polímero.

### 3.1.2. INYECCIÓN

La inyección es un procedimiento mediante el cual se hace pasar un líquido o un material viscoso a través de un tubo o un conducto circular.

El grupo de inyección es esquematizado en la siguiente figura. Sus principales componentes son el sistema de alimentación por donde entra el polímero granulado, la camisa calefactora que calienta el polímero para fundirlo y el cabezal o punto de salida. Para permitir que el polímero fundido avance desde el sistema de alimentación hasta el punto de salida, existe un pistón o un tornillo sin fin.

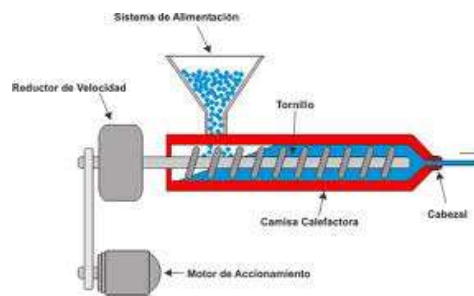


Ilustración 4: Esquema del grupo de inyección. Fuente: Google Sites (Materiales Tecnología, s.f.)

La inyección plástica comprende esencialmente dos fases:

- Una primera fase dinámica de relleno del molde.
- Una segunda fase de mantenimiento a presión.

El paso de una fase a la otra es llamado punto de conmutación.

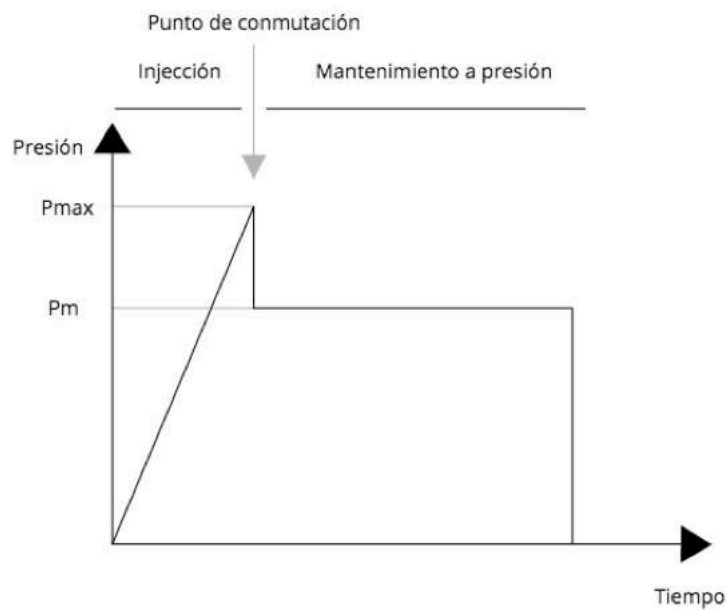


Ilustración 5: Fases de inyección. Fuente: elaboración propia

### 3.1.2.1. FASE DINAMICA DE RELLENADO

El parámetro de esta fase es el caudal del polímero fundido. Debe de ser rápido porque el molde está frío mientras que la materia está caliente (menos de un segundo) pero no demasiado para evitar que se rompan las cadenas macromoleculares. El caudal utilizado será determinado en función de la velocidad de cizallamiento admisible en el punto de salida para cada polímero.

La presión de inyección depende del espesor de las piezas, de la longitud, de la viscosidad del polímero... La subida de presión debe ser lo más regular posible.

### 3.1.2.2. FASE DE MANTENIMIENTO A PRESIÓN

Durante el enfriamiento, la materia se retrae y para compensarlo, una presión se mantiene en el canal de inyección del polímero fluido. Esta fase se mantiene hasta la solidificación del orificio de salida.

Los parámetros a ajustar en esta fase son la presión de mantenimiento y el tiempo de mantenimiento.

### 3.1.2.3. PUNTO DE CONMUTACIÓN

El parámetro que hay que observar para que se produzca el cambio de fase es la presión máxima durante la fase dinámica. Esta presión debe ser grande como para que el polímero rellene todo el molde, pero no lo bastante como para introducir esfuerzos internos importantes en la pieza final o lo que sería peor, que introdujera errores.

### 3.1.3. TIEMPO DE ENFRIAMIENTO

El tiempo de enfriamiento de la materia corresponde a la fase más larga del ciclo de inyección y si se quiere optimizar la cadena de producción, es la fase primordial. Cualquiera que sea la aproximación utilizada para determinar este tiempo, siempre encontraremos que es proporcional al espesor de la pieza al cuadrado e dividido por la difusividad térmica  $a$  del material.

$$t_e \sim \frac{e^2}{a}$$

Siendo  $a = \frac{\lambda}{\rho C_p}$  y donde  $\lambda$  es la conductividad térmica,  $\rho$  la densidad y  $C_p$  el calor específico.

Existen dos modos de transferencia de calor durante el enfriamiento:

- De la materia hacia el molde.
- Del molde hacia el líquido refrigerante.

Fuera de métodos asistidos por ordenador, existen principalmente dos formas que permiten de estimar el tiempo de enfriamiento:

El primero método está basado en la cantidad de calor transferido al material sobre estructuras delgadas:

$$t_e = \frac{1}{4} \frac{e^2}{a}$$

El orden de la difusividad térmica  $a$  de un polímero es  $10^{-7}$  mm<sup>2</sup>/s, por lo que una primera aproximación de este tiempo en segundos puede ser obtenida con el espesor  $e$  en mm y la fórmula:

$$t_e = 2,5 e^2$$

El segundo método se basa en la integración de la ecuación de difusión de calor:

$$t_e = \frac{e^2}{a} \frac{1}{\pi^2} \ln \left[ \frac{4}{\pi} \left( \frac{T_m - T_p}{T_d - T_p} \right) \right]$$

Donde  $T_d$  es la temperatura de expulsión de la pieza final sin que la pieza sufra deformaciones,  $T_p$  la temperatura de las paredes del molde y  $T_m$  la temperatura de salida del grupo de inyección.

En la práctica, los termoplásticos no presentan punto de fusión preciso que marquen con precisión el paso del estado sólido al estado líquido y viceversa. Estos materiales tienen un endurecimiento a medida que la temperatura disminuye. Existen diferentes normas que permiten determinar a que temperatura la resistencia mecánica del termoplástico se convierte en insuficiente como pueden ser la temperatura de reblandecimiento o la temperatura de flexión sobre carga. Generalmente la temperatura que se utiliza como temperatura de salida del grupo de inyección es la temperatura de transición vítrea para los termoplásticos amorfos y la temperatura de cristalización para los semicristalinos, siempre con un coeficiente de seguridad (de unos 10°C).

#### 3.1.4. ELEMENTOS PRINCIPALES

Los elementos principales de la máquina de inyección de plásticos están repartidos en el sistema de inyección y en el sistema de cierre. En el sistema de inyección se encuentra la tolva con los gránulos de plástico, el cilindro, el pistón, las bandas calefactoras y la materia fundida. En el sistema de cierre está el molde y el sistema de expulsión de la pieza final. Un esquema podría ser el siguiente:

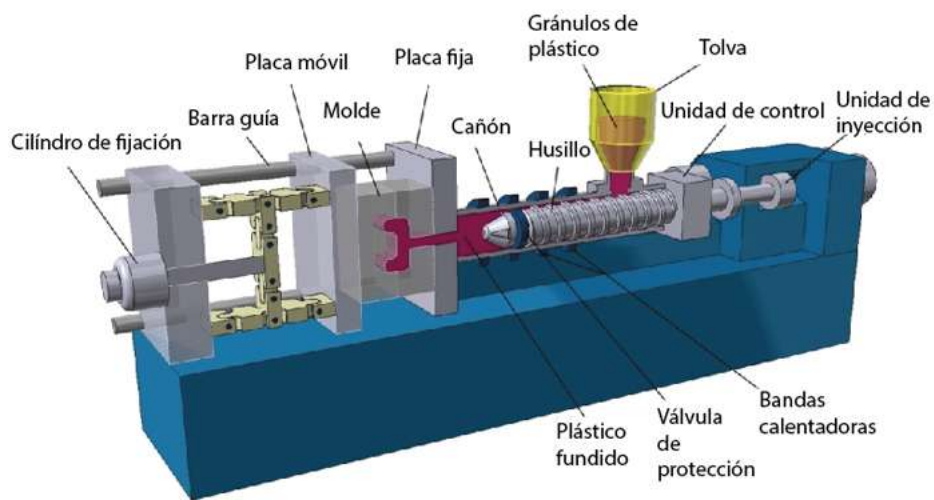


Ilustración 6: Esquema máquina de inyección. Fuente: Dimoplast (Aprende inyección de plástico, s.f.)

### 3.1.5. FASES DEL CICLO DE INYECCIÓN

Para esquematizar y entender el ciclo de inyección, la máquina de inyección de plásticos se puede ver como un cilindro donde se mueve un pistón y que se une por contacto directo con el molde. A partir de este esquema, veremos las diferentes fases.

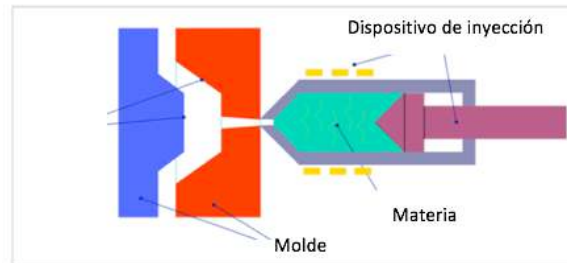


Ilustración 7: Esquema sencillo máquina de inyección. Fuente: ECL

#### 3.1.5.1. FASE 1

En esta primera fase comienza con el molde abierto. A continuación, se acerca el grupo de inyección al molde, el cual se cierra. Después se calienta el polímero, se plastifica.

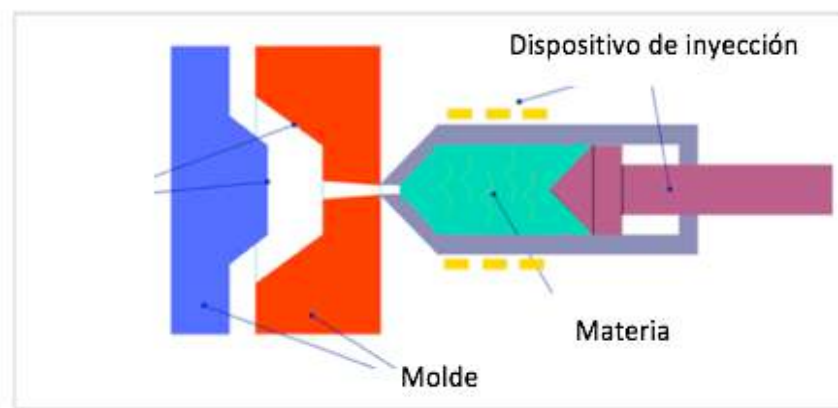


Ilustración 8: Fase 1 del ciclo de inyección: Fuente: ECL

#### 3.1.5.2. FASE 2

En la segunda fase, el polímero fundido comienza a ser inyectado en el molde, gracias a la presión que produce el movimiento del pistón dentro del cilindro.

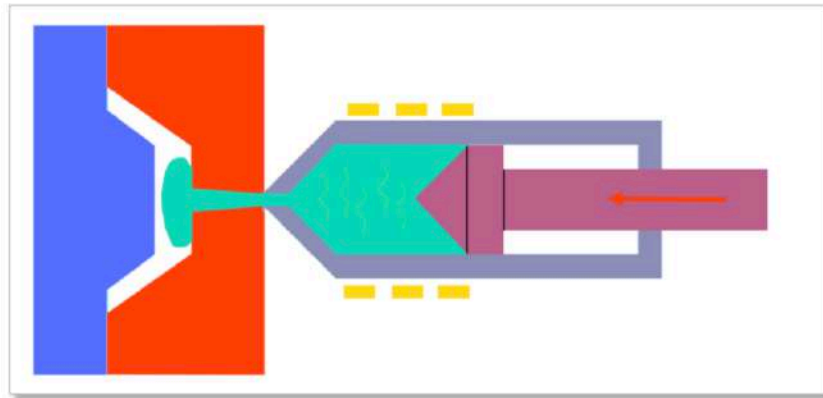


Ilustración 9: Fase 2 del ciclo de inyección: Fuente: ECL

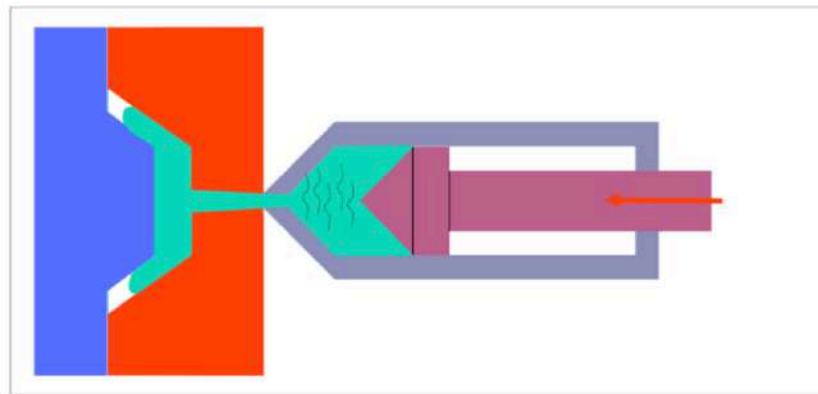


Ilustración 10: Fase 2 del ciclo de inyección: Fuente: ECL

El llenado del molde se produce bajo presión. La presión se mantiene hasta la solidificación del orificio de salida.

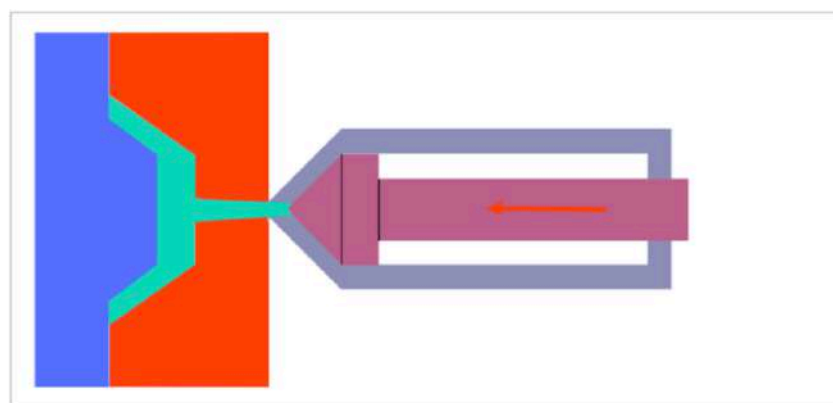


Ilustración 11: Fase 2 del ciclo de inyección: Fuente: ECL



### 3.1.5.3. FASE 3

En esta última fase se produce el enfriamiento del polímero. Mientras tanto, el sistema de inyección se prepara para crear la siguiente pieza, introduciendo una nueva cantidad de polímero granulado.

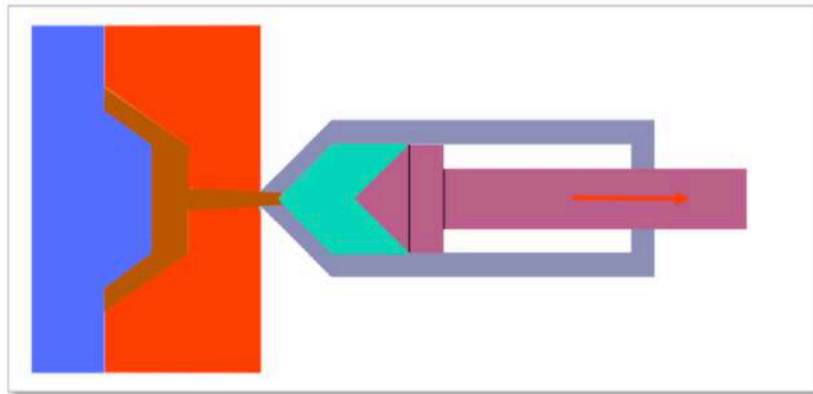


Ilustración 12: Fase 3 del ciclo de inyección: Fuente: ECL

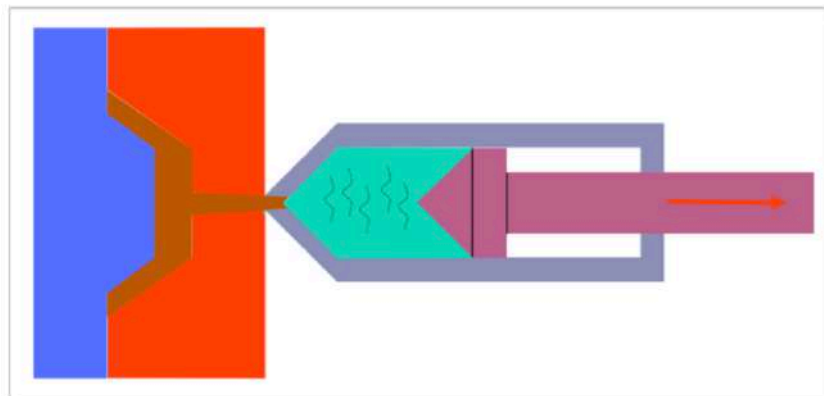


Ilustración 13: Fase 3 del ciclo de inyección: Fuente: ECL

El transcurso del ciclo de inyección en función del tiempo es el siguiente:

- 1.Cierre
- 2.Inyección
- 3.Mantenimiento a presión
- 4.Plastificación
- 5.Enfriamiento
- 6.Apertura
- 7.Expulsión

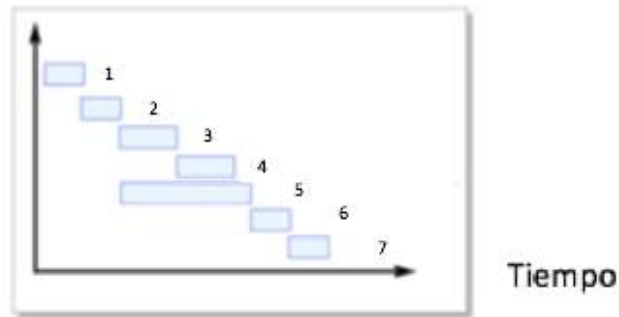


Ilustración 14: Transcurso del ciclo de inyección en función del tiempo. Fuente: ECL

La presión experimental que experimenta el ciclo de inyección en función del tiempo tendrá la siguiente forma:

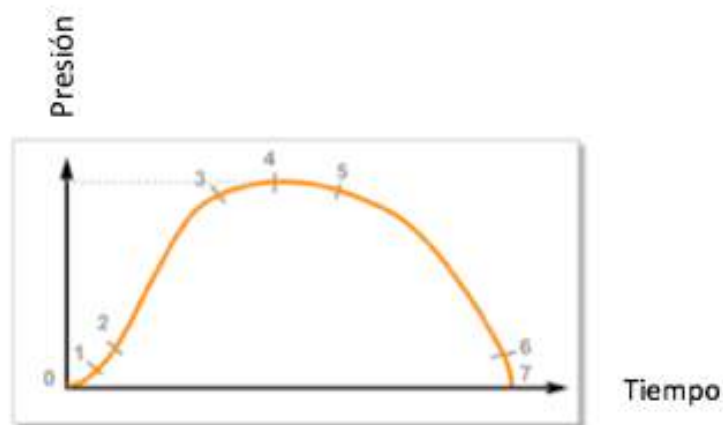


Ilustración 15: Presión en función del tiempo experimentalmente. Fuente: ECL

### 3.1.6. CIRCULACIÓN DEL POLIMERO FUNDIDO EN EL MOLDE

El polímero fundido entra en la cavidad del molde, tiene pérdidas de calor y se crea una capa fría en contacto con el molde, mientras el resto del polímero fundido continua su marcha hasta llenar el molde por completo. El fluido que entra en el molde es de tipo laminar y el frente de ataque se produce un “efecto fuente”, lo que quiere decir que la mayor parte del fluido avanza mientras que la otra parte restante rellena los laterales. El efecto fuente origina una fuerte orientación de las moléculas.

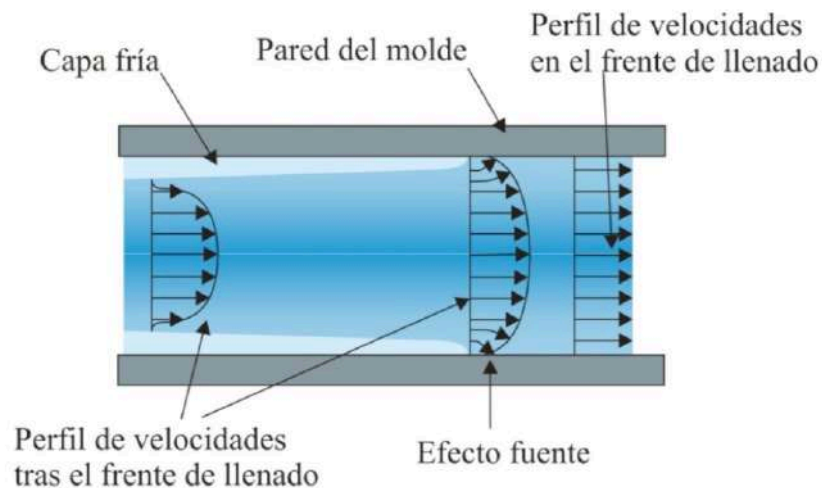


Ilustración 16: Perfil de velocidades. Fuente: (Aprende inyección de plástico, s.f.)

La velocidad de inyección juega un papel importante ya que con una inyección rápida se crea una capa sólida más pequeña y con una inyección lenta se crea una capa sólida más grande.

En las cercanías de la capa fría el material se va sometiendo a un gradiente de velocidad elevado. En una situación normal, a temperatura del polímero aumenta de forma progresiva desde la capa fría hacia el núcleo fundido. Sin embargo, por consecuencia del gradiente de velocidad en el límite entre la capa fría y el núcleo, la cizalla es muy elevada y se puede producir un incremento local de la temperatura del material en esa zona.

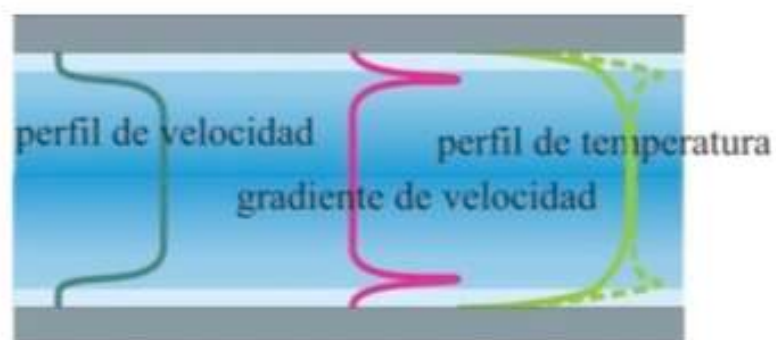


Ilustración 17: Perfil de velocidad del flujo, gradiente de velocidad y temperatura durante el llenado de un molde. Fuente: (Aprende inyección de plástico, s.f.)

Existe un caudal óptimo que minimiza la presión y regula el espesor de la capa sólida.

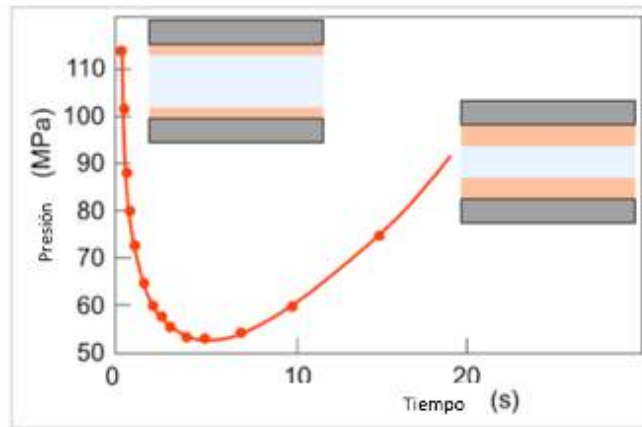


Ilustración 18: Presión para diferentes caudales. Fuente: ECL

### 3.2. LOS POLIMEROS

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros (Polímeros, s.f.). Los polímeros están constituidos de  $N$  monómeros de tamaño  $a$ . Los polímeros pueden ser una cadena lineal o una ramificación.

Algunos ejemplos pueden ser el polietileno, el poliestireno, el polipropileno...

Hay muchas formas de clasificar a los polímeros. Una de ellas es clasificarlos en función de su precio:

- Los plásticos de gran difusión (0,5 a 1,5 €/Kg).
- Los plásticos técnicos (1,5 a 7 €/Kg).
- Los plásticos especiales (> 7 €/Kg).

Otra forma de clasificarlos puede ser en función del grupo al que pertenecen:

- Termoestable.
- Elastómeros.
- Termoplásticos.

Los termoplásticos suponen el 80% de la producción. Se ablandan con el calor hasta la temperatura de derretido. Su puesta en práctica y su fabricación se basa en este fenómeno. Es un producto fácilmente reciclable. Por su gran producción, sus características térmicas y su facilidad al reciclaje será el grupo en el que nos centraremos.



Los termoestables no tienen estado plástico. Es decir, pasan directamente del estado sólido a la descomposición térmica.

Los elastómeros tienen un comportamiento elástico que pueden ser deformados fácilmente sin que se rompan sus enlaces o modifique su estructura.

Entre las propiedades que definen las propiedades de los polímeros, las más importantes son:

- La temperatura de transición vítrea del polímero.
- El peso medio molecular del polímero.

La temperatura de transición vítrea determina la temperatura en la cual el polímero cambia radicalmente sus propiedades mecánicas, cuando la temperatura de transición vítrea es ligeramente inferior a la temperatura ambiente el polímero se comporta como un material elástico (elastómero), cuando la temperatura de transición vítrea es superior a la temperatura ambiente el polímero se comporta como un material rígido (termoestable).

El peso molecular medio determina de manera directa tanto el tamaño del polímero, así como sus propiedades tanto químicas como mecánicas (viscosidad, mojado, resistencia a la fluencia, resistencia a la abrasión ...), polímeros con alto peso molecular medio corresponden a materiales muy viscosos (Definición de polímero, s.f.).

Algunos polímeros tienen una regularidad en su estructura química, es decir, tienen una red cristalina elemental. Si no existe una estructura química regular y no hay organización de las cadenas poliméricas se dice que es una estructura amorfa. Los polímeros también pueden tener mezcla de las dos fases y se les conoce como polímeros semicristalinos. La cantidad de fase cristalina existente en el polímero se puede medir y es conocida como concentración másica de la fase cristalina.

### 3.2.1. LOS TERMOPLÁSTICOS

Un material termoplástico es un material que se ablanda repetidamente cuando se calienta por encima de cierta temperatura, pero se endurece de nuevo por debajo. Por lo tanto, este material siempre conservará reversiblemente su termoplaticidad inicial. Esta calidad hace que el material termoplástico sea potencialmente reciclable. Esto implica que el material ablandado no se degrada térmicamente y que las tensiones de cizallamiento mecánicas introducidas por un proceso de conformado no modifican la estructura molecular.

Durante el calentamiento, el módulo  $E$  (Pa) de un polímero semicristalino decrece, en un principio, rápidamente. Luego pasa por un período de estabilización, en el gráfico se muestra un amesetamiento de la curva. En esta fase el material se presenta muy viscoso. Si la temperatura se incrementa aún más, el polímero se funde y el módulo

es cero. Entre el estado rígido y el viscoso se encuentra la temperatura de transición vítrea  $T_g$  (Temperatura de transición vítrea, s.f.).

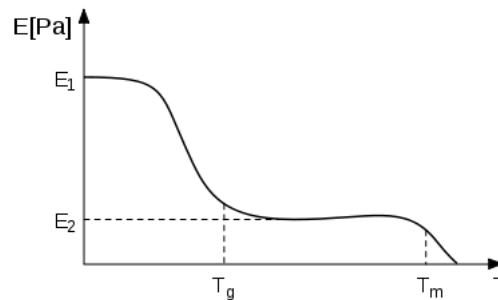


Ilustración 19: Módulo de Young en función de la temperatura. Fuente: (Temperatura de transición vítrea, s.f.)

Todos los polímeros termoplásticos presentan una  $T_g$ , ya sean estos amorfos o semicristalinos. Los polímeros amorfos al calentarse presentan solamente una transición, la  $T_g$ . Los polímeros semicristalinos presentan dos, la  $T_g$  y la temperatura de fusión de los cristales ( $T_m$ ).  $T_g$  es un valor de extrema importancia en ingeniería de polímeros, pues indica la temperatura de trabajo del plástico y por ende determina si un plástico concreto puede ser utilizado para una aplicación dada.

Los termoplásticos más usados son el politereftalato de etileno (PET), el polietileno (PE), el policloruro de vinilo (PVC), el polipropileno (PP) y el poliestireno (PS). Es por esto, que son los polímeros más reciclados.

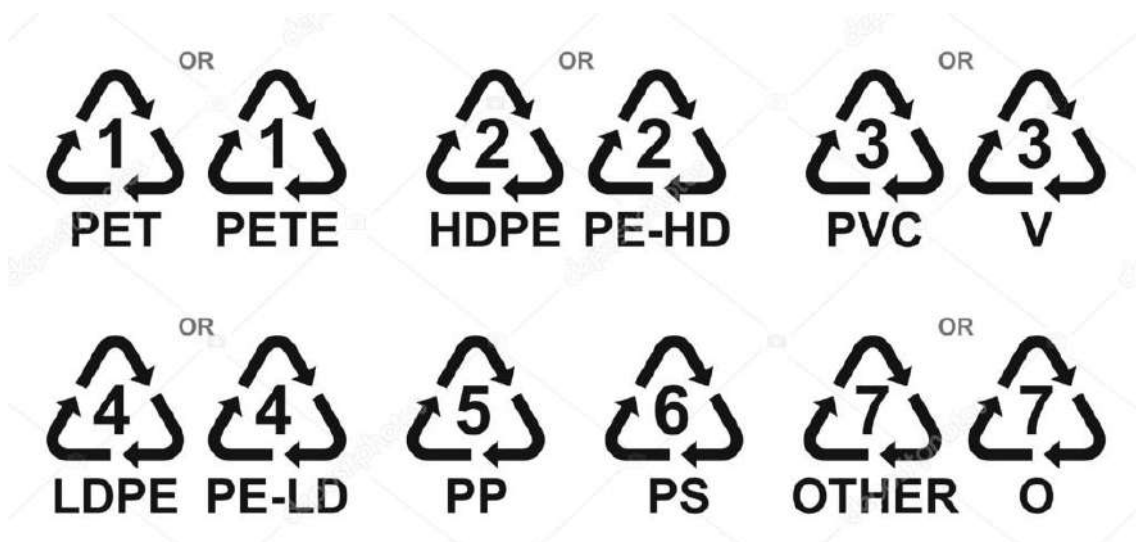


Ilustración 20: Sistema de codificación de los plásticos. Fuente: (Depositphotos, s.f.)

### 3.3. LAS REGLAS ESENCIALES DE CONCEPCIÓN LIGADAS A LA FLUIDEZ DEL POLIMERO FUNDIDO

Las reglas esenciales a tener en cuenta para crear una pieza final sin problemas debido al moldeo son principalmente:

- Equilibrar el llenado de la pieza.
- Evitar los efectos de “incertidumbre”.
- Dominar la formación de líneas de soldadura.
- Eliminar las obstrucciones de aire.
- Dominar la dirección del fluido.
- Buscar tener un enfriamiento homogéneo.

Los principales problemas que se pueden encontrar si no se tienen en cuenta estas reglas de concepción pueden ser:

- Huecos.
- Errores.
- Líneas de soldadura.
- Obstrucciones de aire.
- Retracciones.
- Torcimientos.
- Deformaciones.

#### 3.3.1. FLUJO

Estas líneas dependes de la geometría de las piezas, pero también de la posición del punto de inyección. Se producen cuando se encuentran dos partes del flujo que han ido por diferentes caminos dentro del molde.

Esta línea de soldadura es generalmente una zona de baja debilidad mecánica y un problema estético.

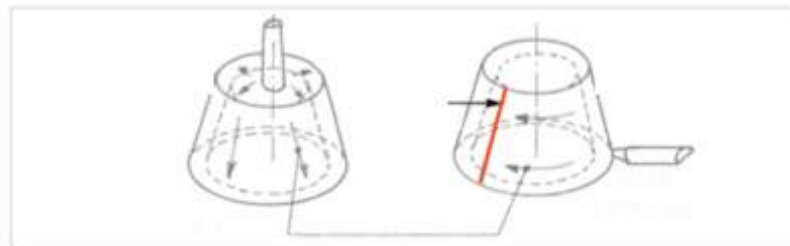


Ilustración 21: Llenado del molde y líneas de soldadura. Fuente: ECL

En la figura se puede ver como en la pieza de la izquierda el punto de inyección esta por la parte de arriba, lo que hace que el flujo se reparta por toda la pieza equilibradamente. En la figura de la derecha, el punto de inyección esta en un lateral, lo que crea una línea de soldadura.

Por otro lado, es necesario que haya un equilibrio en el llenado, es decir, que el flujo llegue a todas las zonas por igual y al mismo tiempo. Como se puede ver en la siguiente figura, por los puntos de inyección A, B y C, el flujo no llega a la vez y se pueden producir problemas de no homogeneidad.

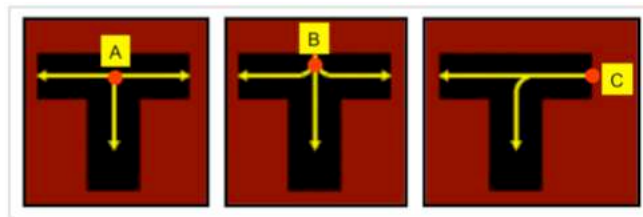


Ilustración 22: Llenado del molde no equilibrado. Fuente: ECL

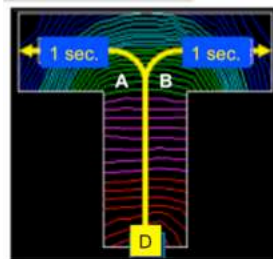


Ilustración 23: Llenado del molde equilibrado. Fuente: ECL

La solución a estos problemas es cambiar el punto de inyección y ponerlo en una zona con menos exposición a las líneas de soldadura. Es importante minimizar la importancia de la línea de soldadura por razones mecánicas y estéticas. Por eso las líneas de soldadura deben posicionarse fuera de zonas en las que se prioriza el aspecto estético o la tenacidad mecánica.

Existen dos tipos de líneas de soldadura:

- La línea de soldadura que se crea cuando los frentes de la materia se encuentran de cara.
- La línea de soldadura que se crea cuando los frentes de la materia siguen la misma dirección.



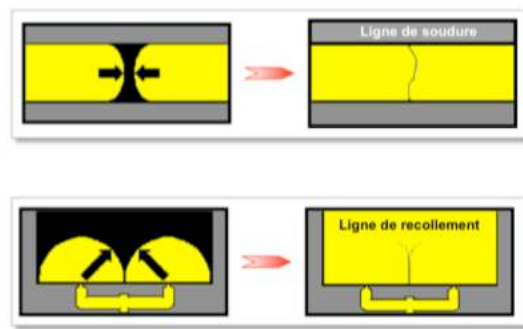


Ilustración 24: Tipos de línea de soldadura. Fuente: ECL

Otro problema que existe en relación con la circulación del flujo es el efecto de “incertidumbre”. Se produce cuando el fluido se frena en una zona fina hasta que la zona ancha sea rellena. Es importante comenzar con el llenado de la zona más ancha para terminar con más fina y evitar problemas como que la materia se solidifique en la zona fina antes de su llenado.



Ilustración 25: Efecto de “incertidumbre”. Fuente: ECL

### 3.3.2. MOLDE

Para evitar retorcimientos, es primordial que las caras del molde tengan temperaturas que no sean diferentes y que el enfriamiento sea uniforme por toda la pieza. Esto evitará que las retracciones deformen la pieza final.

Este efecto suele producirse principalmente en los codos, donde se acumula más volumen que en las zonas rectas.

Para evitar que se produzcan estos retorcimientos, se va a buscar optimizar los espesores en las paredes, evitando zonas masivas donde se acumule la materia, y priorizando con que los espesores de las piezas sean casi constantes.



Es necesario anticipar las deformaciones post-desmoldeo debidas a las contracciones elásticas de la post-cristalización y relajación. Para ello, se refuerza las zonas propicias a la deformación con nervios.

Para facilitar el desmoldeo, es importante el diseño de una pieza con un ángulo de desmoldeo de al menos  $0,5^\circ$  en todas las paredes. También se pueden utilizar aerosoles lubricantes que evitan que el polímero solido se quede pegado al molde y que sea más complicado sacarlo del molde. Igualmente, se crean curvaturas y ángulos en el molde para facilitar su desmoldeo.

Una síntesis de las principales reglas ligadas a la fluidez son que hay que optimizar el número de puntos de inyección que dependerán de la presión, temperatura y posición de las líneas de soldadura; y optimizar la posición de estos para buscar el relleno homogéneo y compacto, sin deformaciones y teniendo en cuenta donde se van a posicionar las líneas de soldadura. Por todo esto, es importante asegurar una fluidez unidireccional.

#### 4. CONCEPCIÓN

La máquina de inyección de plástico realizada se basa en la máquina de inyección de Precious Plastic. Al estar basada en esta máquina, lo que se busca es su mejora potencial, su mayor facilidad para el montaje, mejor funcionamiento...

Esta máquina posee un cilindro y un pistón colocados verticalmente. Alrededor del cilindro, está la camisa calefactora que se encargará de fundir el polímero. Para que el polímero fundido salga por el orificio de salida, se utilizará una presión que provendrá de la palanca que se moverá manualmente.



*Ilustración 26: Máquina de inyección de Precious Plastic. Fuente: (Hakkens, s.f.)*



#### 4.1. ELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS FUNCIONALES DE LA MÁQUINA

El mayor objetivo de la concepción es encontrar una solución técnica para todos los elementos de la máquina. Aunque el ejemplo principal es la máquina de Precious Plastic, todas las posibilidades han sido estudiadas para cada parte de la máquina.

Todas las partes necesitan la elección de una solución técnica, entre otras cosas. A continuación, las diferentes partes han sido identificadas y el siguiente método ha sido el utilizado para determinar la solución técnica que mejor respondiese a las funcionalidades y requisitos del proyecto expuestos anteriormente.

Método:

- Hacer un brainstorming sobre las diferentes soluciones posibles, sin tener en cuenta las ataduras.
- Imaginar y encontrar las diferentes ventajas e inconvenientes de cada solución potencialmente imaginada.
- Elegir, teniendo en cuenta las ataduras y los inconvenientes de cada solución. Es decir, escogiendo la solución mejor adaptada al problema.

Las diferentes partes de la máquina estudiadas con este método son las siguientes:

- El sistema que permite mover el polímero dentro del pistón.
- El sistema utilizado para calentar el pistón y hacer calentar el polímero.
- La conexión entre la máquina de inyección y el molde.

##### 4.1.1. OPERACIÓN DE INYECCIÓN

Lo primero que hay que hacer para comenzar a dimensionar la máquina es saber que fuerza y esfuerzos se van a aplicar durante la operación de inyección. Este dimensionamiento va a guiar la elección de los elementos funcionales y la manera de realizar la inyección.

El elemento determinante para el cálculo de la fuerza necesaria es el cociente entre la longitud de la pieza que se quiere realizar y su espesor.

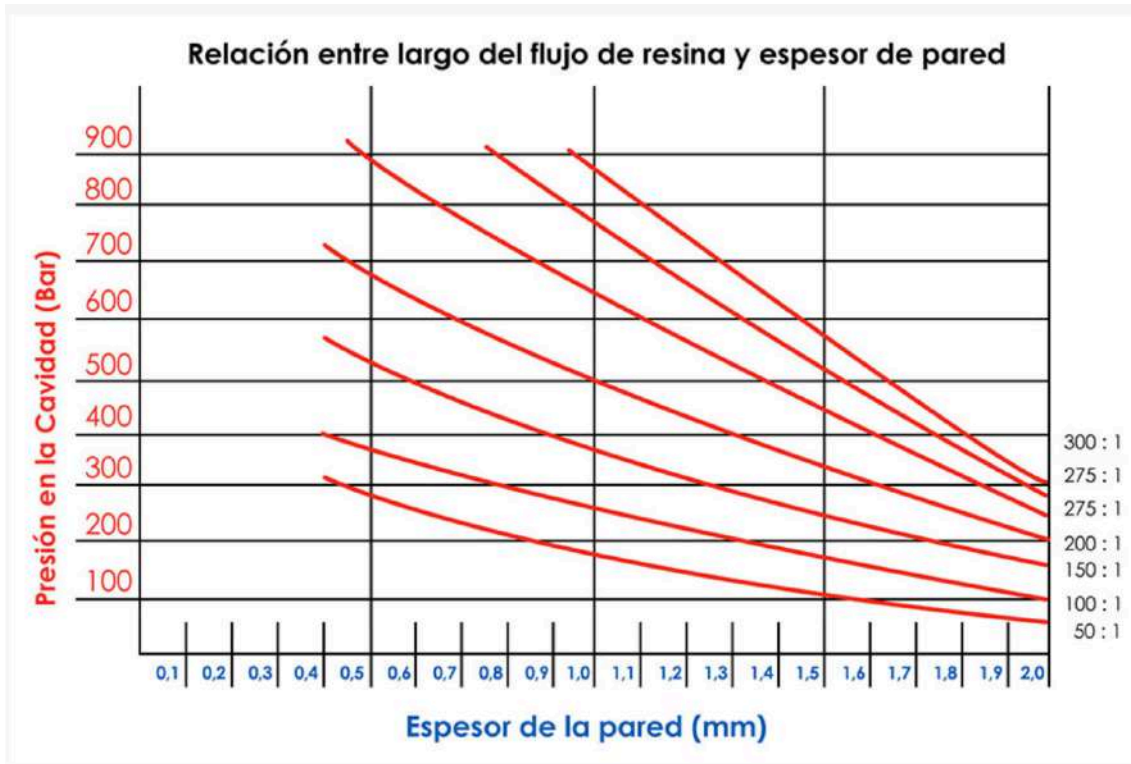


Ilustración 27: Relación entre largo del flujo de resina y espesor de pared. Fuente: (Tecnova, s.f.)

RESINA	FACTOR POR VISCOSIDAD
GPPS (PS)	1
PP	1 - 1.2
PE	1 - 1.3
PA6 ó PA66, POM	1.2 - 1.4
Celulósicos	1.3 - 1.5
ABS, ASA, SAN	1.3 - 1.5
PMMA	1.5 - 1.7
PC, PES, PSU	1.7 - 2.0
PVC	2

Tabla 3: Factor por viscosidad. Fuente: (Tecnova, s.f.)



Como se pretende crear una pieza sencilla, se escogerá la relación más sencilla 50:1. Los polímeros que son más producidos y reciclados tienen un factor de viscosidad de entre 1 y 1,3 (a excepción del PVC que tiene 2). Por lo tanto, para calcular la presión en el molde, basta con multiplicar la relación entre el largo del flujo de resina y espesor de pared por el factor de viscosidad. Finalmente, se obtiene una presión estimada de 100 bares. Después de un rápido cálculo, las pérdidas de carga entre la cabeza del pistón y el interior del molde se han considerado despreciables.

Los 100 bares de presión corresponden en la inyección a una fuerza propiamente dicha. Es función de la longitud y del diámetro del pistón que dependerán de la fuerza aplicada y de su duración. A continuación, hace falta elegir un medio para transmitir la presión encontrando una relación entre fuerza y duración prolongada.

Después de haber estudiado los diferentes sistemas que permiten mover el polímero dentro del pistón, se ha optado por un sistema que servirá para transmitir la fuerza de inyección similar al de la máquina de Precious Plastic. Una vez que el sistema de palanca ha sido fijado, las dimensiones geométricas que deben permitir transmitir la fuerza y la presión necesaria han sido calculadas a partir de la capacidad física y ergonomía humana. Es por ello, que la dimensión del esqueleto de la máquina ha sido determinado teniendo en cuenta el recorrido máximo de la palanca (altura máxima y mínima) y la altura máxima y mínima asequible para que lo pueda usar una persona de estatura media, con una masa muscular media.

Durante todos los cálculos, el movimiento horizontal del punto del pivote de la palanca (necesario para el funcionamiento geométrico de la máquina) ha sido despreciado.

Para este esquema, solo hay una cosa que es fija: la fuerza que hay que cumplir. Esta fuerza tiene que provenir del cuerpo humano. La altura máxima de la palanca ha sido impuesta a 1,8m y la altura mínima a 1m. También, hay que pensar ha realizar el cilindro y el pistón con piezas que sean fácilmente de encontrar. Finalmente, es necesario asegurarse de que la fuerza a aplicar manualmente sobre la palanca sea realizable humanamente. El siguiente documento, que cuantifica la máxima fuerza humana, ha servido de base para cuantificar estas limitaciones.

POSICIÓN	FUERZA LIMITE (N)
Tracción hacia abajo por encima de la cabeza	540
Tracción hacia abajo a nivel de los hombros	315
Tracción hacia arriba 25cm por encima del suelo	315
Tracción hacia arriba a la altura de los codos	148
Tracción hacia arriba a la altura de los hombros	75
Empujar hacia abajo a la altura de los codos	287
Empujar hacia arriba a la altura de los hombros	202

Tabla 4: Limitaciones máximas de fuerza a aplicar. Fuente: Elaboración propia (Strength Data, s.f.)

Por otro lado, con las diferentes ecuaciones geométricas y para la fuerza esperada, se llega a la conclusión de que el diámetro del cilindro no tiene una influencia importante sobre la fuerza a aplicar en la palanca. Solo tendrá una influencia en el recorrido que la palanca tendrá que hacer.

Sin embargo, la longitud de la palanca es un factor importante a tener en cuenta, porque es la parte donde se aplica la fuerza manual y el recorrido vertical de la palanca. El factor determinante de aquí es el cociente entre  $\frac{a}{a+b}$ .

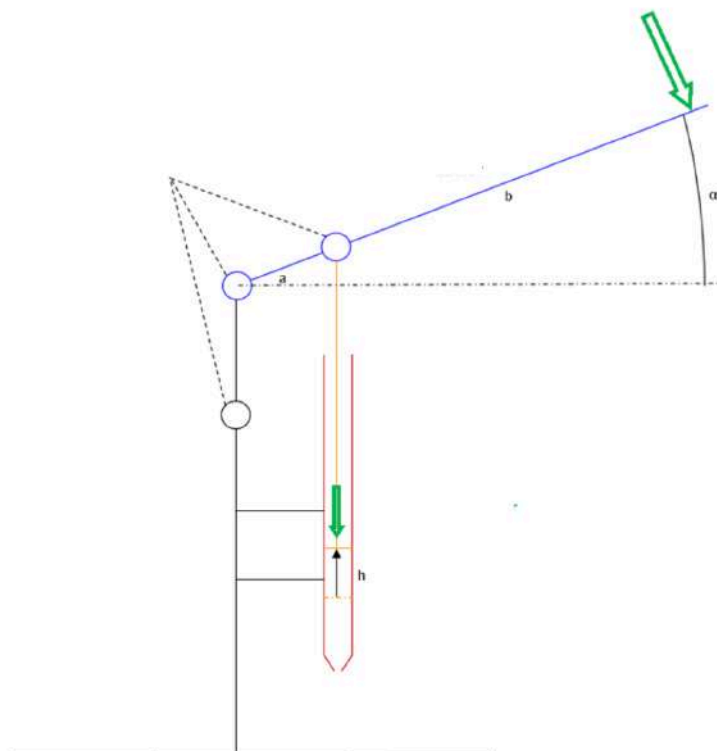


Ilustración 28: Esquema de la máquina de inyección. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, las características más importantes de la máquina son las siguientes:

ELEMENTO	CARACTERÍSTICA
Diámetro exterior del cilindro	20 cm
Recorrido de la palanca	1 m
Recorrido del pistón	13 cm
Fuerza del pistón	3142 N
Fuerza humana mínima	410 N
Longitud de la palanca	1,3 m

Tabla 5: Características más importantes del esqueleto de la máquina. Fuente: Elaboración propia

A este esquema, se ha añadido una nueva funcionalidad que permitirá un mejor ajuste entre el molde y el orificio de salida del cilindro.

Finalmente, la elección final ha sido simplemente colocar el molde en la base de la máquina, y hacer que el cilindro con la camisa calefactora se mueva (añadiendo uniones entre él y la base). Así, el molde permanecerá pegado al orificio de salida por la fuerza de inyección, y la fuerza que puede inclinar la máquina será absorbida por las nuevas uniones.

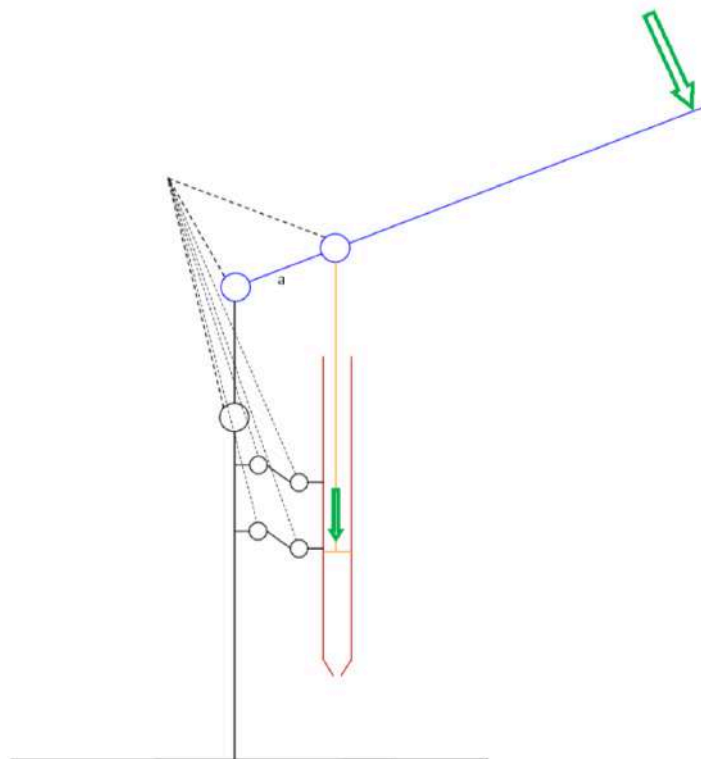


Ilustración 29: Esquema de la máquina de inyección, segunda versión. Fuente: Elaboración propia



Diferentes formas han sido estudiadas para crear la base y cada una se analizaba si era incomoda para el usuario. En resumen, la base que se ha creado tiene una forma de triangulo isósceles, que facilita el equilibrio de la máquina.

Se han realizado búsquedas con el fin de encontrar un material para crear la máquina. El objetivo que se busca para la fabricación de la máquina es el de realizar el menor número de operaciones ya que uno de los propósitos de la máquina es una fabricación sencilla para todo el mundo. Para ello, las piezas seleccionadas durante la concepción son piezas fácilmente de encontrar en el comercio. Así, si una pieza se deteriora, podrá ser fácilmente cambiabile, y no se tendrá que cambiar todo el conjunto del esqueleto.

#### 4.1.2. CALENTAMIENTO DEL POLIMERO

Para el sistema de calentamiento, se han barajado diferentes posibilidades y se ha estudiado cada una de ellas para saber cual es la que más se ajusta al conjunto de requisitos y exigencias:

- Inducción:
  - Ventajas: eficaz y ecológica.
  - Inconvenientes: cara y compleja.
- Resistencias eléctricas:
  - Ventajas: ecológica, fácil de instalar y fácil de regular
  - Inconvenientes: necesidad de un cierto tiempo para llegar a la temperatura deseada.
- Gas:
  - Ventajas: eficaz, sin necesidad de un precalentamiento.
  - Inconvenientes: no es ecológica, posibles problemas con los gases de salida, necesidad de deposito de gas.

Teniendo en cuenta las ventajas y los inconvenientes de todas las posibilidades, se ha optado por un sistema eléctrico de calentamiento con resistencias eléctricas. Las bandas calefactoras serán del siguiente tipo:



Ilustración 30: Banda calefactora. Fuente: (RS Components Ltd., s.f.)

Para regular la temperatura en el cilindro, es necesario que haya un captor de temperatura en él. Es por ello que, en el cilindro, junto a las bandas calefactoras, se instalará un termopar.

Tanto las bandas calefactoras, como el termopar deberán estar conectados a un controlador PID que controlará la temperatura en cada momento. Para que el circuito eléctrico funcione, también se instalará un relé de estado sólido que conmutará la corriente.



Ilustración 31: Termopar. Fuente: (RS Components Ltd., s.f.)



Ilustración 32: Reguladores de temperatura. Fuente: (TC Direct, s.f.)



Ilustración 33: Relé de estado sólido. Fuente: (RS Components Ltd., s.f.)

#### 4.1.3. CONEXIÓN ENTRE LA MÁQUINA Y EL MOLDE

Otro punto importante en la concepción de la máquina es la conexión entre la máquina y el molde. La solución técnica adoptada debe respetar siempre que el punto de salida del cilindro esté en contacto con el punto de entrada en el molde para asegurar que todo el polímero fundido pueda entrar bien en el molde y que no haya falta de plástico en el molde.

Para ello, se ha diseñado una pieza que permite pasar de un diámetro de 22 cm a un diámetro más pequeño que permite una buena conexión con el orificio de entrada del molde.

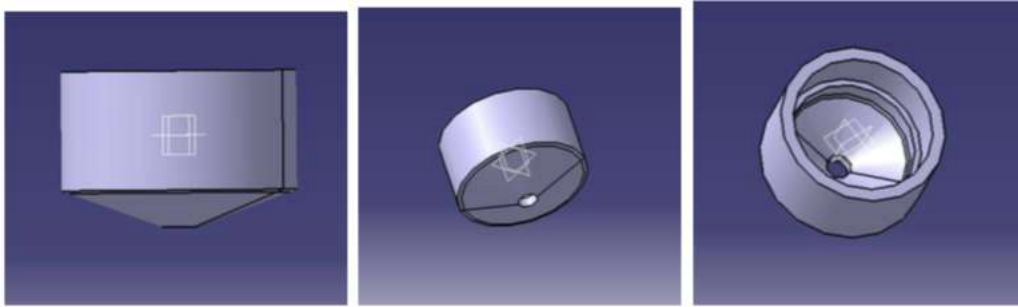


Ilustración 34: Modelo de la pieza que conecta el cilindro con el molde. Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. ELECCIÓN DEL OBJETO A REALIZAR Y DEL MOLDE

En el sitio web de Precious Plastic hay un espacio donde los usuarios pueden presentar sus proyectos y logros. La consulta de estos distintos foros permitió elegir el objeto realizado por la máquina. El objeto seleccionado es un llavero. Se trata de una pequeña caja, con cierre con tapón, que se puede colgar la anilla de unas llaves y que puede transportar todo tipo de objetos pequeños. Este objeto ya ha sido realizado por una asociación española "Taller Esférica" con una máquina de inyección.

Sin embargo, también ha habido otros objetos de la propia pagina web que han servido como inspiración y muestran como hay infinitud de objetos sencillos que se pueden realizar. Un ejemplo de esto puede ser otro llavero con forma de tabla de surf o un llavero con forma de aleta de tiburón. Estos objetos y sus moldes han ayudado a la concepción y realización del molde.



Ilustración 35: Llavero con forma de tabla de surf. Fuente: (Taller Esférica, s.f.)

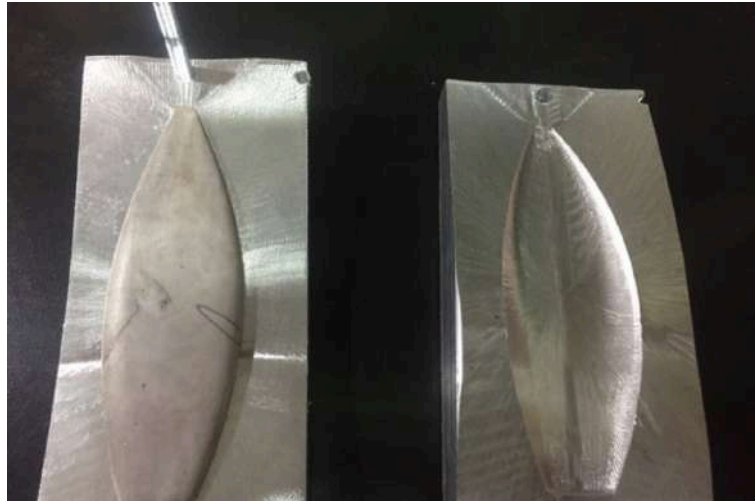


Ilustración 36: Molde del llavero con forma de tabla de surf. Fuente: (Taller Esférica, s.f.)



Ilustración 37: Llavero con forma de aleta de tiburón. Fuente: (Taller Esférica, s.f.)

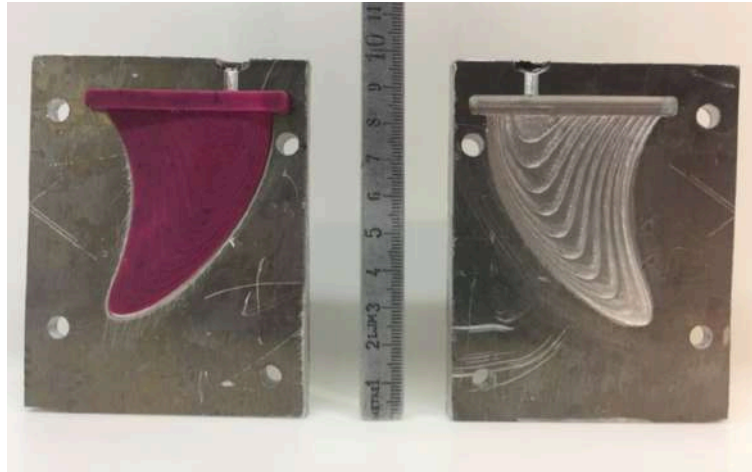


Ilustración 38: Molde del llavero con forma de aleta de tiburón. Fuente: (Taller Esférica, s.f.)

Esta elección está en acuerdo con los requisitos y funcionalidades que se buscaban para este objeto:

- Es útil y universal.
- Duradero y reciclable.
- Es pequeño, y es fácil de crear varias piezas en poco tiempo.
- No tiene por qué respetar ninguna norma que podría haber asociada a ciertos objetos alimenticios.
- Está constituido de formas simples y, por lo tanto, fácilmente a realizar con la ayuda de un molde.

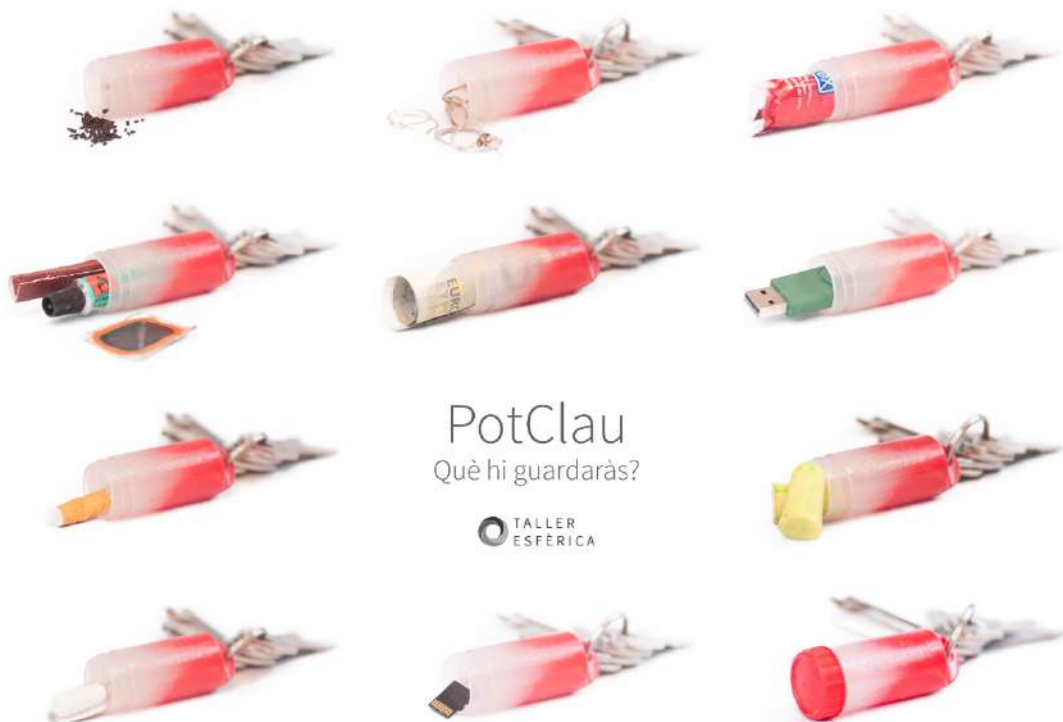


Ilustración 39: Modelo del objeto a realizar. Fuente: (Taller Esférica, s.f.)

Este objeto es un claro ejemplo de como se puede dar una segunda vida al plástico. Por un lado, el cuerpo del llavero se realiza con plástico reciclado. Por otro lado, el tapón del llavero será un tapón de una botella o de un tetrabrik que se reutilizará.

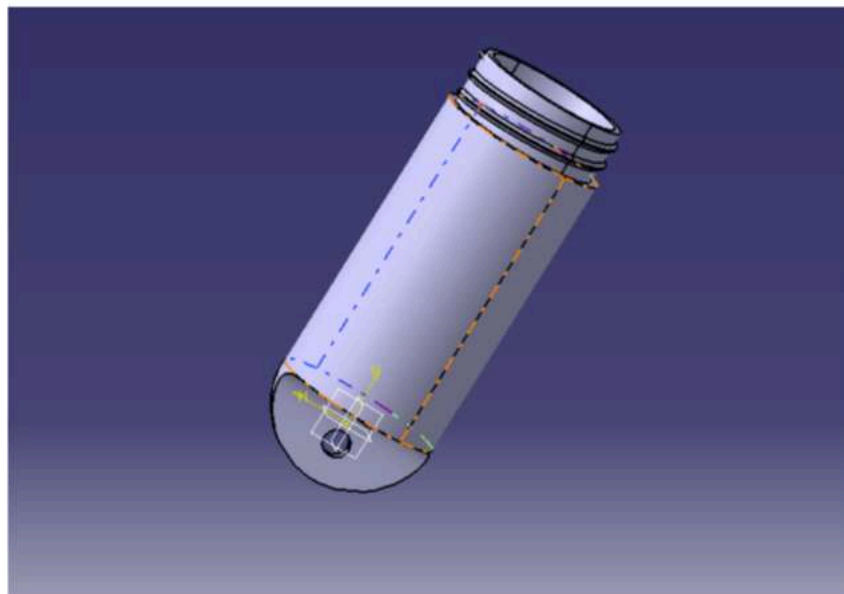


Ilustración 40: Modelo del objeto a realizar. Fuente: Elaboración propia



Para crear un molde para este objeto existen varios aspectos a tener en cuenta:

- Aspectos relativos a la técnica de moldeo y a la circulación del fluido:
  - Posible creación de un plano de junta (plano de separación de dos posibles partes del molde). Al igual que en los moldes de los llaveros de la tabla de surf y en el de la aleta de tiburón, el molde se realiza con dos piezas que se unen. Este plano es perpendicular al punto de inyección.
  - Dimensionamiento de los ángulos del molde que permitan un desmoldeo sencillo y eficaz.
  - Evitar posibles ángulos que desfavorezcan el desmoldeo.
  - Guardar un espesor constante para evitar un enfriamiento no homogéneo.
  
- Aspectos relativos a la realización del molde:
  - Es necesario que todas las piezas en juego sean aptas a ser realizadas con máquinas convencionales.
  - La pieza a realizar tiene una geometría de revolución con formas simples, lo que facilitará su realización.
  - Desde un punto de vista industrial, es importante limitar al máximo la complejidad de la realización de un producto, ya que esta directamente ligado al tiempo y al precio de realización del producto final.
  
- Aspectos relativos a la utilización del molde:
  - Es importante que haya el mínimo de piezas posibles.
  - Se buscará que el número de piezas móviles (piezas que se desmontan durante la utilización como por ejemplo para el desmoldeo) sea el mínimo.

Teniendo en cuenta todos los aspectos anteriormente mencionados, el molde será realizado con 4 piezas.

La primera pieza, será el cuerpo del molde. Servirá como estructura sobre la cual se van a encajar las otras piezas. Podrá ser fabricada gracias a un torno convencional.



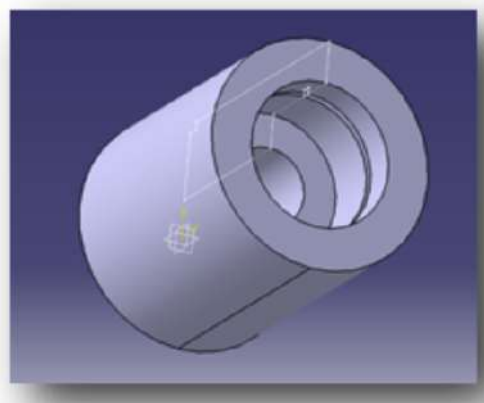


Ilustración 41: Primera pieza del molde. Fuente: Elaboración propia

La segunda pieza será aquella que permita obtener el fileteado del llavero, donde se podrá encajar el tapón reutilizado. Puede parecer una pieza sencilla a realizar, pero existe una complejidad relativa en la parte del fileteado.

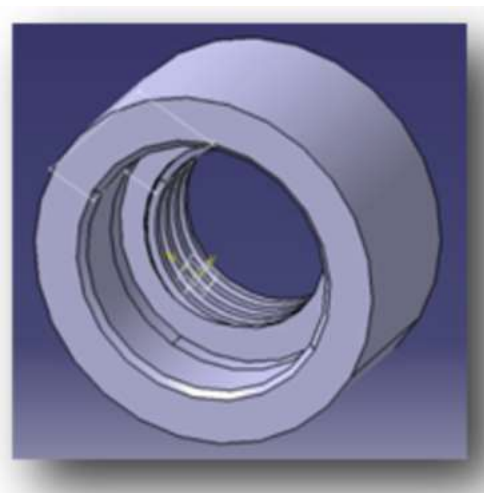


Ilustración 42: Segunda pieza del molde. Fuente: Elaboración propia

La tercera pieza será la pieza encargada de crear el centro del llavero. Puede parecer simple porque tiene una geometría de revolución, pero la presencia de un fileteado, un ángulo de desmoldeo de  $1^\circ$  (parte inferior ligeramente cónica) y la presencia de una forma hexagonal en su parte superior para poder quitar esta parte del molde en su desmoldeo hace que sea la pieza más compleja.

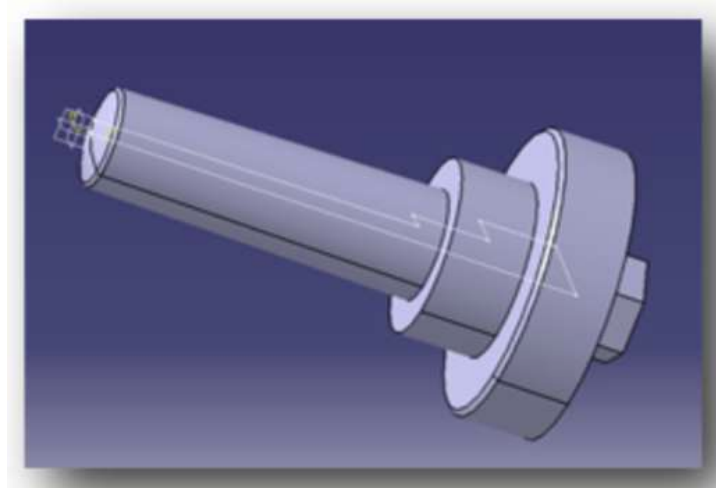


Ilustración 43: Tercera pieza del molde. Fuente: Elaboración propia

La cuarta parte se colocará debajo de la primera parte por medio de un refuerzo y se fijará allí posteriormente por medio de tornillos. Permitirá realizar la parte de la anilla del llavero de plástico, y sus formas más complejas nos obligan a separarla del cuerpo principal del molde (para facilitar su realización). En esta pieza estará situado el punto de unión con la maquina de inyección de plástico. Esta parte tendrá forma cónica y se unirá por contacto directo con la salida del cilindro de la maquina de inyección de plástico.

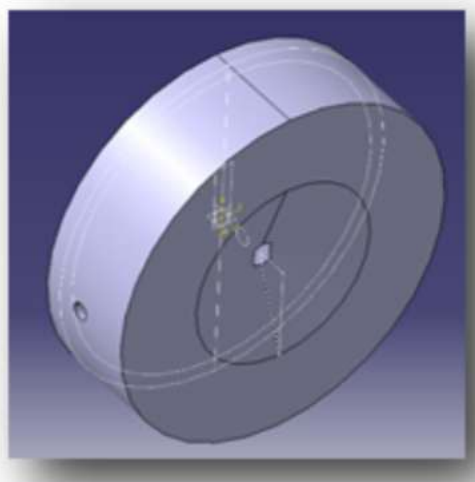


Ilustración 44: Cuarta pieza del molde. Fuente: Elaboración propia

Antes de llegar a la geometría actual del molde, se consideraron otras soluciones. Por ejemplo, se consideró un molde de dos partes que se separaría en un plano vertical para extraer la pieza final como en el ejemplo de los moldes de l llavero con forma de tabla de surf y el de la aleta de tiburón. Sin embargo, por razones de viabilidad y de extracción de piezas, esta no era una opción. También, al evitar esta solución se eliminaba la posible creación de un plano de junta que ayuda a mejorar el aspecto estético de la pieza final.

#### 4.3. DISEÑO DE LA MAQUINA DE INYECCION DESPUES DE LA FASE DE CONCEPCIÓN

Una vez que todas las soluciones precedentes han sido determinadas, ha sido posible crear la lista de materiales necesarios para crear la maquina de inyección y el modelo 3D de la máquina.



*Ilustración 45: Modelo 3D de la máquina a realizar. Fuente: Elaboración propia*



## 5. ELABORACIÓN DE LA MAQUINA

Se pueden distinguir varias partes en el montaje de la máquina:

- Esqueleto de la máquina.
- Parte eléctrica.

### 5.1. ESQUELETO DE LA MAQUINA

El esqueleto de la máquina ha sido armado en tan solo unas pocas horas debido a que se debió a perfiles de aluminio como el de la figura. Gracias a estos perfiles de aluminio es muy sencillo crear estructuras complejas sin necesidad de recurrir a métodos de soldadura o a otros métodos para unir diferentes piezas.



*Ilustración 46: Perfil de aluminio. Fuente: (Elcom, s.f.)*

Para el cilindro y el pistón, se han utilizado dos tubos de 22 mm y 16 mm de diámetro respectivamente. Se ha creado un tapón para tapar el pistón y a su vez, una pieza que ayuda a la disminución del diámetro al final del cilindro y que permite una buena conexión entre la máquina y el molde.

En cuanto a su construcción, se recuperó la parte de la base que soporta directamente el esqueleto, mientras que el resto está formado por perfiles de acero adquiridos como el de la imagen precedente. Para realizar la base, fue necesario hacer cortes en los perfiles para hacer el ángulo de 20°, asegurando al mismo tiempo la sujeción del pilar por ambos lados soldando unos soportes.

Una vez montada esta base, el resto de la máquina se une al conjunto mediante un tornillo que pasa a través del pilar del esqueleto y la base. En lo que se refiere al esqueleto de la máquina, los perfiles se unen entre sí fácilmente gracias a los accesorios de los propios perfiles.

El cilindro y el tubo han sido soldados con sus respectivas piezas de latón (la boquilla de salida que reduce el diámetro o la especie de tapón) para formar un pistón funcional. El diámetro que se eligió al principio para el tapón dio algunos problemas con el deslizamiento dentro del tubo por lo que tuvo que ser cambiado para obtener una holgura aceptable en el pistón.

El tubo de cobre se fija al esqueleto mediante perfiles de aluminio perforados y ranurados, lo que simula un sistema de sujeción; esto permitiría cambiar fácilmente el pistón y el cilindro en caso de deformación o rotura.

Se ha proporcionado una protección en el tubo mediante fibra de vidrio, que ha sido cortada para cubrir todas las partes calientes que estuvieran al aire.

## 5.2. PARTE ELECTRICA

La parte eléctrica ha sido montada con mayor cuidado y siguiendo los esquemas y las advertencias del fabricante.

A los puertos del controlador PID iban conectados la conexión de red, el relé de estado sólido y el termopar. Las bandas calefactoras iban conectadas al relé.

Tanto las bandas calefactoras como el termopar se acoplaban al cilindro por el exterior para que calentase el polímero.

Con el fin de dar un aspecto más estético a la máquina y con el fin práctico de situar todos los componentes eléctricos juntos, se creó una caja de madera con la cortadora láser.

Finalmente, todo el sistema electrónico ha sido contenido en la caja de madera fabricada en FabLab, de la cual sale el cable de alimentación, las bandas calefactoras, el termopar y el display del controlador de temperatura PID. Esta caja tiene su parte superior atornillada para facilitar un posible cambio de material. El controlador PID ha sido configurado para adaptarse a la forma en que se utiliza.



Ilustración 47: Caja para almacenar los componentes eléctricos. Fuente: Elaboración propia

Después de toda la elaboración de la máquina, una pequeña muestra puede ser la siguiente:



Ilustración 48: Máquina realizada. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 49: Máquina realizada. Fuente: Elaboración propia



*Ilustración 50: Máquina realizada. Fuente: Elaboración propia*

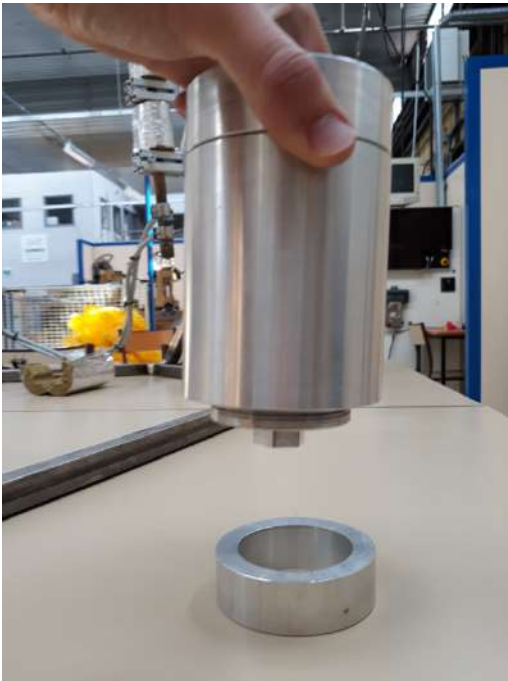
Como se puede apreciar en las imágenes, se ha añadido un protector alrededor del cilindro y de la camisa calefactora para evitar quemaduras de los usuarios de la máquina y para aumentar el rendimiento de la máquina evitando pérdidas de calor con el ambiente.

Una muestra final del molde es la siguiente:





*Ilustración 51: Molde realizado. Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 52: Molde realizado. Fuente: Elaboración propia*





## 6. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Una vez que la máquina ha sido terminada y se ha comprobado que todos los componentes funcionan correctamente, se ha podido comenzar la fase experimental de la máquina. Esta fase consistirá en ajustar los parámetros para diferentes tipos de polímeros.

Los polímeros que se han utilizado han sido el PS y el PP. Sus características más importantes a tener en cuenta para el proceso de la inyección son las siguientes:

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	PP	PS
Estructura	-	semicristalina	amorfa
Densidad a 23°C	g/cm <sup>3</sup>	0,93	1,06
Densidad en caliente	g/cm <sup>3</sup>	0,761	0,93
Temperatura máxima de utilización en continuo	°C	100	60
Temperatura mínima de utilización en continuo	°C	-60	-40
Temperatura máxima de utilización temporal	°C	140	95
Temperatura de transición vítrea	°C	-10	95
Punto de fusión	°C	165	-
Punto Vicat (o deformación bajo carga)	°C	90	90
Coefficiente de dilatación térmica	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	140	70
Conductividad térmica	W.K <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup>	0,22	0,1
Capacidad calorífica específica	J.Kg.K	1800	1200
Contracción	%	1-2,8	0,5-0,6
Temperatura de moldeo	°C	210-300	160-280
Temperatura del molde	°C	20-90	10-60

Tabla 6: Características del PP y PS. Fuente: ECL

El volumen de la pieza final es de 17 cm<sup>3</sup>. Por lo tanto, el polímero a inyectar en caliente debe ser de 20 cm<sup>3</sup> tanto del PP como del PS para asegurar el llenado.

Para los dos polímeros, una temperatura inyección puede ser 230°C, ya que cumple con la temperatura de moldeo. Por otro lado, esta temperatura de inyección se podría aumentar, pero cuanto mayor sea la temperatura de inyección, menos presión habrá que hacer y mayor será el tiempo de mantenimiento y de enfriamiento.

Para comenzar el proceso de fabricación de una nueva pieza, se debe ajustar la temperatura del controlador PID a 230°C y se debe esperar a que las bandas calefactoras alcancen esta temperatura, ya con el polímero a inyectar dentro del cilindro.

Una vez alcanzada la temperatura deseada, se hará fuerza con la palanca descendiendo hasta que el pistón baje del todo (este proceso deberá hacerse en el menor tiempo posible) y se mantendrá presionando cierto tiempo.

Aquí la fuerza que se aplica no puede ser medida. Cada persona aplicará una presión diferente dependiendo de su fuerza muscular y su altura. Por lo tanto, se considerará que la presión no se puede ajustar y que siempre estará en torno a los 100 bares.

En cambio, el tiempo de mantenimiento si que podremos ajustarlo. Para calcular cuanto el tiempo de mantenimiento se hace un ensayo basado en un tiempo inicial y después se irá ajustando este tiempo. Se comenzará fijando un tiempo de mantenimiento de 20 segundos, que será ya suficientemente para este molde y esta máquina de inyección. A continuación, se irá disminuyendo gradualmente para encontrar el tiempo óptimo de mantenimiento. Este tiempo será el punto de inflexión en la curva que representa la masa de la pieza en función del tiempo de mantenimiento.

Para cada polímero a inyectar, el tiempo de mantenimiento es diferente. Se comenzará analizando el tiempo de mantenimiento para el PP:

TIEMPO DE MANTENIMIENTO	MASA
1	15,82
4	15,84
8	15,85
12	15,87
16	15,89
20	15,89

Tabla 7: Tiempo de mantenimiento y masa de la pieza final para el PP. Fuente: Elaboración propia

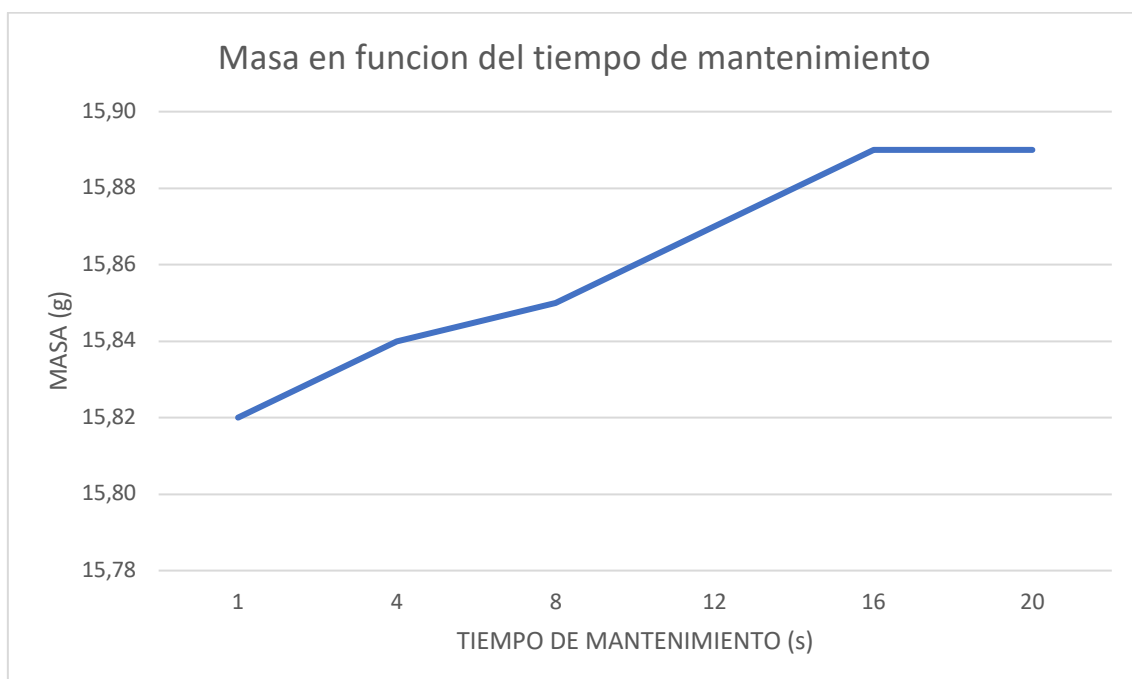


Ilustración 53: Masa en función de tiempo de mantenimiento para el PP. Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que hay un punto de inflexión a los 16 segundos. Por lo tanto, se fijará este tiempo como tiempo de mantenimiento.

El mismo análisis para el PS será:

TIEMPO DE MANTENIMIENTO	MASA
1	18,08
4	18,10
8	18,13
12	18,16
16	18,17
20	18,17

Tabla 8: Tiempo de mantenimiento y masa de la pieza final para el PS. Fuente: Elaboración propia

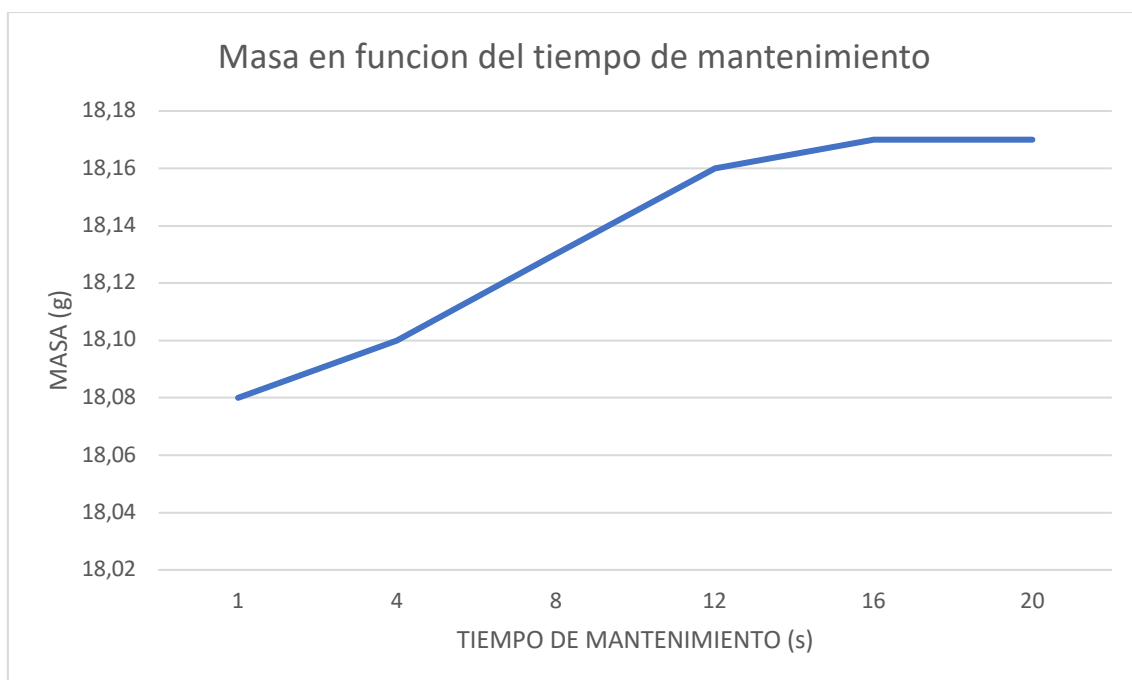


Ilustración 54: Masa en función de tiempo de mantenimiento para el PS. Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que hay un punto de inflexión a los 12 segundos. Por lo tanto, se fijará este tiempo como tiempo de mantenimiento.

Puesto que no hay una diferencia significativa en el tiempo de mantenimiento de los dos tipos de polímero, se pueden crear unas instrucciones de funcionamiento generales para los dos tipos de plástico. Las instrucciones pueden ser las siguientes:



#### Puesta en marcha:

- Antes de pasar a la realización de la pieza, es importante hacer una verificación que todos los componentes de la máquina funcionan correctamente.
- Comprobar que todas las articulaciones se mueven correctamente y con facilidad.
- Se debe examinar que el pistón se mueve correctamente dentro del tubo de la máquina. Este movimiento se debe hacer sin dificultades y se debe poder llegar hasta el fondo del cilindro.
- El molde debe estar sobre la base de la máquina y no sobre el suelo.
- Para facilitar la extracción de la pieza, se aplicará un aerosol lubricante en el interior del molde.
- El molde se colocará en contacto directo con el punto de salida de la parte inyectora. Es importante que la salida de la parte inyectora este totalmente alineada con la entrada del molde.
- La máquina debe de ser colocada en una zona horizontal. Debe de estar estable.

#### Realización de la inyección:

- Se debe de encender la máquina.
- La máquina debe de ser precalentada hasta 230°C. Para ello, se debe indicar en el controlador PID la temperatura a la que se desea llegar. En el propio controlador, aparece también la temperatura en cada momento de las resistencias térmicas.
- Durante el tiempo que se calienta la máquina se debe de preparar la cantidad de polímero que se va a inyectar.
  - Para el PP se insertarán: 18 g.
  - Para el PS se insertarán: 20 g.
- Cuando la máquina esté caliente (entorno a los 200°C), se debe introducir el plástico.
- Cuando la temperatura llegue a los 230°C y se estabilice, comenzara el proceso de la inyección.
- Para ello, se bajará el tubo del pistón de forma constante para que la presión sea homogénea. En un cierto momento, habrá una fuerte resistencia; es importante mostrar oposición y continuar con el movimiento continuo de descenso para asegurar la presión.
- El descenso de la palanca se hará hasta que el pistón toque el fondo del cilindro.
- Cuando esto suceda, será el punto de conmutación. En este punto es cuando se debe de mantener la fuerza en la palanca para producir el mantenimiento y evitar fugas.

- El tiempo de mantenimiento debe de ser de:
  - 16 segundos para el PP.
  - 12 segundos para el PS.
- Se puede utilizar un tiempo de mantenimiento común para los dos polímeros de 16 segundos si se quiere.
- Después de pasar el tiempo de mantenimiento se puede dejar de hacer fuerza sobre la palanca. La Inyección ya se ha realizado y el punto de entrada en el molde se ha solidificado, por lo que no habrá fugas de polímero fundido.

#### Desmoldeo:

- Para hacer el desmoldeo, se debe dejar un cierto tiempo de enfriamiento.
- Para asegurar que el enfriamiento se haya producido por completo. Se esperará 90 segundos.
- Una vez transcurrido este tiempo, se puede abrir el molde.
- Para abrir el molde, es necesario una llave inglesa, un destornillador plano y un martillo.
- Con la llave inglesa se desenroscará la parte con forma hexagonal y se quitará.



*Ilustración 55: Como desmoldar la pieza final. Fuente: Elaboración propia*

- Con el resto del molde colocado verticalmente como en la inyección, se golpeará con cuidado el polímero que esta en el punto de inyección con ayuda del destornillador plano y el martillo.



*Ilustración 56: Como desmoldar la pieza final. Fuente: Elaboración propia*

- El objeto final saldrá fácilmente.



*Ilustración 57: Objeto final realizado con la máquina de inyección de plástico y con una impresora 3D. Fuente: Elaboración propia*



## 7. CONCLUSIONES

En este apartado se va a realizar una recopilación de la información más relevante estudiada a lo largo del presente trabajo. Debido a ello, conviene comenzar indicando que el trabajo consiste en la elaboración y presentación de una máquina de reciclaje de plástico. Para ello, se ha hecho un estudio previo del arte de la inyección de plástico, un modelado, un diseño y finalmente una fabricación.

### 7.1. DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto tenía como objetivo la creación de una máquina de reciclaje de plástico para sensibilizar a todo el mundo de que es fácil y asequible que todos podamos reciclar. Ya, no solo una persona puede ayudar a recolectar y a separar los residuos, sino que puede ver como el plástico que ha utilizado, lo va a dar una nueva vida y lo va a reutilizar con una forma nueva.

Los requisitos y funcionalidades de la máquina eran los siguientes:

TIPO DE FUNCIÓN	SIGLA	FUNCIÓN	CRITERIO
FUNCIÓN PRINCIPAL	FP1	Reciclaje del plástico más común recolectado	Temperatura de utilización
	FP2	Utilización simple	Mínimas operaciones
	FP3	Creación de un manual de empleo	Funcionamiento, riesgos...
	FP4	Funcionamiento en diferentes lugares	Interiores, exteriores...
	FP5	Seguridad en su utilización	Sin riesgos potenciales
	FP6	Calentamiento del plástico a una temperatura precisa	Indicador de temperatura
	FP7	Fabricación asequible y económica	Precio razonable
FUNCIÓN COMPLEMENTARIA	FC1	Transporte fácil de la máquina	Límite de volumen
	FC2	Mantenimiento simple	Limpieza sencilla
	FC3	Conocimiento de los plásticos que puede ser usados	Guía de acompañamiento
OBLIGACIONES	O1	Respeto con el medio ambiente	Eco-concepción

Tabla 9: Recordatorio de los requisitos y exigencias del proyecto. Fuente: Elaboración propia



Generalmente se han conseguidos los objetivos expuestos al principio de la concepción. Algunos en mayor o menos medida, pero se llega a unos mínimos de exigencia. Por ejemplo:

- La temperatura de utilización máxima de la máquina es de 300°C. Es una temperatura elevada y consigue llegar al punto de fusión de casi todos los plásticos más común reciclados.
- Las instrucciones de funcionamiento son bastante asequibles. Sin embargo, se hace hincapié en ellas y en seguirlas estrictamente para evitar el mal funcionamiento de la maquina y su posible deterioro.
- El manual de empleo podría estar mayormente detallado incluyendo imágenes más específicas de cada movimiento y de cada proceso en cada momento.
- La máquina puede ser utilizada tanto en interiores como en exteriores. No existen una concentración de gases tóxicos que haga que sea obligatoriamente su uso en exteriores. Existe el inconveniente de que la máquina debe de conectarse a la red eléctrica, por lo que es necesario que exista dicha fuente cerca, a una proximidad de 2,5 m.
- La máquina es relativamente seguro. Las zonas más calientes están protegidas para evitar quemaduras. No obstante, hay alguna zona peligrosa con riesgo de quemaduras como puede ser el orificio de salida de la parte inyectora; o alguna zona peligrosa como puede ser el esqueleto de la máquina con diferentes partes móviles.
- En todo momento se indica la temperatura de la máquina y la temperatura deseada. También se puede comprobar si la máquina esta encendida o apagada.
- La fabricación de la máquina es asequible. El precio de los materiales es más o menos económico; y el tiempo empleado para su construcción es de algunas horas.
- La mayor dificultad a la hora de la fabricación es encontrar los diferentes materiales y ver cual se acomoda más a las exigencias pedidas.
- El tamaño de la máquina no es tan pequeño como podría haber sido. Al tener que llegar a una presión de 100 bares, hace que el brazo de la palanca sea más largo, y a su vez, que la base aumente su tamaña para garantizar la estabilidad de la pieza.
- La limpieza del interior del tubo de inyección es bastante sencilla ya que basta con calentar el cilindro para que el polímero se funda y pueda ser expulsado al exterior.
- Se ha hecho un estudio de dos tipos de plásticos que pueden ser usados en la máquina.
- Toda la máquina ha sido construida buscando su respeto con el medio ambiente.

## 7.2. CONCLUSIONES GENERALES

Este trabajo ha ayudado a realmente profundizar en uno de los métodos más utilizados para la fabricación de piezas como es la inyección. El proceso de la inyección ayuda a crear cientos de miles de piezas que usamos cotidianamente que llegan desde el parachoques de un coche a una percha de ropa.



Ilustración 58: Molde para la fabricación de un parachoques de un coche. Fuente: (Mecaplastica, s.f.)



Ilustración 59: Molde de una percha de plástico. Fuente: (Evisos, s.f.)



Las conclusiones sobre el funcionamiento de la máquina son las siguientes:

- La máquina funciona. Realiza los movimientos sin problemas, la fuerza necesaria para su utilización es asequible para cualquier persona sana y la parte electrónica funciona.
- El molde es capaz de crear una pieza nueva.
- El conjunto de la máquina y molde es capaz de crear una pieza nueva a partir de plástico reciclado.

Por lo tanto, la máquina de inyección de plástico queda aceptada para su utilización después de comprobar que cumple con los requisitos. Se puede decir que esta nueva máquina de inyección de plástico es una versión mejorada de la máquina de Dave Hakkens.

Respecto a los objetivos generales planteados por el proyecto, se puede afirmar que se han adquirido los conceptos necesarios para:

- La modelización por técnicas gráficas.
- Cálculo y diseño de máquinas.
- Capacidades para el diseño de estructuras y construcciones industriales.
- Conocimientos aplicados en máquinas fluidomecánicas.
- Conocimientos sobre los procesos de fabricación.

### 7.3. POSIBLES DESARROLLOS FUTUROS

La realización de este proyecto ha permitido profundizar en temas como el auge de los polímeros en todos los sectores, pero también en los grandes problemas que esto conlleva como son los residuos que genera. Al ser materiales tan comunes, su valor es ínfimo.

En concreto, a mi juicio, sería de gran interés:

- Continuar con el estudio de nuevas máquinas que mejoren el reciclaje de plástico.
- Crear nuevos moldes para la máquina para poder crear otras piezas a partir de plástico reciclado.
- Hacer un cálculo de elementos finitos del flujo del polímero en la máquina de inyección y en el molde para comprobar que la distribución es la correcta y que no existen puntos donde se concentren los defectos...



Desde un punto de vista de la máquina y de su enfoque ecológico, una de las mejoras que se pueden hacer es la de utilizar solo materiales recuperados y no comprados. Sin embargo, ha sido complicado puesto que no se disponía de un centro para recuperación de objetos usados y no aporta tanto valor añadido como puede ser un diseño con piezas normalizadas que se pueden conseguir en cualquier parte del mundo.

Creo que sería de gran utilidad encontrar un nuevo diseño para la máquina utilizando un tornillo sinfín en lugar del pistón que se utiliza actualmente. Creo que esta solución aportaría bastantes mejoras, aunque su coste aumentaría notablemente:

- Ayudaría al mecanizado de la máquina.
- Disminuiría notablemente el tamaño de la máquina puesto que no tendría que hacer palanca, ni una base tan grande.
- Sería más fácil llegar a una presión mayor.
- Con una presión mayor se podrían crear piezas con geometrías más complejas.
- Sin embargo, aumentaría el coste de realización de la máquina puesto que sería necesario introducir un motor.

Por otro lado, aunque trasciende el ámbito del proyecto, es de gran importancia fomentar la creación. No solo la creación de nuevas máquinas para el reciclaje, sino la creación de objetos a partir de otros, dándoles una nueva utilidad.



## 8. VALORACIÓN ECONÓMICA

Para la realización de este proyecto, se ha realizado la siguiente valoración económica, teniendo en cuenta los siguientes bloques de costes:

- Recursos humanos.
- Recursos informáticos.
- Recursos materiales.

A continuación, se dispone a detallar cada uno de estos costes.

### 8.1. RECURSOS HUMANOS

El proyecto ha sido realizado por un estudiante de ingeniería electromecánica que asumirá diversos papeles en este proyecto como encargado de la concepción, de la fabricación, redacción de los documentos...

A continuación, se detallan los costes dependiendo de la labor desempeñada.

LABOR	HORAS TRABAJADAS	COSTE/HORA	COSTE ACUMULADO
ingeniero electromecánico	150 horas	40 €/Hora	6.000 €
Técnico	30 horas	30 €/Hora	900 €
Cargo administrativo	40 horas	20 €/Hora	800 €
Gestión de compras	6 horas	25 €/Hora	150 €
<b>TOTAL</b>	<b>226 horas</b>	-	<b>7.850 €</b>

Tabla 10: Costes recursos humanos alumno. Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se desglosa la labor realizada como ingeniero, por otro su rol como auxiliar técnico, a parte se consideran los gastos de la gestión de compras y los costes relativos a la redacción del documento.

Por otro lado, hay que considerar los gastos en recursos humanos que provienen del profesorado, es decir, el tiempo que diversos profesores han empleado para la realización del proyecto.

LABOR	HORAS TRABAJADAS	COSTE/HORA	COSTE ACUMULADO
ingenieros superiores	20 horas	60 €/Hora	1.200 €
Técnicos	20 horas	50 €/Hora	1.000 €
Cargo administrativo	4 horas	40 €/Hora	160 €
<b>TOTAL</b>	<b>44 horas</b>	-	<b>2.360 €</b>

Tabla 11: Costes recursos humanos profesorado. Fuente: Elaboración propia



La labor del profesorado es esencial y sin las horas dedicadas a los alumnos en los proyectos, no sería posible hacerlos.

## 8.2. RECURSOS INFORMATICOS:

Un gasto importante de este proyecto son las licencias informáticas. Afortunadamente, la universidad supone de servicios para la obtención de licencias para los alumnos.

CONCEPTO	PRECIO
Ordenador Lenovo	75 €
Licencia Office	15 €
Ordenador HP	10 €
Licencia Catia	50 €
Licencia AutoCAD	40 €
<b>TOTAL</b>	<b>190 €</b>

Tabla 12: Costes recursos informáticos. Fuente: Elaboración propia

El coste de los recursos informáticos han sido calculados teniendo en cuenta el número de horas utilizados y su amortización a 5 años.

Tanto el coste del ordenador HP, la licencia Catia y la licencia AutoCAD se calcula como recursos de la universidad teniendo en cuenta el número de horas que puede tener utilizarlo un alumno.

## 8.3. RECURSOS MATERIALES:

El coste de los materiales asciende a los 395,58€. El precio detallado de cada componente será detallado en el anexo de presupuesto de materiales, indicando el producto con su característica más representativa, la cantidad de cada producto, el precio unitario y el precio total.

Al coste de los recursos materiales propiamente dichos, habría que añadir el coste energético (este coste energético ha sido calculado a partir del precio del kWh para uso domestico).

CONCEPTO	PRECIO
Gasto energético	9,87 €
Transporte	10,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>19,87 €</b>

Tabla 13: Coste de materiales. Fuente: Elaboración propia





#### 8.4. CONCLUSIÓN SOBRE LA VALORACIÓN ECONÓMICA

El gasto total de este proyecto será la suma de los diversos costes humanos, informáticos y materiales.

La suma de este coste asciende a 10.815,45€ con un total de 270 horas trabajadas entre alumno y profesorado.





## 9. ANALISIS DE IMPACTOS

Una de las medidas más utilizadas para medir el impacto de un proyecto es el Retorno Social de la Inversión (SROI). El SROI es un método basado en principios de medición del valor extra-financiero, es decir, el valor ambiental, social y económico (público) que actualmente no se refleja en la contabilidad financiera convencional.

Este método ayuda a las organizaciones a medir y evaluar el impacto que se produce para sus principales grupos de interés. Asimismo, el proceso sirve para identificar formas de mejorar la gestión de las actividades y mejorar el rendimiento de los recursos invertidos en un proyecto. Por ello, es este apartado se pretende realizar un breve comentario sobre el alcance que este proyecto tiene en todas sus dimensiones: social, ambiental y económico (Foro innovación social, s.f.).

### 9.1. IMPACTO SOCIOECONÓMICO

El impacto socioeconómico de un proyecto basado en el reciclaje es indiscutible. Pocos proyectos industriales revisten tanta importancia e impacto económico y social tan positivo como es el de la inversión en reciclaje.

El reciclaje de una materia prima constituye una fuente de ahorro en costes y en recursos. Significa una fuente de ahorro en eficiencia en todas las cadenas relacionadas con materias primas.

En las últimas décadas, el reciclaje se está convirtiendo en una de las industrias de mayor crecimiento en el mundo. Al auge de esta economía, se junta los incentivos que muchos países proponer para financiar el reciclaje.

Los beneficios de una sociedad que recicla y reutiliza son múltiples:

- Hay menos basura en el entorno.
- Menor consumo de energía.
- Menor precio de la energía.
- Más puestos de trabajo.
- Creación de nuevos productos.

Particularmente, este proyecto ayuda a la creación de nuevos productos a partir de desechos. Puede ayudar a la población en diferentes aspectos:

- Calidad de vida: a través de un aumento del bienestar emocional, el desarrollo personal, la autodeterminación, la inclusión social, y de una mejora de las relaciones interpersonales.
- Económico: puede impulsar el comercio local, haciendo de la máquina de reciclaje un medio de ingresos. Reduce el absentismo.

- Aprendizaje: se produce la formación en aspectos de la ingeniería y en la tecnología.
- Salud: se reducen los residuos.
- Ocio: puede ser método didáctico.



*Ilustración 60: Residuos plásticos en la playa. Fuente: (Hakkens, s.f.)*

## 9.2. IMPACTO AMBIENTAL

La sostenibilidad ambiental es una de las principales motivaciones para la creación y desarrollo del proyecto. Considero que es necesario la reducción de residuos, el incremento de la eficiencia en el uso de los recursos y la eliminación de productos y procesos dañinos para el medio ambiente.

El impacto ambiental de la máquina de reciclaje de plástico en sí no es tan importante como el mensaje que transmite. Este mensaje es que es fácil reciclar y que todo el mundo puede hacerlo siguiendo unas instrucciones para construir unas máquinas.



Los objetivos de este proyecto han sido:

- Fomentar el reciclaje de los plásticos.
- Reaprovechar los envases ya utilizados.
- Mantener el entorno limpio.
- Reducir las necesidades de crear nuevos objetos a partir de materias primas.
- Reducir la necesidad de vertederos y del proceso de incineración.

La consecuencia de estos objetivos específicos permitiría una mejora en otros aspectos más generales como pueden ser:

- Evitar la contaminación del agua, del aire y de los suelos.
- Ahorro de energía.
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Preservación de los recursos naturales.
- Reducción de costes asociados a la producción de nuevos bienes.
- Reducción del volumen de residuos.





## 10. AGRADECIMIENTOS

La realización de este TFG ha sido una experiencia que va más allá de lo meramente académico. Por el han pasado muchos acontecimientos y anécdotas. Todo empezó hace años cuando de pura casualidad, visioné un video de Dave Hakkens. Su idea de crear máquinas para el reciclaje de plástico me pareció fascinante. Desde ese momento, quise crear una máquina, ayudar a mejorarla y aportar mi granito de arena. Es por eso, que quiero hacer una mención especial a esta persona que sin él y sin su motivación nada hubiera sido posible.

Acto seguido me gustaría agradecer toda la ayuda aportada a mi tutora Elise Contraires quien sin duda ha ayudado muchísimo en la fase de concepción de la máquina. Su gran conocimiento sobre los polímeros ha sido determinante en la fase de concepción para saber que material utilizar.

También me gustaría agradecer toda la ayuda aportada al señor Matthieu Guibert quien también ha colabora y aconsejado en la fase de concepción y sobre todo de fabricación.

La realización de este proyecto no hubiera sido posible sin la colaboración de asociaciones como WeWaste quienes han dado la posibilidad de realizar este proyecto.

Mis más sinceros agradecimientos al personal de la universidad École Centrale Lyon y una mención especial al señor Houx y al señor Tocha quienes han aportado tantísimo en la fase de fabricación realizando manipulaciones más técnicas y enseñando a utilizar distintas máquinas de fabricación y diferentes utensilios.

En conjunto, me gustaría agradecer la labor académica que me ha aportado la universidad École Centrale Lyon dónde tantísimo he aprendido a nivel académico y personal. Quiero agradecer al director, el señor Debouck, el préstamo de todas las instalaciones y laboratorios a los alumnos.

Igualmente quiero agradecer a la universidad Pontificia de Comillas todas las enseñanzas aportadas durante estos años de carrera. No quiero pasar por alto la oportunidad de agradecer a los profesores todos estos años de formación que han sido mi base para llegar a lo que soy ahora.

No puede faltar el agradecimiento a mi familia, por estar a mi lado siempre. Gracias por creer en mí.

Y a mis amigos, por animarme siempre con todos mis retos ayudándome a superarme y a hacer que creyese en mi mismo.







## 11. BIBLIOGRAFÍA

### 11.1. PUBLICACIONES

(s.f.). Obtenido de ¿Qué es la inyección de plásticos?: <http://ppi.com.mx/Servicios/que-es-la-inyeccion-de-plasticos.html>

(s.f.). Obtenido de Nexamspro: <https://www.nexamspro.com/>

(s.f.). Obtenido de Materiales Tecnología: <https://sites.google.com/site/materiales1120/>

*La Bio Guia.* (s.f.). Obtenido de La Bio Guia: <http://www.labioguia.com/>

*Aprende inyeccion de plastico.* (s.f.). Obtenido de Aprende inyeccion de plastico: <http://www.dimoplast.com.mx/aprende-inyeccion-plastico.html>

*Definicion de polimero.* (s.f.). Obtenido de Definicion de polimero: <https://www.losadhesivos.com/definicion-de-polimero.html>

*Depositphotos.* (s.f.). Obtenido de Depositphotos: <https://ua.depositphotos.com/33283079/stock-illustration-symbols-for-marking-types-of.html>

*Elcom.* (s.f.). Obtenido de Elcom: <http://elcom-eshop.com/fr/profiles-de-construction-8/1206-profile-aluminium-8-40x40-e-naturel.html>

*Evisos.* (s.f.). Obtenido de Evisos: <http://bogota.evisos.com.co/moldes-para-inyeccion-en-plasticoproductos-populares-ven-permuta-id-132063>

*Foro innovación social.* (s.f.). Obtenido de Foro innovación social: <https://foroinnovacionsocial.wordpress.com/2013/06/09/el-retorno-social-de-la-inversion-sroi/>

Hakkens, D. (s.f.). Obtenido de Precious Plastic: <https://preciousplastic.com/>

*Mecaplastica.* (s.f.). Obtenido de Mecaplastica: [http://www.mecanoplastica.com/mecanoplastica\\_productos.php](http://www.mecanoplastica.com/mecanoplastica_productos.php)

*Moldeo por inyección, capacidad de plastificación .* (s.f.). Obtenido de Moldeo por inyección, capacidad de plastificación : <https://cep-plasticos.com/es/contenido/moldeo-por-inyecci%C3%B3n-capacidad-de-plastificaci%C3%B3n-injecti%C3%B3n-molding-plasticizing-capacity>



*Polimeros.* (s.f.). Obtenido de Polimeros:  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Pol%C3%ADmero>

*Reciclaje.* (s.f.). Obtenido de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Reciclaje>

*Residuos plásticos: una estrategia europea para proteger el planeta, defender a los ciudadanos y capacitar a las industrias.* (16 de Enero de 2018). Obtenido de Comisión Europea - Comunicado de prensa: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-18-5\\_es.pdf](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-5_es.pdf)

*RS Components Ltd.* (s.f.). Obtenido de RS Components Ltd.: <https://uk.rs-online.com/web/c/automation-control-gear/temperature-control-process-heating/band-heaters/#applied-dimensions=4294555067,4294569782>

*Strength Data.* (s.f.). Obtenido de Strength Data:  
<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.dti.gov.uk/files/file21830.pdf>

*TC Direct.* (s.f.). Obtenido de TC Direct :  
[http://www.tcdirect.fr/Default.aspx?level=2&department\\_id=100/9](http://www.tcdirect.fr/Default.aspx?level=2&department_id=100/9)

*Taller Esférica.* (s.f.). Obtenido de Taller Esférica: <http://www.esferica.org/ca/potclau/>

*Tecnova.* (s.f.). Obtenido de Tecnova: [http://www.tecnovasa.com/hoja\\_calculo.html](http://www.tecnovasa.com/hoja_calculo.html)

*Temperatura de transición vítrea .* (s.f.). Obtenido de Temperatura de transición vítrea :  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura\\_de\\_transici%C3%B3n\\_v%C3%ADtre](https://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura_de_transici%C3%B3n_v%C3%ADtre)  
a

## 12. ANEXO 1: PROPIEDADES DE LOS PLASTICOS



### Different types



**PET**  
polyethylene terephthalate



**HDPE**  
high-density polyethylene



**PVC**  
polyvinyl chloride



**LDPE**  
low-density polyethylene



**PP**  
polypropylene









**PS**  
polystyrene



**OTHER**  
All Other Plastics



## Floating properties

floats on:		alcohol	vegetable oil	water	glycerin
PET		no	no	no	no
HDPE		no	no	yes	yes
PVC		no	no	no	no
LDPE		yes	no	yes	yes
PP		yes	yes	yes	yes
PS		no	no	no	yes



## Physical properties

Plastic	Thermal Properties				Strength		Density
	Abbreviation - Brand name	Tm	Tg	Td	Cte	Tensile	
	°C	°C	°C	ppm/°C	psi	psi	g/cc
PET - Polyethyleneterephthalate	245	73	21	65	7000	11000	1.29
	265	80	38		10500	15000	1.40
LDPE - Low density polyethylene	98	-25	40	100	1200		0.917
	115		44	220	4550		0.932
HDPE - High density polyethylene	130		79	59	3200	2700	0.952
	137		91	110	4500	3600	0.965
PP - polypropylene	168	-20	107	81	4500	5500	0.900
	175		121	100	6000	8000	0.910
PVC - polyvinylchloride		75	57	50	5900	8000	1.30
		105	82	100	7500	13000	1.58
PS - polystyrene		74	68	50	5200	12000	1.04
		105	96	83	7500	13000	1.05

Tm - crystalline melting temperature (some plastics have no crystallinity and are said to be amorphous).

Tg - glass transition temperature (the plastic becomes brittle below this temperature).

Td - heat distortion temperature under a 66 psi load.

Cte - coefficient of linear thermal expansion.








Tensile Strength - load necessary to pull a sample of the plastic apart.

Compressive Strength - load necessary to crush a sample of the plastic.

Density - aka specific gravity/mass of plastic per unit volume.



## Visual properties

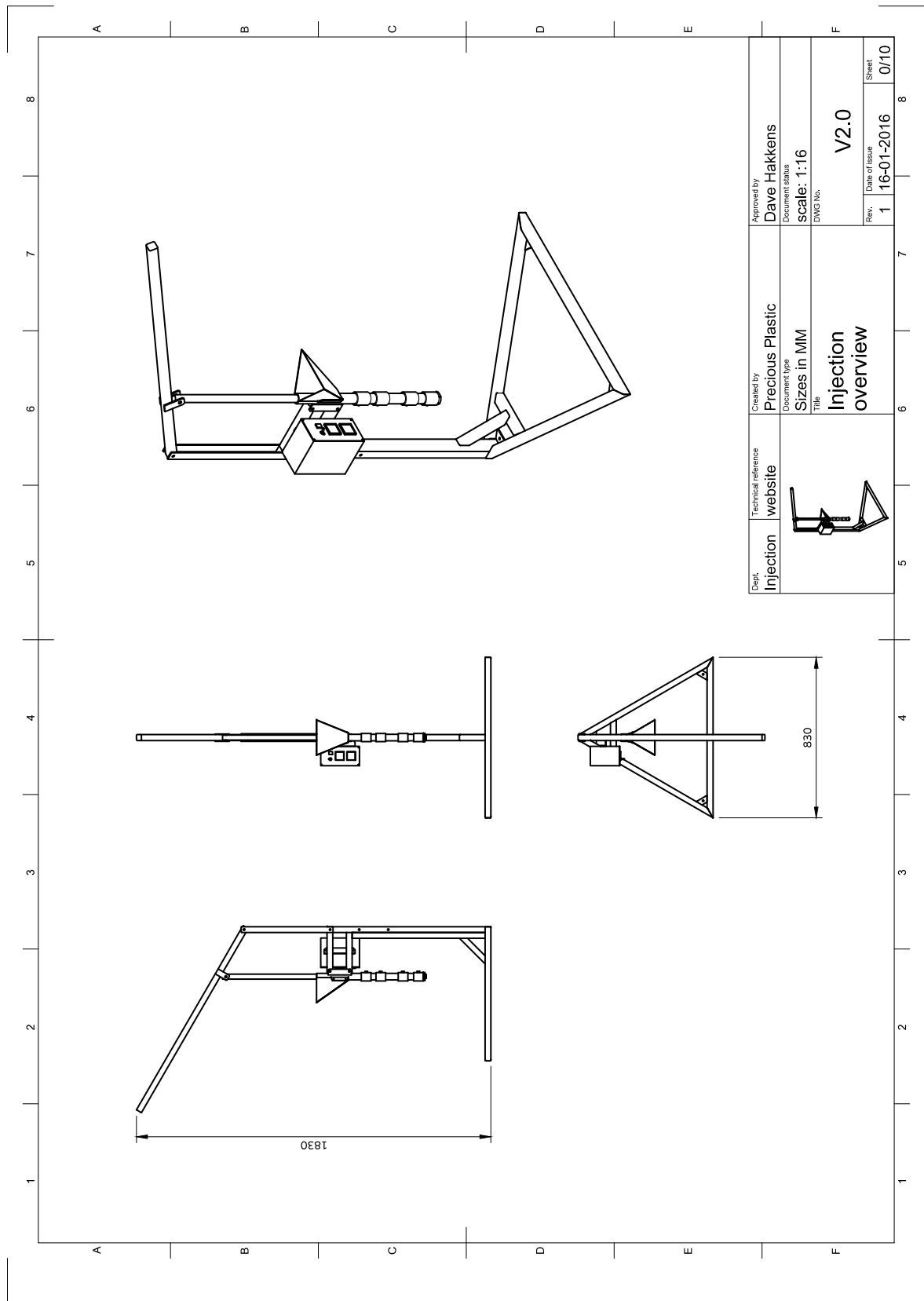
Type		name	properties	common uses	burning
PET		polyethylene terephthalate	clear, tough, solvent resistant, barrier to gas and moisture, softens at 80°	Soft drink, water bottles, salad domes, bisquit trays, food containers	yellow flame little smoke
HDPE		high-density polyethylene	Hard to semi-flexible, resistant to chemicals and moisture, waxy surface, softens at 75°	Shopping bags, freezer bags, milk bottles, juice bottles, icecream containers, shampoo, crates	difficult to ignite smells like candle
PVC		polyvinyl chloride	Strong, tough, can be clear and solvent, softens at 60°	Cosmetic containers, electrical conduit, plumbing pipes, blister packs, roof sheeting, garden hose	yellow flame green spurts
LDPE		low-density polyethylene	Soft, flexible, waxy surface, scratches easily, softens at 70°	Cling wrap, garbage bags, squeeze bottles, refuse bags, mulch film	difficult to ignite smells like candle
PP		polypropylene	Hard but still flexible, waxy surface, translucent, withstands solvents, softens at 140°	Bottles, icecream tubes, straws, flower-pots, dishes, garden furniture, food containers	blue yellow tipped flame
PS		polystyrene	Clear, glassy, opaque, semi tough, softens at 95°	CD cases, plastic cutlery, imitation glass, foamed meat trays, brittle toys,	dense smoke
OTHER		all other plastics	Properties depend on the type of plastic	automotive, electronics, packaging	all other plastics





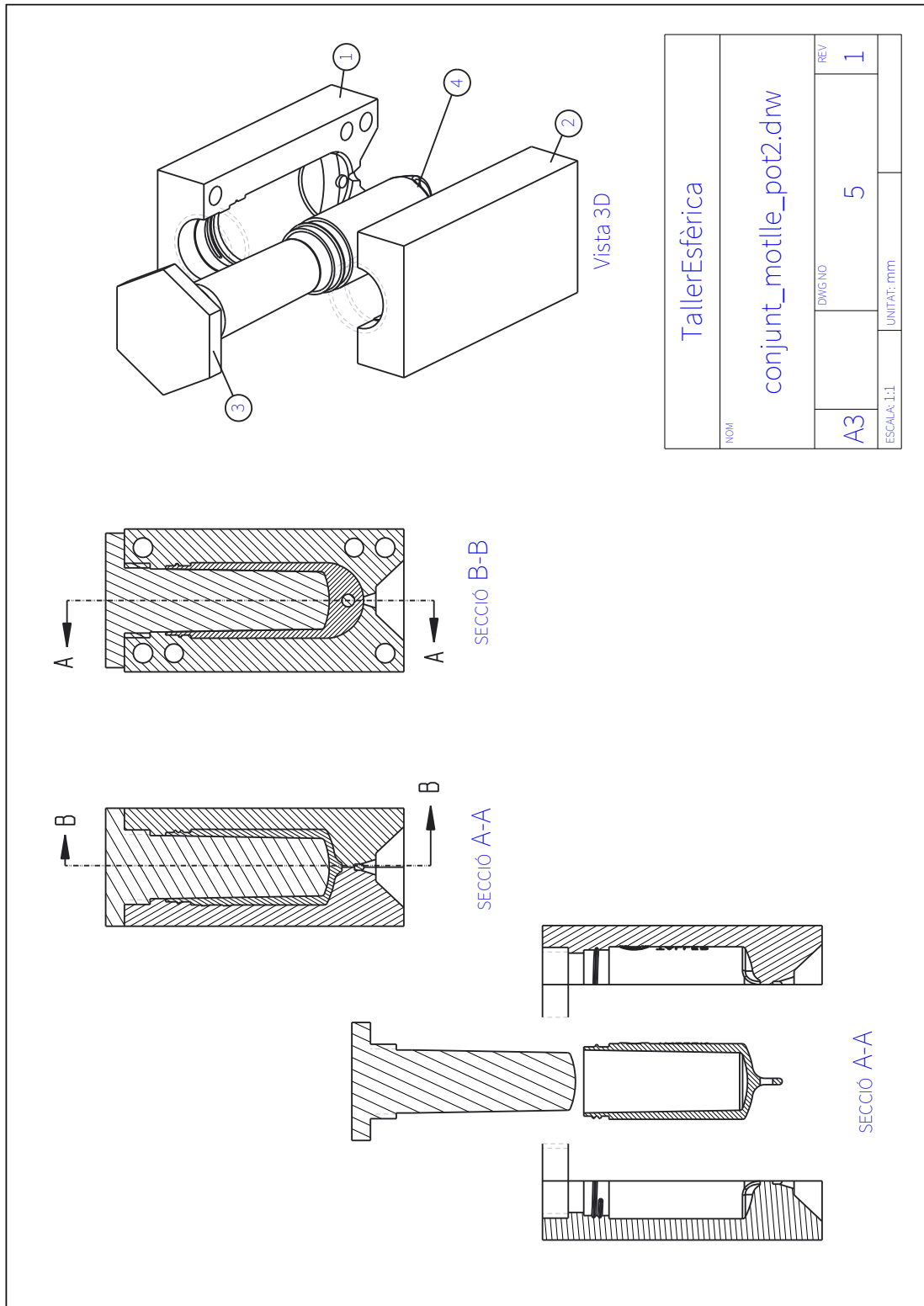


13. ANEXO 2: PLANO DE LA MAQUINA DE INYECCION DE PRECIOUS PLASTIC





14. ANEXO 3: PLANO DEL MOLDE DEL LLAVERO DE TALLER ESFERICA







## 15. ANEXO 4: PRESUPUESTO DE MATERIALES

PRODUCTO	CARACTERISTICA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Perfil de aluminio	700 mm	1	11,89 €	11,89 €
Perfil de aluminio	400 mm	1	6,80 €	6,80 €
Perfil de aluminio	1500 mm	1	25,47 €	25,47 €
Perfil de aluminio	50 mm	2	0,85 €	1,70 €
Perfil de aluminio	80 mm	2	1,36 €	2,72 €
Articulaciones	-	7	14,44 €	101,08 €
Tornillos	M8	20	0,54 €	10,80 €
Tuercas	M8	10	1,58 €	15,80 €
Banda calefactora	22 mm diámetro	2	19,35 €	38,70 €
Controlador PID	-	1	76,00 €	76,00 €
Termopar	Tipo K	1	5,84 €	5,84 €
Relé estático	24 a 280 V	1	31,51 €	31,51 €
Cables	1 m	1	0,50 €	0,50 €
Tubo cuadrado aluminio	50x50 mm	1	11,10 €	11,10 €
Protector de fibra de vidrio	-	1	2,22 €	2,22 €
Embudo pistón	-	1	2,60 €	2,60 €
Cilindro	22 mm diámetro	1	0,75 €	0,75 €
Pistón	16 mm diámetro	1	0,70 €	0,70 €
Tapón pistón	-	1	2,60 €	2,60 €
Molde	-	1	40,00 €	40,00 €
Aerosol lubricante	-	1	6,80 €	6,80 €
<b>TOTAL</b>				<b>395,58 €</b>

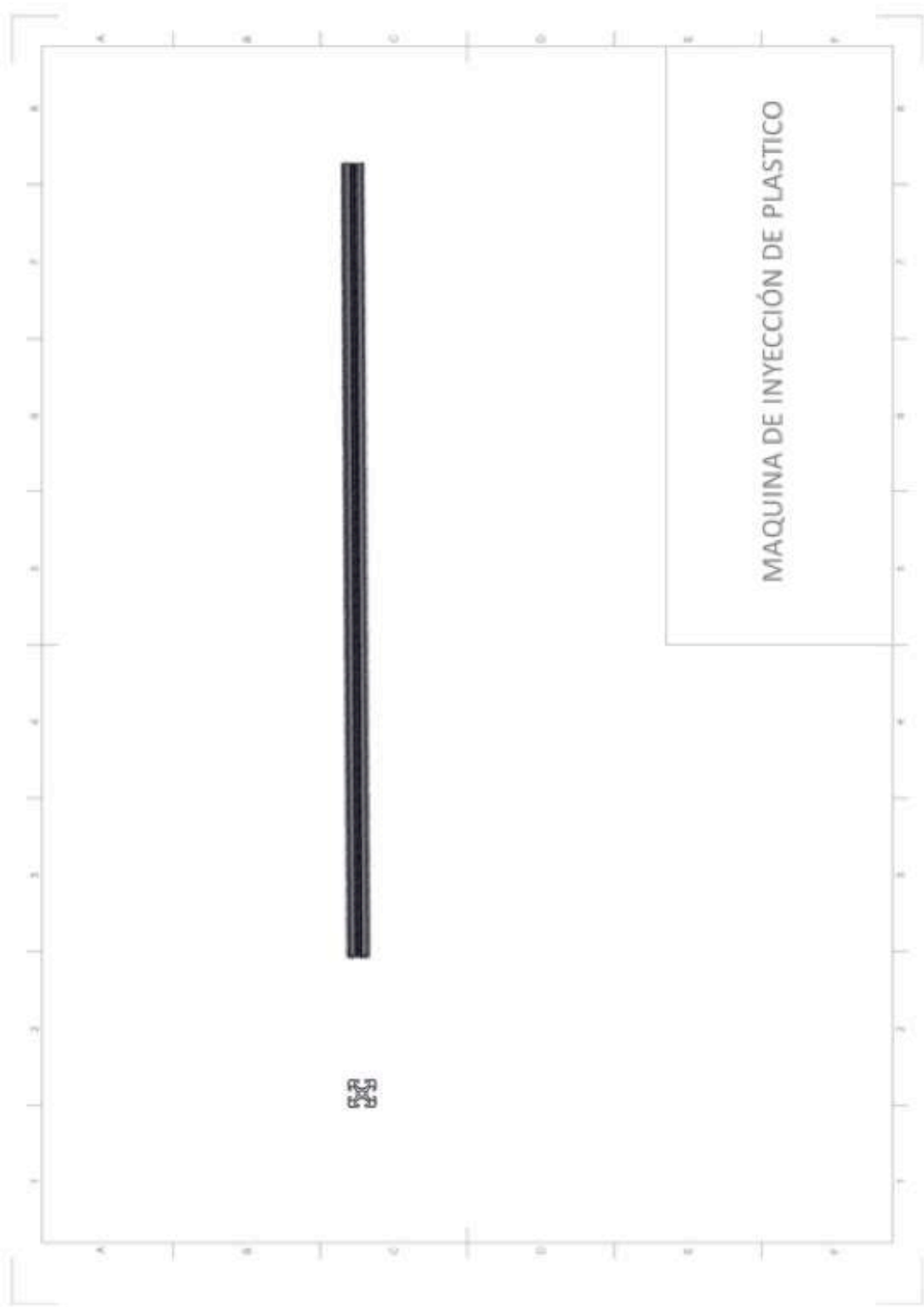




## 16. ANEXO 5: PLANOS DE LA MÁQUINA DE INYECCION DE PLASTICO

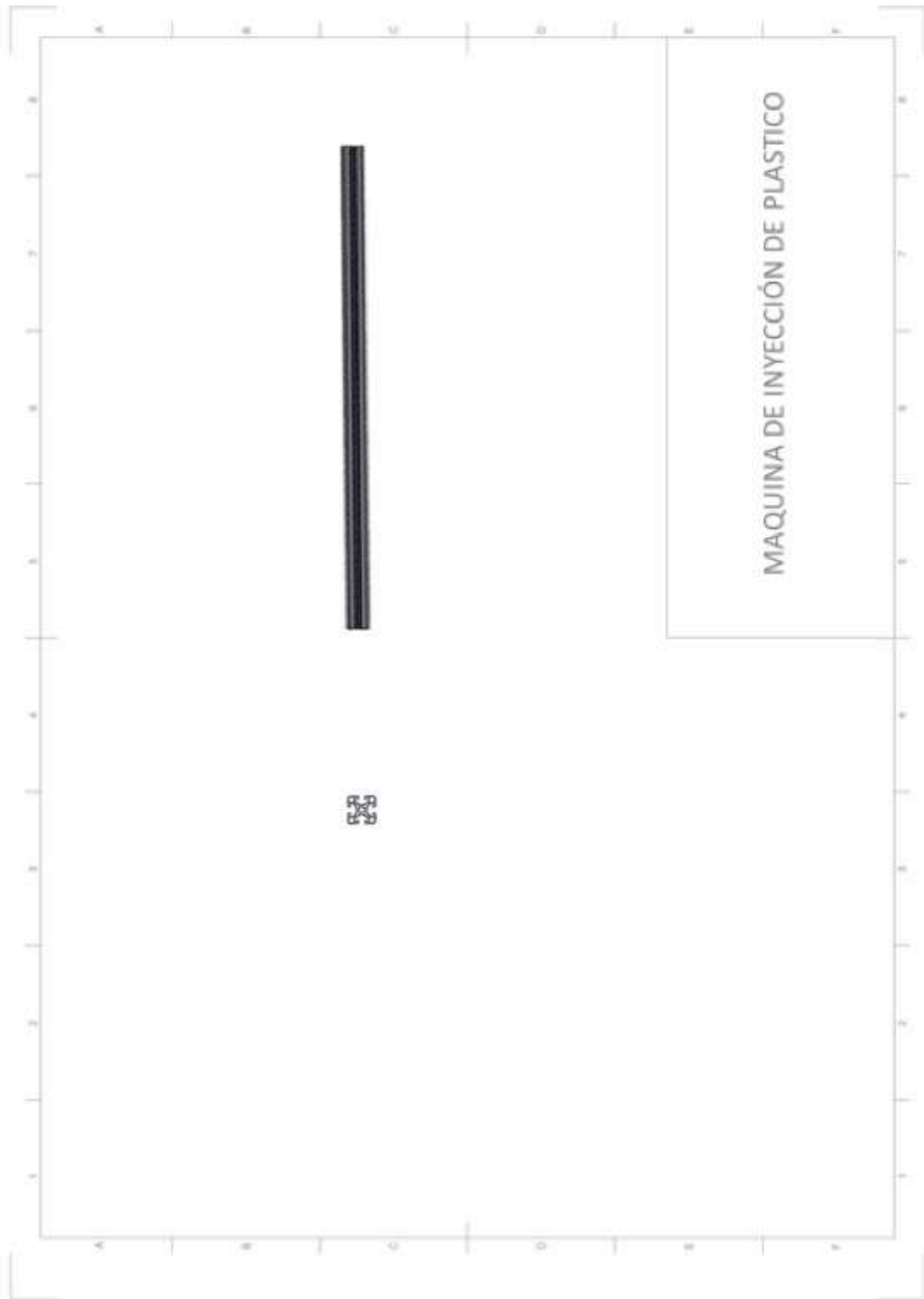
La lista de planos que se proporcionan a continuación son los siguientes:

- Perfil de aluminio de 1500 mm.
- Perfil de aluminio de 700 mm.
- Perfil de aluminio de 400 mm.
- Perfil de aluminio de 80 mm.
- Perfil de aluminio de 50 mm.
- Articulaciones.
- Cilindro.
- Pistón.
- Base.

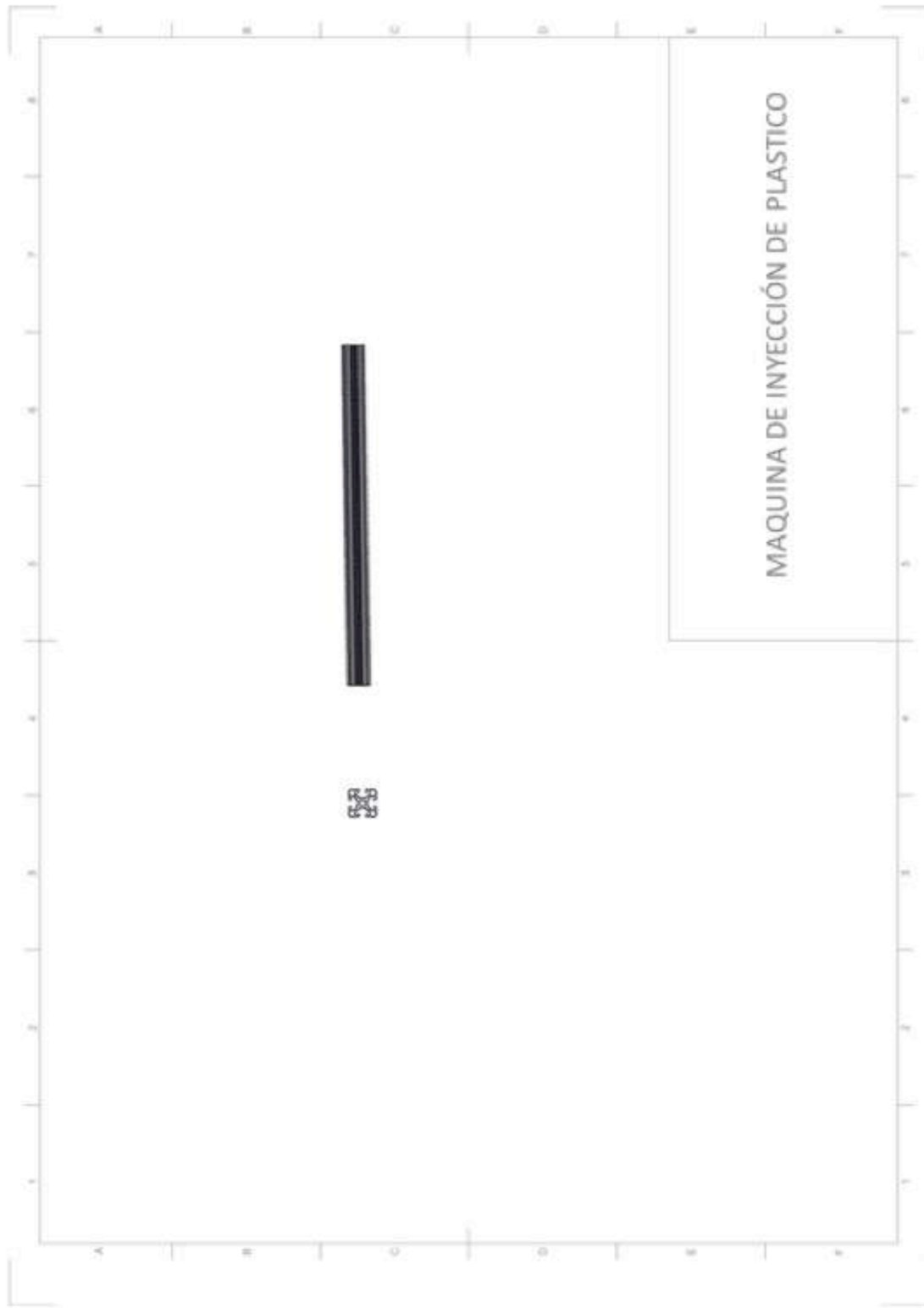


*Perfil de aluminio de 1500 mm*

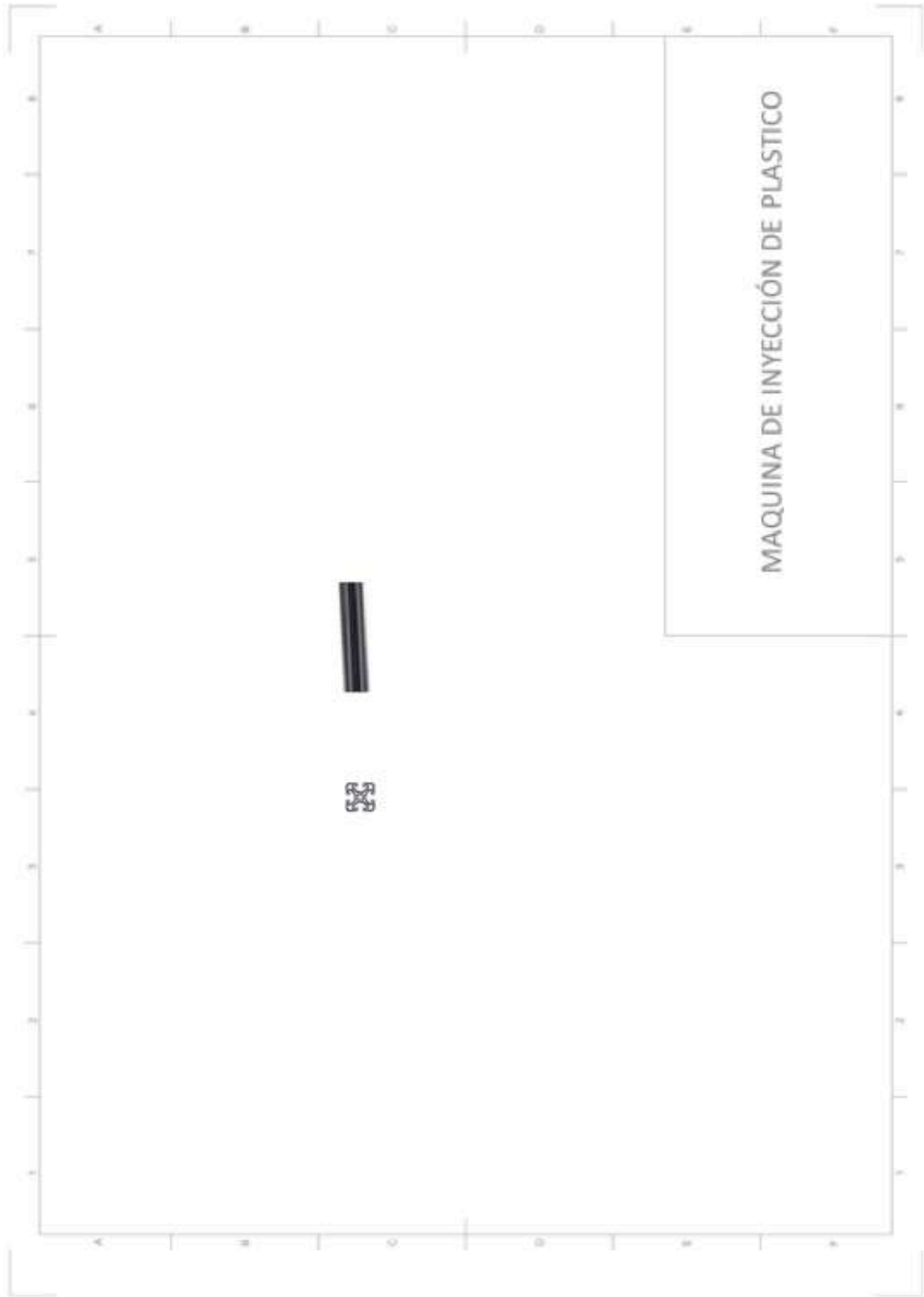




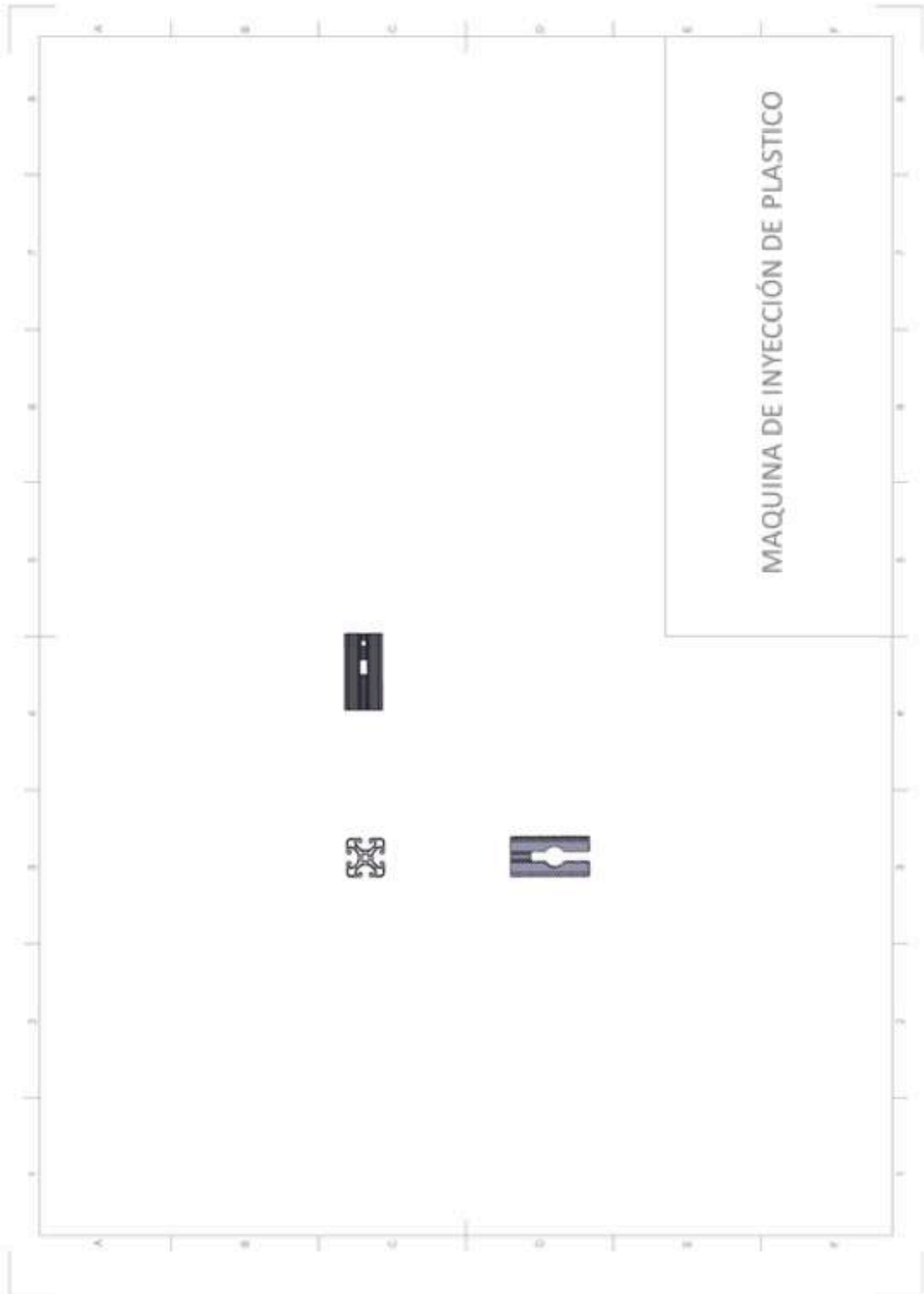
*Perfil de aluminio de 700 mm*



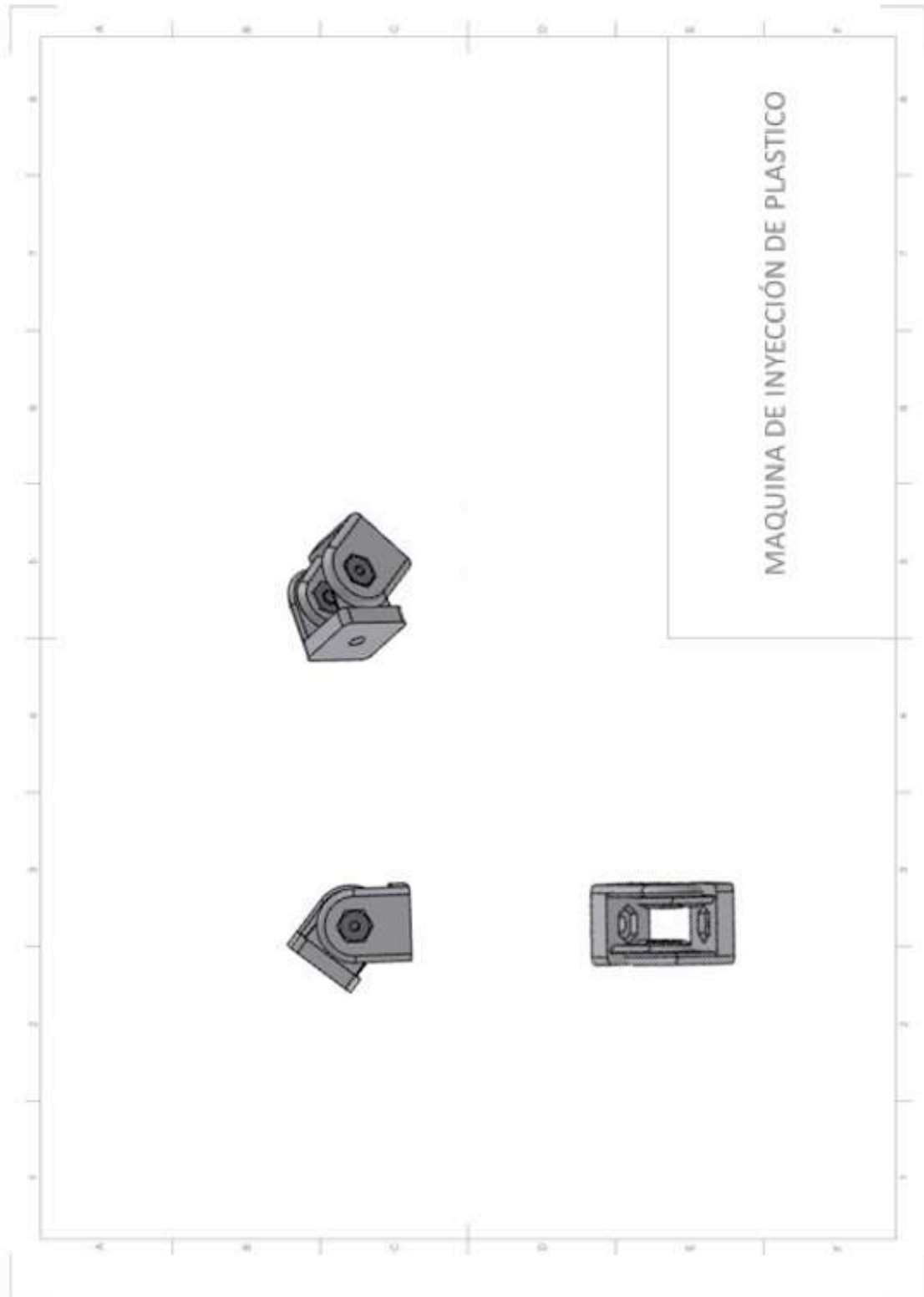
*Perfil de aluminio de 400 mm*



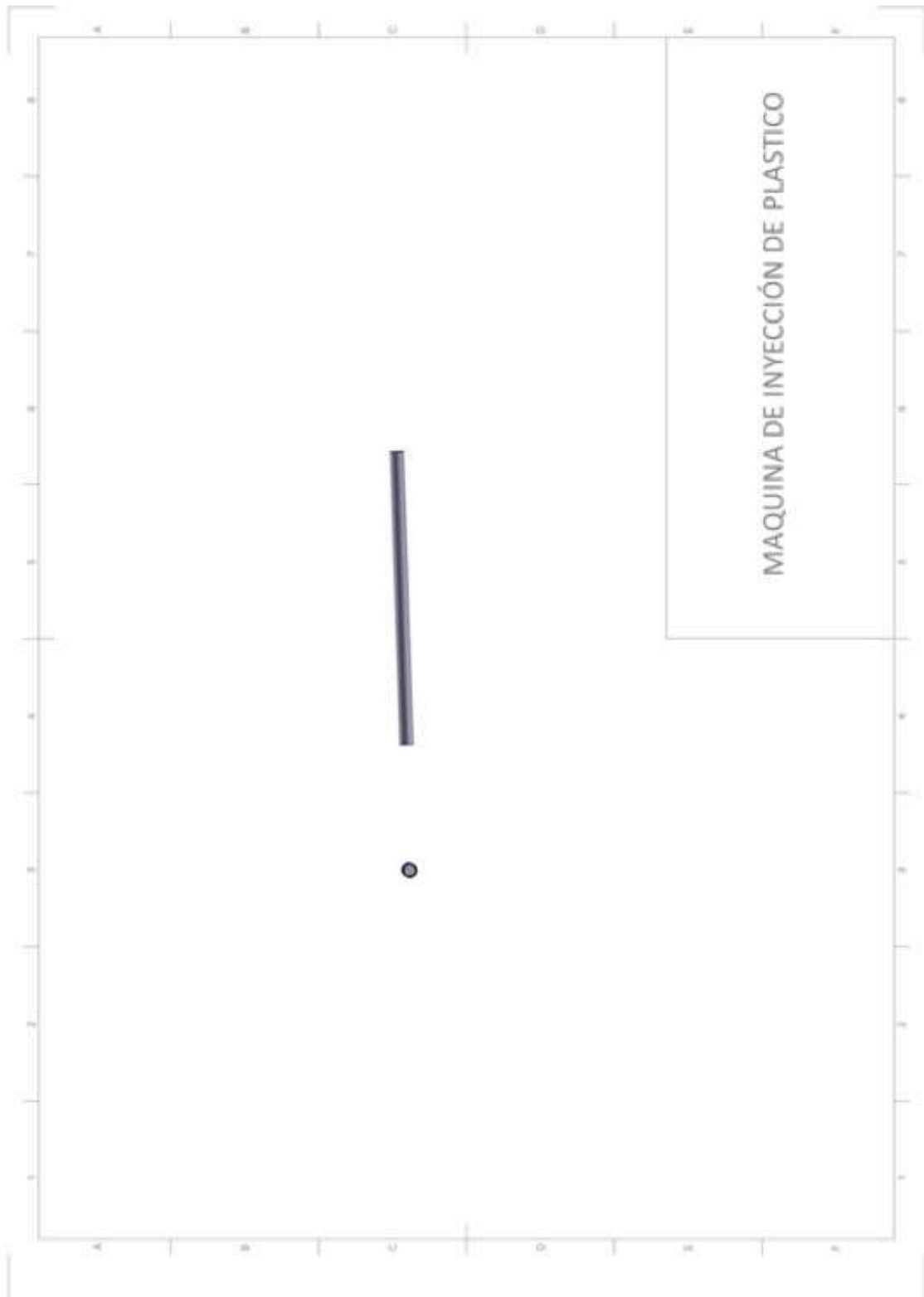
*Perfil de aluminio de 80 mm*



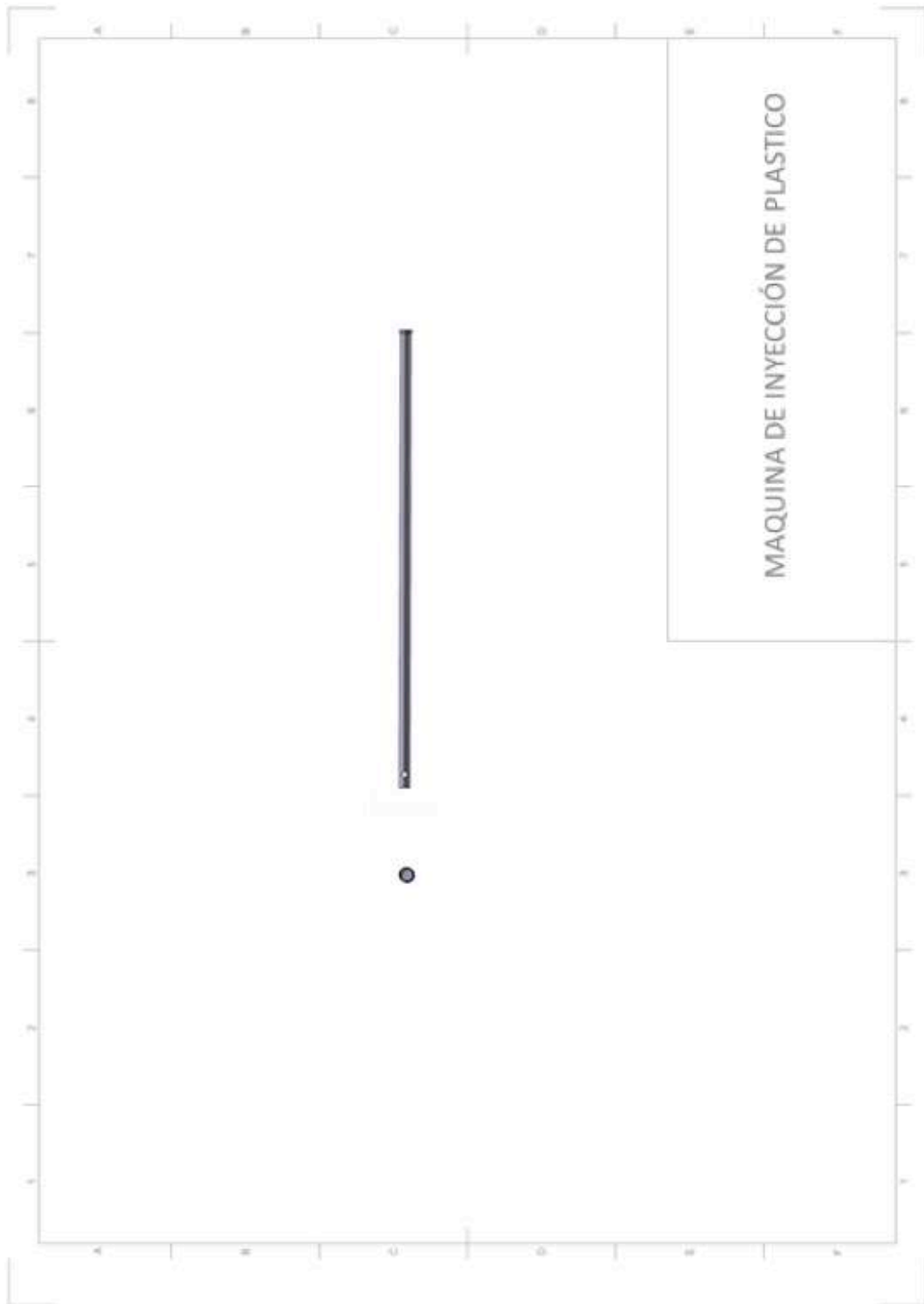
*Perfil de aluminio de 50 mm*



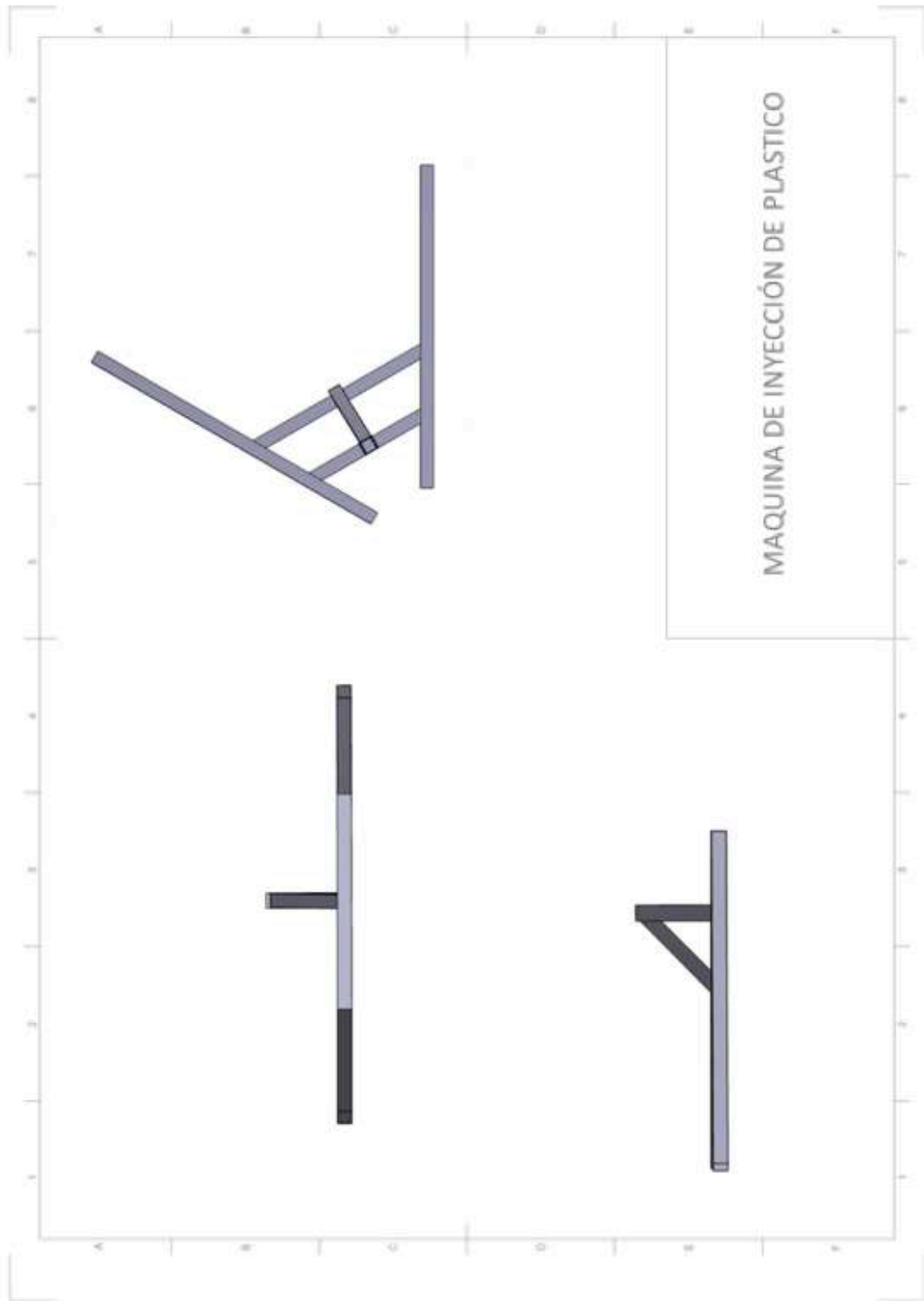
*Articulaciones*



*Cilindro*



*Pistón*



Base





## 17. MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE INYECCIÓN PLÁSTICA

### Puesta en marcha:

- Antes de pasar a la realización de la pieza, es importante hacer una verificación que todos los componentes de la máquina funcionan correctamente.
- Comprobar que todas las articulaciones se mueven correctamente y con facilidad.
- Se debe examinar que el pistón se mueve correctamente dentro del tubo de la máquina. Este movimiento se debe hacer sin dificultades y se debe poder llegar hasta el fondo del cilindro.
- El molde debe estar sobre la base de la máquina y no sobre el suelo.
- Para facilitar la extracción de la pieza, se aplicará un aerosol lubricante en el interior del molde.
- El molde se colocará en contacto directo con el punto de salida de la parte inyectora. Es importante que la salida de la parte inyectora este totalmente alineada con la entrada del molde.
- La máquina debe de ser colocada en una zona horizontal. Debe de estar estable.

### Realización de la inyección:

- Se debe de encender la máquina.
- La máquina debe de ser precalentada hasta 230°C. Para ello, se debe indicar en el controlador PID la temperatura a la que se desea llegar. En el propio controlador, aparece también la temperatura en cada momento de las resistencias térmicas.
- Durante el tiempo que se calienta la máquina se debe de preparar la cantidad de polímero que se va a inyectar.
  - Para el PP se insertarán: 18 g.
  - Para el PS se insertarán: 20 g.
- Cuando la máquina esté caliente (entorno a los 200°C), se debe introducir el plástico.
- Cuando la temperatura llegue a los 230°C y se estabilice, comenzará el proceso de la inyección.
- Para ello, se bajará el tubo del pistón de forma constante para que la presión sea homogénea. En un cierto momento, habrá una fuerte resistencia; es importante mostrar oposición y continuar con el movimiento continuo de descenso para asegurar la presión.
- El descenso de la palanca se hará hasta que el pistón toque el fondo del cilindro.
- Cuando esto suceda, será el punto de conmutación. En este punto es cuando se debe de mantener la fuerza en la palanca para producir el mantenimiento y evitar fugas.

- El tiempo de mantenimiento debe de ser de:
  - 16 segundos para el PP.
  - 12 segundos para el PS.
- Se puede utilizar un tiempo de mantenimiento común para los dos polímeros de 16 segundos si se quiere.
- Después de pasar el tiempo de mantenimiento se puede dejar de hacer fuerza sobre la palanca. La Inyección ya se ha realizado y el punto de entrada en el molde se ha solidificado, por lo que no habrá fugas de polímero fundido.

#### Desmoldeo:

- Para hacer el desmoldeo, se debe dejar un cierto tiempo de enfriamiento.
- Para asegurar que el enfriamiento se haya producido por completo. Se esperará 90 segundos.
- Una vez transcurrido este tiempo, se puede abrir el molde.
- Para abrir el molde, es necesario una llave inglesa, un destornillador plano y un martillo.
- Con la llave inglesa se desenroscará la parte con forma hexagonal y se quitará.



*Ilustración 61: Como desmoldar la pieza final. Fuente: Elaboración propia*

- Con el resto del molde colocado verticalmente como en la inyección, se golpeará con cuidado el polímero que esta en el punto de inyección con ayuda del destornillador plano y el martillo.



*Ilustración 62: Como desmoldar la pieza final. Fuente: Elaboración propia*

- El objeto final saldrá fácilmente.



*Ilustración 63: Objeto final realizado con la máquina de inyección de plástico y con una impresora 3D. Fuente: Elaboración propia*

