



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

# REDISEÑO Y MEJORA DE APREHENSIONES PARA LA EXTRACCIÓN DE PIEZAS DE INYECCIÓN

AUTOR: FRANCISCO JOSÉ SÁNCHEZ SANCHIS

TUTORA: ANA MARÍA PEDROSA SÁNCHEZ

**Curso Académico: 2017-18**



**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1	OBJETO DEL PROYECTO .....	10
1.2	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	10
<b>2</b>	<b>LA EMPRESA .....</b>	<b>11</b>
2.1	DESCRIPCIÓN GENERAL .....	11
2.2	PRODUCTOS.....	12
<b>3</b>	<b>LA INYECCIÓN DE PLÁSTICO.....</b>	<b>13</b>
3.1	PROCESO DE INYECCIÓN .....	13
3.2	PROCESO DE EXTRACCIÓN DE PIEZA .....	14
3.3	EL SISTEMA ACTUAL EN DR. FRANZ SCHNEIDER.....	15
3.3.1	<i>PROBLEMAS DEL SISTEMA ACTUAL.....</i>	<i>19</i>
<b>4</b>	<b>PROPUESTA DE MEJORA.....</b>	<b>20</b>
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA .....	20
4.2	DISEÑO POR ORDENADOR Y MUESTRA DE EJEMPLO .....	20
4.3	USO DEL PROGRAMA CURA PARA LA IMPRESIÓN 3D .....	32
4.3.1	<i>INSTALACIÓN Y PRIMEROS AJUSTES .....</i>	<i>32</i>
4.3.2	<i>VISIÓN GENERAL DE LA INTERFAZ CURA.....</i>	<i>35</i>
4.3.3	<i>AJUSTES DEL MODELO .....</i>	<i>35</i>
4.3.4	<i>MODOS DE VISUALIZACIÓN .....</i>	<i>40</i>
4.3.5	<i>CALIDAD .....</i>	<i>43</i>
4.3.6	<i>PERIMETRO .....</i>	<i>44</i>
4.3.7	<i>RELLENO.....</i>	<i>45</i>
4.3.8	<i>MATERIAL.....</i>	<i>46</i>
4.3.9	<i>VELOCIDAD.....</i>	<i>47</i>
4.3.10	<i>ENFRIAMIENTO .....</i>	<i>47</i>
4.3.11	<i>SOPORTES .....</i>	<i>47</i>
4.4	SELECCIÓN DE LA IMPRESORA Y EL MATERIAL.....	48
4.5	MONTAJE E INSTALACIÓN.....	50
4.6	PROCEDIMIENTO DE IMPLEMENTACIÓN.....	51
<b>5</b>	<b>ESTUDIO ECONÓMICO.....</b>	<b>52</b>
5.1	PRESUPUESTO DE UNA APREHENSIÓN DE PROVEEDOR FRENTE A UNA IMPRESA EN 3D .....	52
5.2	ESTUDIO DE AHORRO ECONÓMICO Y DE TIEMPO CON EL USO DE APREHENSIÓN IMPRESA EN 3D FRENTE A APREHENSIÓN CONVENCIONAL .....	54
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>61</b>

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 – PLANO NAVES ENUMERADAS DR. FRANZ SCHNEIDER S.A. ....	11
ILUSTRACIÓN 2 – INYECTORA KRAUSS MAFFEI 450TN CON ROBOT SEPRO .....	13
ILUSTRACIÓN 3 – ESQUEMA DE COMPONENTES DE UNA INYECTORA DE PLÁSTICO.....	14
ILUSTRACIÓN 4 – ROBOT SEPRO CON APREHENSIÓN ROMPE TALLOS.....	15
ILUSTRACIÓN 5 – PINZAS ESTÁNDAR PARA APREHENSIONES ROBÓTICAS MARCA ASS. ....	15
ILUSTRACIÓN 6 – DIFERENTES VENTOSAS PARA UNA APREHENSIÓN. ....	16
ILUSTRACIÓN 7 – PERFILERÍA METÁLICA TIPO MINItec Y RACOR M5 PARA TUBO DE DIÁMETRO 6. ....	17
ILUSTRACIÓN 8 – APREHENSIÓN GIMATIC CON DISTINTOS TIPOS DE ACCESORIOS. ....	17
ILUSTRACIÓN 9 – INTERFAZ DISCO GIMATIC PARA CAMBIO RÁPIDO DE APREHENSIÓN. ....	18
ILUSTRACIÓN 10 – DISEÑO 3D - MOLDE 10900-023 EN SOLIDWORKS.....	21
ILUSTRACIÓN 11 – DISEÑO 3D - CARAS INTERNAS DEL MOLDE, NEGATIVO DE LAS PIEZAS INYECTADAS.....	22
ILUSTRACIÓN 12 – DISEÑO 3D - PIEZAS DE LA PARTE FIJA DEL MOLDE.....	22
ILUSTRACIÓN 13 – DISEÑO 3D – PIEZA EN TRANSPARENCIA .....	23
ILUSTRACIÓN 14 – CATÁLOGO DE PINZAS GIMATIC, SELECCIÓN DE PINZA.....	24
ILUSTRACIÓN 15 – CATÁLOGO DE VENTOSAS GIMATIC, SELECCIÓN DE VENTOSA.....	25
ILUSTRACIÓN 16 – DIMENSIONES NORMALIZADAS TUERCA M5 .....	25
ILUSTRACIÓN 17 – DISEÑO 3D – CHAFLÁN PARA EL ALOJAMIENTO DE LAS PINZAS .....	26
ILUSTRACIÓN 18 – DISEÑO 3D – CARAS PLANAS DE LAS PIEZAS INYECTADAS Y UBICACIÓN DE VENTOSAS.....	27
ILUSTRACIÓN 19 – DISEÑO 3D – RUTEADO DE CONDUCTOS DE VACÍO .....	27
ILUSTRACIÓN 20 – DISEÑO 3D – RUTEADO CONDUCTOS VERTICALES DE VACÍO .....	28
ILUSTRACIÓN 21 – DISEÑO 3D – VISTA EN TRANSPARENCIA DE LOS CONDUCTOS DE VACÍO .....	28
ILUSTRACIÓN 22 – CÁLCULO DE ALOJAMIENTO PARA VENTOSAS .....	29
ILUSTRACIÓN 23 – DISEÑO 3D – VACIADO DE LOS ALOJAMIENTOS PARA LAS VENTOSAS .....	29
ILUSTRACIÓN 24 – DISEÑO 3D – ASPECTO GENERAL DE LA APREHENSIÓN CON LOS TUBOS INTERNOS REALIZADOS.....	30
ILUSTRACIÓN 25 – DISEÑO 3D – ALOJAMIENTOS HEXAGONALES PARA TUERCAS M5 EMBEBIDAS O INSERTADAS .....	30
ILUSTRACIÓN 26 – DISEÑO 3D – ASPECTO GENERAL DE LA APREHENSIÓN DESPUÉS DE ELIMINAR EL MATERIAL SOBRENTE .....	31
ILUSTRACIÓN 27 – DISEÑO 3D – TALADROS PARA LA UNIÓN DE LA APREHENSIÓN CON LA INTERFAZ DEL CAMBIO RÁPIDO .....	31
ILUSTRACIÓN 28 – DISEÑO 3D – ASPECTO GENERAL DE LA APREHENSIÓN CON PINZAS Y VENTOSAS COLOCADAS .....	32
ILUSTRACIÓN 29 – CONFIGURADOR IMPRESORA – INTERFAZ GENERAL DEL PROGRAMA CURA, RODEADO EN ROJO „ABRIR“ .....	33
ILUSTRACIÓN 30 – CONFIGURADOR IMPRESORA – SELECTOR DE PERFIL DE IMPRESIÓN.....	34
ILUSTRACIÓN 31 – CONFIGURADOR IMPRESORA – CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LA INTERFAZ.....	35
ILUSTRACIÓN 32 – CONFIGURADOR IMPRESORA – HERRAMIENTA DE MOVIMIENTO .....	36
ILUSTRACIÓN 33 – CONFIGURADOR IMPRESORA – HERRAMIENTA DE ESCALA .....	37
ILUSTRACIÓN 34 – CONFIGURADOR IMPRESORA – HERRAMIENTA ROTAR .....	38
ILUSTRACIÓN 35 – CONFIGURACIÓN IMPRESORA – HERRAMIENTA ESPEJO.....	39
ILUSTRACIÓN 36 – CONFIGURADOR IMPRESORA – MODO DE VISTA SÓLIDO .....	40
ILUSTRACIÓN 37 – CONFIGURADOR IMPRESORA – MODO DE VISTA RAYOS X .....	41
ILUSTRACIÓN 38 – CONFIGURADOR IMPRESORA – MODO DE VISTA CAPAS .....	42
ILUSTRACIÓN 39 – CONFIGURADOR IMPRESORA – REPRESENTACIÓN VISUAL DE ALTURA DE CAPA .....	43
ILUSTRACIÓN 40 – REPRESENTACIÓN VISUAL DE ANCHO DE LÍNEA .....	44
ILUSTRACIÓN 41 – REPRESENTACIÓN DE LOS PATRONES DE RELLENO DISPONIBLES EN EL PROGRAMA CURA .....	46
ILUSTRACIÓN 42 – ULTIMAKER 2+.....	48
ILUSTRACIÓN 43 – DESPIECE GENERAL DE UNA APREHENSIÓN .....	50
ILUSTRACIÓN 44 – CONFIGURADOR IMPRESORA – DATOS DE TIEMPO DE IMPRESIÓN Y MASA DE MATERIAL.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 – CARACTERÍSTICAS DE LOS PLÁSTICOS MÁS UTILIZADOS EN IMPRESIÓN 3D.....	49
TABLA 2 – PRESUPUESTO DE MATERIAL PARA EL MONTAJE DE UNA APREHENSIÓN CONVENCIONAL .....	52
TABLA 3 – COSTE DE FABRICACIÓN DE LA APREHENSIÓN DE DISEÑO.....	54
TABLA 4 – TONELADAS Y TASA HORARIA DE TRES INYECTORAS ENGEL. ....	54
TABLA 5 – COMPARACIÓN DE APERTURA DE MÁQUINA SEGÚN TIPO DE APREHENSIÓN.....	55
TABLA 6 – CÁLCULO DEL PROMEDIO DE VELOCIDAD DE APERTURA DE MOLDE. ....	55
TABLA 7 – ESTUDIO DE AHORRO ECONÓMICO PARTE 1. ....	56
TABLA 8 - ESTUDIO DE AHORRO ECONÓMICO PARTE 2. ....	56
TABLA 9 - ESTUDIO DE AHORRO ECONÓMICO PARTE 3. ....	57
TABLA 10 - ESTUDIO DE AHORRO ECONÓMICO PARTE 4. ....	58
TABLA 11 - ESTUDIO DE AHORRO ECONÓMICO PARTE 5. ....	58

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 – CÁLCULO CONSUMO ELÉCTRICO IMPRESORA 3D.....	54
ECUACIÓN 2 – CÁLCULO COSTE MATERIAL IMPRESIÓN 3D.....	54
ECUACIÓN 3 – CÁLCULO COSTE HORA PERSONAL DE DISEÑO .....	54
ECUACIÓN 4 – CÁLCULO VELOCIDAD APERTURA MOLDE .....	55
ECUACIÓN 5 – CÁLCULO DIFERENCIAL DE TIEMPO AL COMPARAR DOS APERTURAS DE MOLDE .....	55
ECUACIÓN 6 – CÁLCULO TIEMPO DE CICLO .....	56
ECUACIÓN 7 – CÁLCULO AHORRO MÁQUINA MENSUAL.....	57
ECUACIÓN 8 – CÁLCULO AHORRO MÁQUINA ANUAL.....	57
ECUACIÓN 9 – CÁLCULO AHORRO PERSONAL MENSUAL .....	57
ECUACIÓN 10 – CÁLCULO AHORRO PERSONAL ANUAL .....	58

## RESUMEN

El siguiente trabajo de fin de grado consiste en el diseño, desarrollo e implantación de unos útiles para la cogida de las piezas en una inyectora de plástico. En concreto, los útiles que se utilizan actualmente, llamados aprehensiones, son de perfilera metálica y tornillería, lo que los hacen pesados y voluminosos.

En el siguiente proyecto se expone el desarrollo de unas nuevas aprehensiones diseñadas a partir del propio molde, de las piezas que se requieren recoger, e impresas en plástico mediante el uso de una impresora 3D. A lo largo del proyecto se expondrá la información necesaria para el diseño de la aprehensión y para el uso del programa de la impresora 3D.

Por último, se realizará un estudio de tiempos y de ahorro para defender el desarrollo de este proyecto.

**Palabras clave:** Aprehensión, impresión 3D, máquina inyectora, mejora de tiempos, ahorro de costes.

## RESUM

El següent treball de fi de grau consisteix en el disseny, desenvolupament i implantació d'uns útils per la collida de les peces en una injectora de plàstic. En concret, els útils que s'utilitzen actualment, anomenats aprehensions, són de perfil·leria metá·lica i cargols, el que els fan pesats i voluminosos.

En el següent projecte s'exposa el desenvolupament d'unes noves aprehensions dissenyades a partir del propi motlle, de les peces que es requereixen recollir, i impreses en plàstic mitjançant l'ús d'una impressora 3D. Al llarg del projecte s'exposarà la informació necessària per al disseny de l'aprehensió y per a l'ús del programa de la impressora 3D.

Per últim, es realitzarà un estudi de temps i d'estalvi per defensar el desenvolupament d'aquest projecte.

**Paraules claus:** Aprehensió, impressió 3D, màquina injectora, millora de temps, estalvi de costos.

## **ABSTRACT**

The following final degree project consists of the design, development and implementation of some tools for the collection of the pieces in a plastic injector. In particular, the tools that are currently used, called robotic end hands, are made of metal bars and screws, which make them heavy and bulky.

The following project presents the development of new robotic end hands designed from the mold itself, from the pieces that need to be collected, and printed in plastic using a 3D printer. Throughout the project the necessary information for the design of the apprehension and for the use of the program of the 3D printer will be exposed.

Finally, a study of times and savings will be carried out to support the development of this project.

**Keywords:** Robotic end hand, 3D print, injection machine, times improvement, cost savings.



## **AGRADECIMIENTOS**

De inicio quisiera agradecer profundamente el apoyo otorgado por mi familia y mi pareja durante estos años de estudio y trabajo. Sin ellos no hubiese alcanzado las metas que me he propuesto ni superado los problemas que van surgiendo año tras año.

Por otro lado, agradecer también la ayuda y el apoyo otorgado por todos mis compañeros de la empresa Dr. Franz Schneider donde estuve realizado prácticas en el curso 2016/2017. Gracias a mis compañeros del departamento de Ingeniería de Procesos, del departamento de Mantenimiento, responsables de producción, reguladores y operarios.

También agradecer a mi tutora Ana María su gran ayuda e involucración en este proyecto.

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 OBJETO DEL PROYECTO

El siguiente Trabajo de Final de Grado consistirá en la implementación de mejoras de la recogida de piezas de una inyectora de plástico en una empresa del sector del automóvil. Más específicamente, estas mejoras se basarán en el desarrollo de unas aprehensiones plásticas con las que los robots cogen las piezas inyectadas y evitar el uso de las actuales aprehensiones formadas por perfilera metálica, las cuales son muy pesadas, caras y con partes móviles.

El objetivo de este trabajo será desarrollar nuevos prototipos de aprehensiones en base de polímero utilizando la tecnología de impresión 3D.

En primer lugar, se escogerán las referencias que presenten problemas de cogida de pieza u otros defectos ocasionados por la aprehensión para mejorar un proceso que lo requiera con urgencia.

En segundo lugar, utilizando el programa “SolidWorks” y los planos del molde de la pieza en cuestión, se diseñará una aprehensión que sea capaz de sujetar la pieza sin ocasionarle ningún defecto y con una precisión milimétrica.

Una vez diseñada, utilizando el programa “Cura”, volcaremos el archivo creado y modificaremos los parámetros de la impresora 3D dependiendo del material usado, calidad deseada, temperatura ambiente, etc.

A continuación, usaremos la impresora 3D para imprimir nuestra aprehensión.

Al terminar la impresión solo nos quedará planificar una prueba para la referencia escogida. En la prueba tendremos varias horas para que los técnicos logren programar el robot para que la cogida de la pieza funcione de forma exitosa y así poder pasar esa referencia a producción.

Para finalizar, realizaremos un estudio de tiempos y ahorro para calcular el beneficio otorgado a la empresa si se rediseñaran las aprehensiones elegidas.

En resumen, con el siguiente trabajo se pretende:

- Mejorar las aprehensiones de una inyectora de plástico, que presenten dificultad en la cogida de las piezas, por medio del diseño y la impresión 3D.
- Estudiar el potencial beneficio que tendría la empresa si se pudiera escalar el proyecto a todas o a un gran número de referencias que se inyectan en ella.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La realización de este proyecto presenta una triple justificación: profesional, académica y personal.

En primer lugar, la justificación profesional debido a que la empresa donde tuve el placer de realizar prácticas me brindó la oportunidad de formarme en la tecnología de impresión 3D y con ello tuve la satisfacción de llevar a cabo un proyecto ideado por mi y que otorgó a la empresa de otra salida para la creación de aprehensiones para nuevos proyectos de inyección.

El objetivo de la justificación académica es la obtención del título de Grado de Ingeniería Mecánica en la Universidad Politécnica de Valencia.

Por último, la justificación personal se resume en la satisfacción propia de haber logrado un reto de esta índole en una gran empresa y este reto ha supuesto la aplicación de los conocimientos adquiridos en estos años de estudio y en el año de prácticas.

## 2 LA EMPRESA

### 2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El Trabajo de Final de Grado se ha realizado en la empresa Dr. Franz Schneider S.A. situada en el polígono industrial de Picassent (Valencia, España).

La empresa se dedica a la fabricación de elementos plásticos para el interior del automóvil entre los cuales destacan: Aireadores, Ceniceros, Consolas, etc.

La planta de Picassent forma parte de una gran multinacional que cuenta con más de 3000 trabajadores en todo el mundo, teniendo plantas repartidas por Alemania, Estados Unidos, China, Polonia y España. La sede central se encuentra ubicada en Kronach (Alemania) y desde 1927 llevan inculcando en todas sus sedes los valores de la empresa.

- Dr. Schneider la excelencia en plásticos.
- Hacemos el coche el mejor lugar del mundo.

La planta de Picassent está formada por diez naves. Las naves 1, 2, 3 y 5 se utilizan exclusivamente para la inyección de piezas contando con más de 60 inyectoras, además de su pintado en la cabina de pintura de la nave 1. En la nave 7 se aloja una empresa de matricería que se encarga de las reparaciones y las modificaciones de los moldes que se utilizan en Schneider. Por otro lado, las naves 4, 6 y 9 son de almacenaje de productos acabados y de materias primas. Por último, en las naves 8 y 10 se ha creado una empresa paralela llamada CEE (Centro Especial de Empleo) donde personas con cierto grado de discapacidad, ya sea física o mental, reciben la oportunidad de un trabajo remunerado ejerciendo de operarios en la cadena de montaje de la empresa.

Como ayuda visual de la distribución de la empresa se puede observar en la Ilustración 1 la ubicación de cada una de las naves enumeradas.

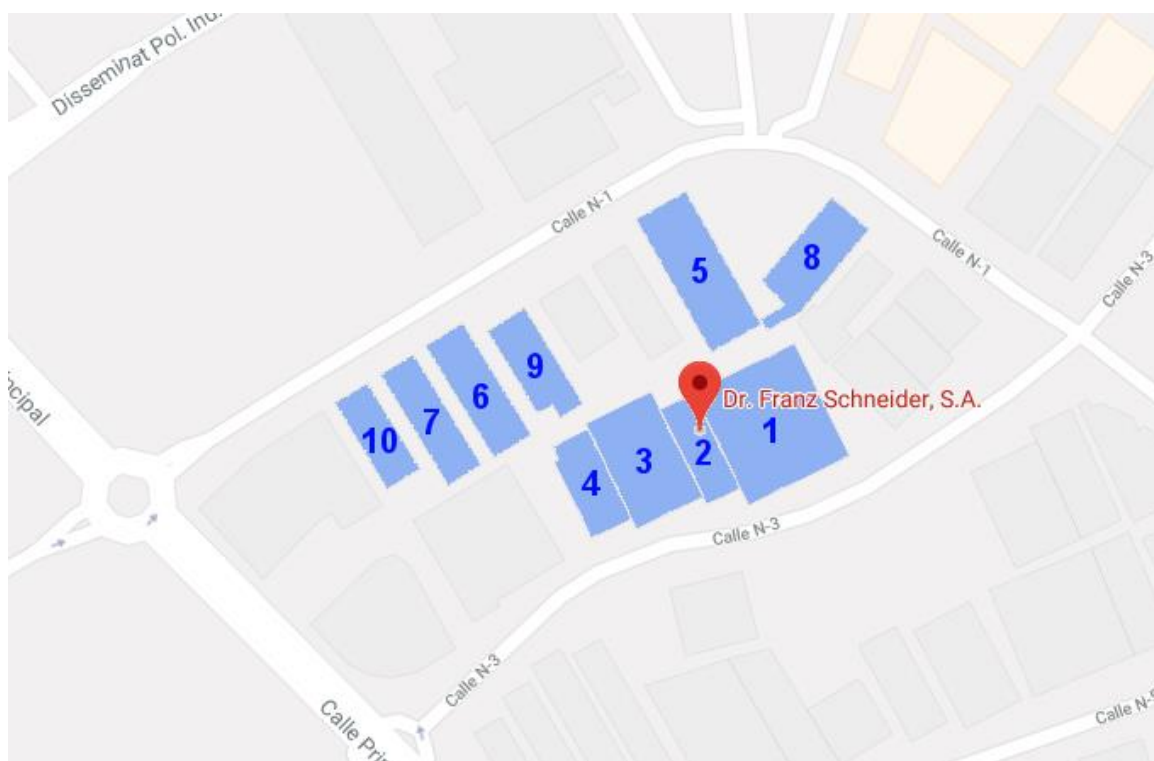


Ilustración 1 – Plano naves enumeradas Dr. Franz Schneider S.A.

## 2.2 PRODUCTOS

Los productos plásticos que se fabrican en la empresa se conforman en el proceso de inyección. Todos ellos están destinados para la industria del automóvil, para marcas como Ford, Seat, Volkswagen y Audi.

Se pueden distinguir tres tipos distintos de pieza dependiendo del post-proceso que se le aplique tras la inyección:

- Piezas inyectadas: La pieza sale completa del proceso de inyección, se embala y se manda a cliente sin ningún proceso a posteriori.
- Piezas pintadas: Son las piezas que después de ser inyectadas se envían a la zona de pintura para ser pintadas antes de enviar a cliente o de pasar a la cadena de montaje.
- Piezas montadas: Son piezas complejas que se forman ensamblando piezas inyectadas o pintadas. Una vez montadas se envían a cliente.

### 3 LA INYECCIÓN DE PLÁSTICO

#### 3.1 PROCESO DE INYECCIÓN

La fabricación de una pieza se realiza en una inyectora de plástico. Las hay desde 25 hasta 1600 Toneladas. Como ejemplo se fotografía la máquina número 370 de la Nave 2 de Dr. Franz Schneider y que se puede observar en Ilustración 2.



*Ilustración 2 – Inyectora Krauss Maffei 450Tn con robot Sepro*

Una inyectora de plástico consta de dos partes bien diferenciadas, que se pueden ver en Ilustración 3 y que son:

- Unidad de inyección: Compuesta por una tolva, por la que llega el material plástico en forma de granza, y el husillo por el cual se calienta y se extruye el material hasta llegar al molde.
- Unidad de cierre: La unidad de cierre se compone principalmente de una prensa hidráulica o mecánica que tiene como cometido cerrar el molde con una presión igual o mayor a la ejercida por el plástico al entrar en las cavidades del molde, con el objetivo de que no se abra el molde durante el proceso de inyección.

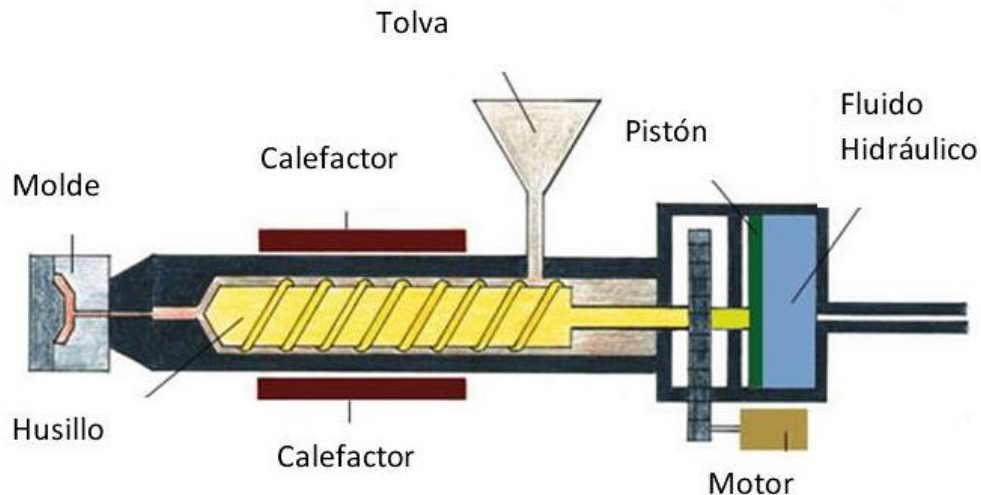


Ilustración 3 – Esquema de componentes de una inyectora de plástico.

### 3.2 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE PIEZA

Una vez terminado el ciclo de inyección, el molde se abre liberando las piezas para su extracción. Antiguamente la extracción se realizaba a mano, el operario entraba a la máquina y cogía las piezas, pero por razones más que obvias de seguridad laboral y por ahorro en los tiempos de ciclo esa práctica quedó obsoleta.

Por otro lado, existen dos métodos de extracción de pieza dependiendo de la complejidad de la pieza a extraer. Si se tratan de piezas de tamaño muy pequeño que no llevan tallo se puede optar por colocar una cinta mecánica debajo del molde y simplemente que los expulsores del dicho molde dejen caer las piezas a la cinta. Este proceso de extracción es muy rápido y barato de implementar pues no necesitas otra máquina que extraiga las piezas, simplemente se utiliza la cinta transportadora que lleva las piezas al operario. Por el contrario, si no está bien implementado o el molde tiene un mal mantenimiento, este método de extracción puede generar problemas si alguna de las piezas queda adherida al molde.

Si por el contrario son grandes piezas o piezas que lleven tallo (lo que hace necesario que se tenga que separar el tallo de la pieza de interés) la solución que se suele llevar a cabo es la instalación de un robot de tres ejes encima de la máquina. Estos robots recogen las piezas directamente del molde y las depositan en una cinta mecánica que se coloca al lado de la inyectora. Por razones de seguridad, tanto el área que cubre el robot como la cinta donde deposita las piezas están cubiertos por una jaula metálica para evitar que los operarios puedan acceder a zonas de riesgo.

Un ejemplo de esto se puede observar en la Ilustración 4 donde se ve como la máquina de inyección tiene un robot lineal dentro de una jaula de protección. La tarea de este robot es utilizar una aprehensión para la recogida de las piezas de inyección y la posterior dejada en la cinta transportadora que se puede ver también en la ilustración.



*Ilustración 4 – Robot Sepro con aprehensión rompe tallos.*

### 3.3 EL SISTEMA ACTUAL EN DR. FRANZ SCHNEIDER

Hoy en día, tanto en Dr. Franz Schneider como en otras fábricas del sector se utilizan los dos métodos expuestos en el punto anterior. Profundizando más en la extracción de piezas grandes o de geometría complicada, actualmente se utilizan unos elementos denominados “aprehensiones” o “mano presa” ubicadas en el extremo del brazo del robot de tres ejes que se encargan de sujetar la pieza mientras el robot las lleva del molde a la cinta. Estas aprehensiones tienen, en la gran mayoría de casos, dos elementos principales:

- Pinzas → Encargadas de sujetar los tallos o partes de la pieza no visible. La gran mayoría funcionan con unos 6 bares de presión de aire. Son muy versátiles pues hay infinidad de tipos de pinzas, variando sobre todo el tamaño y la forma de las palas. Un ejemplo de pinzas estándar son las que se observan en la Ilustración 5.



*Ilustración 5 – Pinzas estándar para aprehensiones robóticas marca ASS.*

- Ventosas → Encargadas de sujetar la pieza. Funcionan con -1 bar de presión. Si el robot no está preparado para suministrar vacío, se le tiene que incluir un Venturi para crear el vacío. A diferencia de las pinzas, todas las ventosas tienen prácticamente la misma forma, encontrándose de diferentes tamaños, desde pocos milímetros hasta grandes ventosas de varios centímetros, como se puede observar en la Ilustración 6. Una ventaja de las ventosas es el cuidado que tienen con la pieza, evitando ralladuras y marcas (hay que tener en cuenta que las piezas salen del molde a temperaturas cercanas a los 100°C y la cogida de la pieza tiene que realizarse con extremo cuidado o en puntos de la pieza que no sean críticos, como caras no vistas una vez montada).

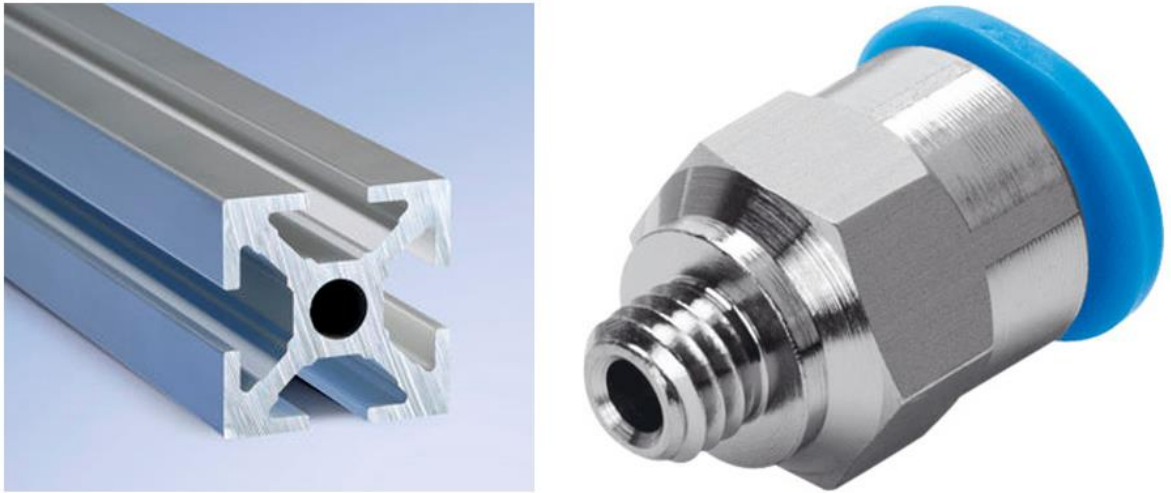


*Ilustración 6 – Diferentes ventosas para una aprehensión.*

Los demás elementos que forman la aprehensión son perfilaría metálica, tornillería, escuadras o elementos de sujeción para unir la perfilaría con los tubos y racores necesarios para llevar la presión y el vacío a pinzas y ventosas. La mayoría de los fabricantes de elementos para robótica suele utilizar perfilaría tipo MiniTec que facilita el montaje de todo tipo de componentes estándares, en la Ilustración 7 se puede ver un ejemplo de esta perfilaría además de un racor de M5 para tubo de diámetro 6, este tipo de racordaje es el más utilizado en aprehensiones para inyección por la facilidad que ofrece a la hora de conectar los tubos de aire neumático.

Un ejemplo de cómo fijar distintos tipos de componentes en estructuras tipo MiniTec se puede ver en la Ilustración 8.





*Ilustración 7 – Perfilería metálica tipo MiniTec y racor M5 para tubo de diámetro 6.*



*Ilustración 8 – Aprehensión Gimatic con distintos tipos de accesorios.*

Además de las aprehensiones convencionales (que cogen las piezas inyectadas y las dejan en la cinta) existe un tipo especial de aprehensión utilizado para piezas de inyección planas, como son las lamas de los aireadores. Este tipo de aprehensión se denomina rompe tallos.

Un rompe tallos es una aprehensión que, además de depositar las piezas sobre la cinta mecánica, tiene la capacidad de romper los tallos sobrantes de la pieza de inyección. Su forma es muy similar a una aprehensión convencional, la única característica que las difiere es una plancha de Nylon de 2 cm de espesor que llevan en la parte delantera para que el robot pueda aproximarse por completo

al molde y coger sin problemas las piezas (que al ser planas y finas presentan una dificultad añadida a su cogida).

La ventaja que presentan estas aprehensiones es que evitan el retrabajo por parte del operario de las piezas de inyección, el mismo robot empuja la aprehensión sobre una cuna con unas cuchillas que cortan los tallos de las piezas.

Por otro lado, una mejora que se realizó en todos los robots de la empresa es la utilización de discos de cambio rápido de aprehensión de la marca Gimatic como los presentados en la Ilustración 9. Estos discos reducen hasta en un 75% el tiempo de cambio de aprehensión y consiguen que los canales de presión y vacío se estandaricen (al contrario que pasa si en la empresa hay robots de distintas marcas). Estandarizando los canales de presión y vacío, un operario puede realizar un cambio de aprehensión sin la necesidad de saber donde conectar las mangueras de aire ya que se conectan automáticamente al presentar la aprehensión sobre el disco de cambio rápido.



*Ilustración 9 – Interfaz disco Gimatic para cambio rápido de aprehensión.*

Con esta mejora, una aprehensión que esté trabajando en una máquina determinada, no necesita ninguna modificación para poder trabajar en otra máquina. El diseño de la aprehensión tendrá que hacerse en base al disco grande o el pequeño de Gimatic dependiendo de la máquina donde vaya a trabajar.

Los encargados de montar el conjunto de la aprehensión son los técnicos de mantenimiento especializados en robótica. Su labor en la empresa suele basarse en la programación de los robots que se encargan de la extracción de la pieza y en el montaje de las aprehensiones correspondientes para cada molde.

Actualmente, cuando se va a incorporar a la inyección una referencia nueva, se planifica una prueba. En esa prueba que suele durar, de unas horas hasta un turno entero, los técnicos de inyección se encargan de determinar los parámetros de la inyectora y los técnicos de mantenimiento se encargan del montaje de la aprehensión y de la programación del robot.

### 3.3.1 PROBLEMAS DEL SISTEMA ACTUAL

Se ha observado que se pierde mucho tiempo ajustando la aprehensión tras entrar el molde por primera vez a inyectar.

Por otro lado, la cantidad de perfiles metálicos y tornillería de la que se componen las aprehensiones hace que sean muy pesadas, lo que resta vida útil del robot al tener que mover un elemento de mayor peso y debido al peso aparecen vibraciones que generan problemas en la cogida de las piezas. Además, uno de los problemas más graves es que la sujeción de los elementos, a pesar de estar fuertemente apretados con tornillos y tuercas con auto frenado, no se asegura una fijación correcta a medio/largo plazo. Con el paso del tiempo, se van generando holguras entre los componentes, ya sea por golpes o por desgaste. Esto provoca que, la aprehensión pierda las cotas y, por lo tanto, no sujete bien la pieza, por lo que necesitan de unas revisiones periódicas para corregir este fallo.

Los rompe tallos, si cabe, son unas aprehensiones todavía más pesadas que las convencionales por la gran cantidad de perfilería metálica que incorporan y por la plancha de Nylon que llevan en la parte delantera. Otro problema que presentan es la suciedad que generan al romper los tallos automáticamente, estos caen al suelo, salen impulsados por las cuchillas y se incrustan en la propia aprehensión ocasionando fallos en cogidas posteriores.

## 4 PROPUESTA DE MEJORA

### 4.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

La mejora propuesta al problema anteriormente descrito consiste en crear una aprehensión en un material mucho más ligero y capaz de resistir la temperatura de extracción de un molde, además de crearla de forma que la aprehensión resultante sea capaz de mejorar tiempos de ciclo de inyección.

Aprovechando el sector de la empresa, se ha pensado en utilizar el plástico como materia prima de las nuevas aprehensiones y la mejor opción para realizar prototipos de aprehensiones con formas complejas y diversas con plásticos son las impresoras 3D. Actualmente el mundo de la impresión 3D ha subido de forma exponencial y ha llegado a puntos tales como la impresión de infinidad de plásticos, madera, nylon, etc. Simplemente con una pequeña inversión para una empresa de cabida internacional se puede obtener una herramienta capaz de reproducir los diseños necesarios para la función en cuestión.

Para llevar a cabo esta mejora se necesita diseñar una aprehensión con el uso del software adecuado e imprimirla en una impresora 3D con el objetivo de evitar las partes móviles, el peso del metal y los futuros desajustes de la aprehensión.

Además, con la ayuda de los planos del molde en 2D y 3D se podría tener la aprehensión completa y preparada antes de que entre en producción. Así, las horas de diseño y montaje de la aprehensión son horas externas a la producción y no hay necesidad de parar varias horas una máquina para producirla.

Por otro lado, en los rompe tallos se podría, además, reducir el espesor de la aprehensión lo que se traduciría en una disminución de la apertura de la máquina y un ligero ahorro de tiempo de ciclo.

En definitiva, con la libertad que ofrece un programa de diseño y una impresora 3D se pueden diseñar aprehensiones más livianas y estrechas que no permiten futuros desajustes ya que son una pieza sólida de material y disminuyen ligeramente el tiempo de ciclo, lo que permite ahorro económico a largo plazo.

### 4.2 DISEÑO POR ORDENADOR Y MUESTRA DE EJEMPLO

Para desarrollar el proceso de diseño se utilizará como modelo el diseño de la aprehensión 10900-023.

Como punto de partida, se debe obtener el plano 3D del molde que requiere la aprehensión. Al abrir ese molde en SolidWorks se observa la ingente cantidad de piezas que lo componen, como se observa en la Ilustración 10. Para el diseño de la aprehensión se deberá eliminar los conjuntos y piezas de la periferia de las caras negativas de la pieza inyectada. Estas piezas pueden eliminarse directamente del árbol de piezas u ocultarse.

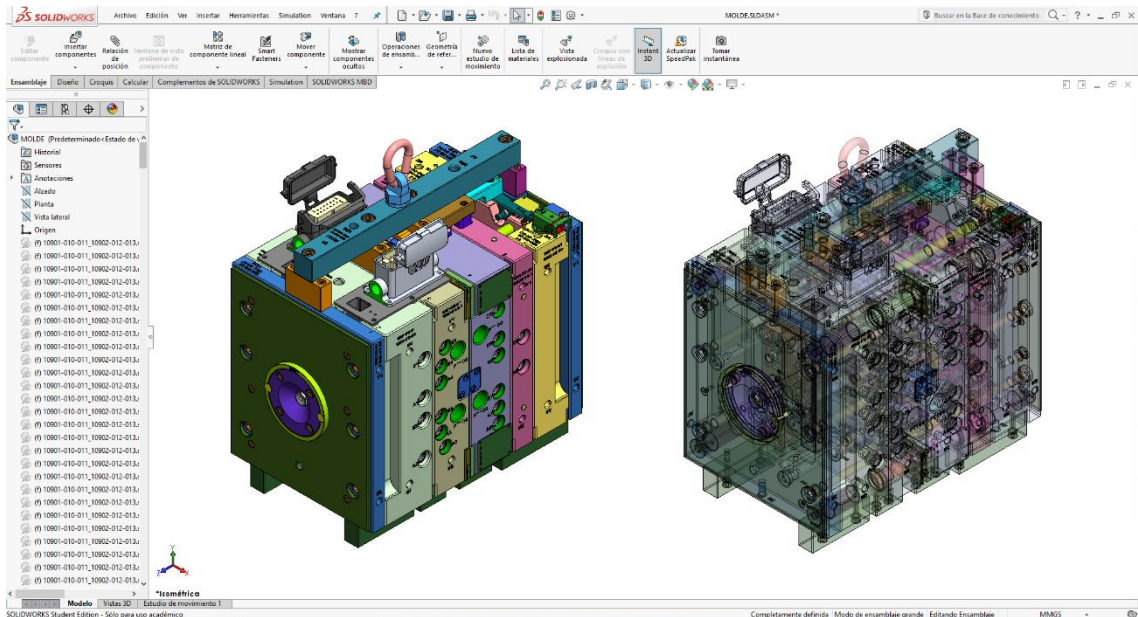


Ilustración 10 – Diseño 3D - Molde 10900-023 en Solidworks

Una vez se hayan eliminado las piezas innecesarias, el aspecto del molde debería quedarse como indica la Ilustración 11. Como se observa, en el interior del molde se hayan 2 (o 4 piezas en este caso) que forman los negativos de la pieza inyectada. Estas piezas son las que se utilizarán como modelo para la aprehensión.

Las dos partes se diferencian en que una queda en la parte fija del molde y la otra está unida a la parte móvil. La parte móvil es la que se abrirá una vez finalizado el proceso de inyección y retendrá la pieza a la espera de ser cogida por la aprehensión.

Una forma sencilla de diferenciar ambas partes es viendo el punto de inyección, como se observa en la Ilustración 11, el punto de inyección es la oquedad rodeada en color ámbar. Por otro lado, la parte móvil tendrá los alojamientos para los expulsores de la pieza. Los expulsores son partes cilíndricas móviles que sirven para empujar la pieza de inyección y facilitar su extracción.

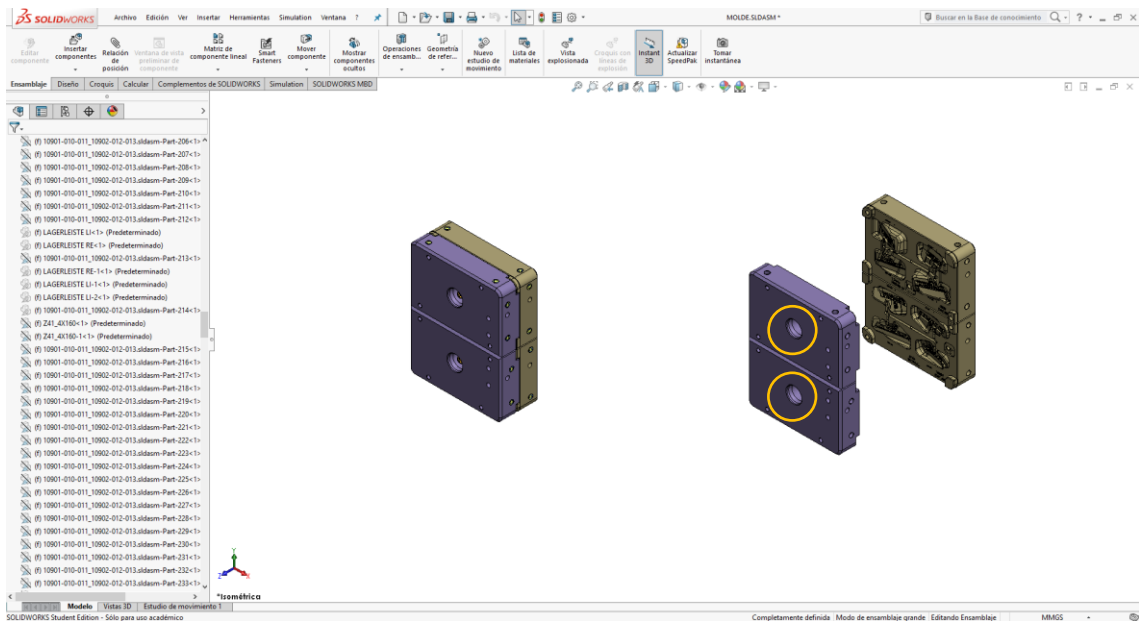


Ilustración 11 – Diseño 3D - Caras internas del molde, negativo de las piezas inyectadas

Las piezas quedarán retenidas en la parte móvil por lo que la parte que se debe utilizar como modelo es la fija.

Se seleccionan en este caso las dos partes fijas y se crea un ensamblaje aparte para no modificar los planos originales del molde.

Como en el caso de estudio son dos partes, la primera tarea a realizar es la unión de estas utilizando la herramienta: Relaciones de posición. En la Ilustración 12 se observa como al relacionar la cara inferior y superior de las piezas 1 y 2, respectivamente, se crea una coincidencia de plano, posteriormente se completan las relaciones de posición de todos los ejes para fijar ambas partes en la posición correcta.

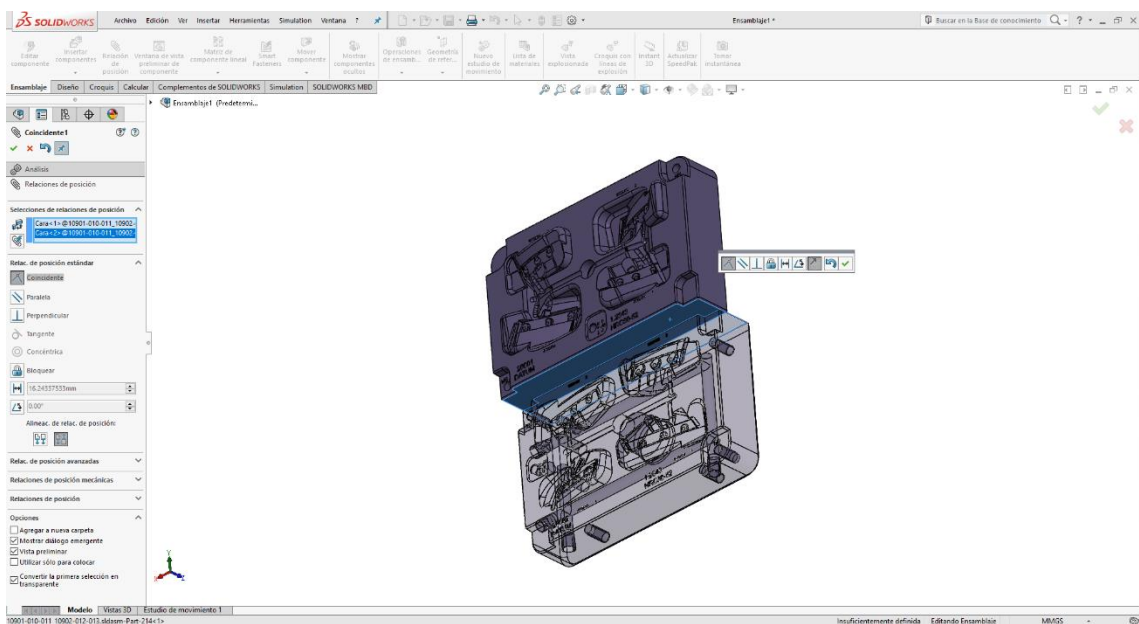


Ilustración 12 – Diseño 3D - Piezas de la parte fija del molde

Las piezas de los moldes de inyección están llenas de conductos de refrigeración, el siguiente paso a realizar es comprobar el interior de la pieza. En la Ilustración 13 se puede observar la cantidad de conductos internos que tiene la pieza seleccionando la opción: Cambiar Transparencia.

Se deben rellenar todos los conductos con operaciones de Extrusionado para conseguir una pieza sólida internamente capaz de alojar futuros conductos y soportes que se diseñen.

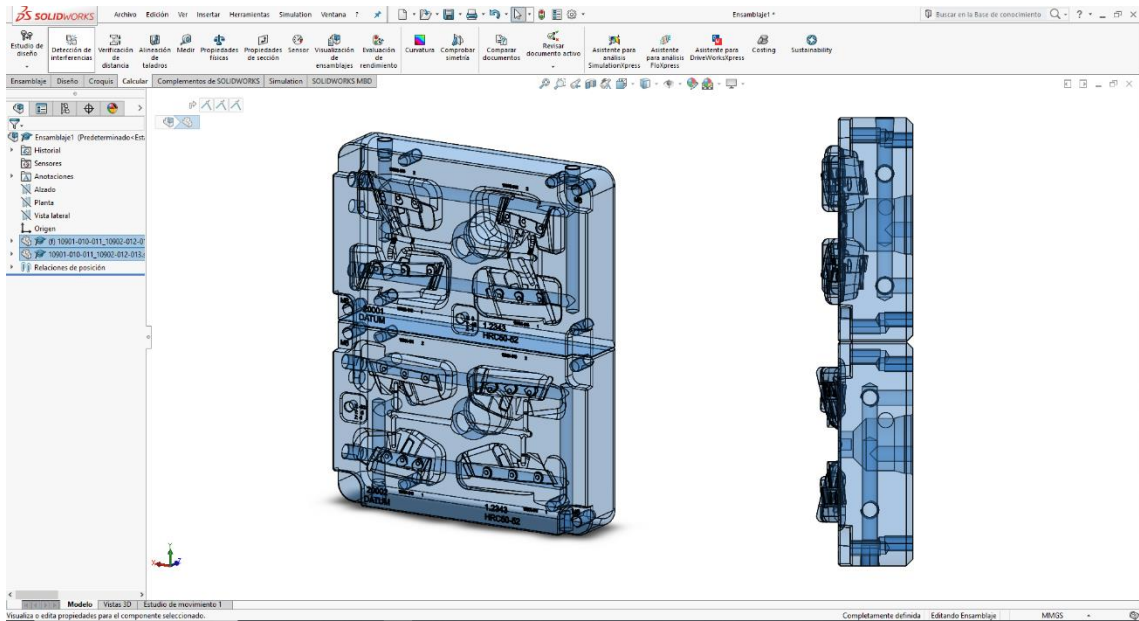


Ilustración 13 – Diseño 3D – Pieza en transparencia

Una vez preparada la pieza para diseñar la aprehensión, se comenzará con la elección de los distintos componentes que llevará la aprehensión para las tareas de sujeción de las piezas, recogida y suelta de los tallos de inyección y otros elementos si los hubiese.

Con el objetivo de la cogida y suelta de los tallos de inyección, en el modelo de estudio, se han seleccionado las pinzas PB-0008 de la marca Gimatic por su pequeño tamaño y su fácil colocación en la aprehensión con sólo un tornillo. En el catálogo de la marca ofrecido en la Ilustración 14, se observan las dimensiones que se tendrán en cuenta a la hora de diseñar, en este caso son largo, alto y ancho de la pinza en su posición más desfavorable que es la pinza abierta en reposo.


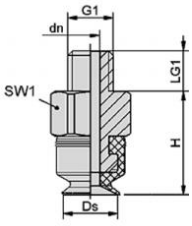
Las medidas de la pinza son:

- Largo = 55,4 mm
- Ancho = 21 mm
- Alto = 10 mm





**Ventose piane con nipplo** **Flat vacuum cups with nipple**

Ventosa Vacuum cup	Nipplo Nipple	G1 [mm]	dn [mm]	Ds [mm]	H [mm]	LG1 [mm]	SW1 [mm]	R [mm]	V [cm³]	m [g]	F [N]	
WS.PFYN2NBR55M3AG	VS.PFG2NBR55N003	AVS.N003M3AG100	M3	1	2	6	3.17	5	2	0.001	0.28	0.12
WS.PFYN2SI55M3AG	VS.PFG2SI55N003	AVS.N003M3AG100	M3	1	2	6	3.17	5	2	0.001	0.28	0.12
WS.PFYN3.5NBR55M3AG	VS.PFG3.5NBR55N003	AVS.N003M3AG100	M3	1	3.5	6	3.17	5	8	0.002	0.48	0.42
WS.PFYN3.5SI55M3AG	VS.PFG3.5SI55N003	AVS.N003M3AG100	M3	1	3.5	6	3.17	5	8	0.002	0.58	0.42
WS.PFYN5HT160M5AG	VS.PFG5HT160N004	AVS.N004M5AG200	M5	2	5	11.5	4.5	8	8	0.005	1.25	0.75
WS.PFYN5NBR55M5AG	VS.PFG5NBR55N004	AVS.N004M5AG200	M5	2	5	11.5	4.5	8	8	0.005	1.25	0.75
WS.PFYN5SI55M5AG	VS.PFG5SI55N004	AVS.N004M5AG200	M5	2	5	11.5	4.5	8	8	0.005	1.25	0.75
WS.PFYN8HT160M5AG	VS.PFG8HT160N004	AVS.N004M5AG200	M5	2	8	12	4.5	8	10	0.03	1.25	2.3
WS.PFYN8NBR55M5AG	VS.PFG8NBR55N004	AVS.N004M5AG200	M5	2	8	12	4.5	8	10	0.03	1.25	2.3
WS.PFYN8SI55M5AG	VS.PFG8SI55N004	AVS.N004M5AG200	M5	2	8	12	4.5	8	10	0.03	1.25	2.3
WS.PFYN10HT160G18AG	VS.PFG10HT160N004	AVS.N004G18AG200	1/8	2	10	12.5	8	14	13	0.07	4	4
WS.PFYN10HT160M5AG	VS.PFG10HT160N004	AVS.N004M5AG200	M5	2	10	12.5	4.5	8	13	0.07	1.36	4
WS.PFYN10NBR55G18AG	VS.PFG10NBR55N004	AVS.N004G18AG200	1/8	2	10	12.5	8	14	13	0.07	4.1	4
WS.PFYN10NBR55M5AG	VS.PFG10NBR55N004	AVS.N004M5AG200	M5	2	10	12.5	4.5	8	13	0.07	1.25	4
WS.PFYN10SI55G18AG	VS.PFG10SI55N004	AVS.N004G18AG200	1/8	2	10	12.5	8	14	13	0.07	4.11	4

Ilustración 15 – Catálogo de ventosas Gimatic, selección de ventosa

Para el alojamiento de las ventosas se utilizarán tuercas estándares de la misma métrica que la rosca de las ventosas. En la Ilustración 16 se observan las dimensiones de alto y diámetro exterior de la tuerca de M5. Se diseñarán los alojamientos en base a estas dimensiones y la forma de colocación de las tuercas podrá ser de las siguientes maneras:

- Embebida en el plástico. (proceso que requiere de un control maestro de la máquina de impresión 3D pero que asegura una fijación perfecta de la rosca).
- Insertada posteriormente. (proceso que requiere de algún tipo de adhesivo metal-plástico para asegurar la fijación de la tuerca pero que al realizarse después de la impresión no invade la impresión y evita posibles fallos en esta).

Tabla de medidas  
Plano  
Medidas - Tuerca hexagonal DIN-934

d (diámetro caña)	D (diámetro cabeza)	h (altura cabeza)
M-3	5,50	2,40
M-4	7,00	3,20
M-5	8,00	4,00
M-6	10,00	5,00
M-7	11,00	5,50
M-8	13,00	6,50
M-10	17,00	8,00
M-12	19,00	10,00

Los datos se muestran en milímetros (mm) ¿necesitas tuercas especiales / a medida ?

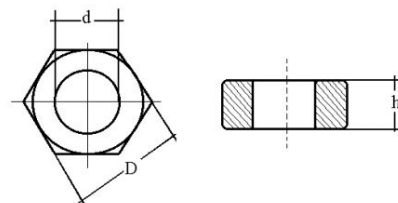


Ilustración 16 – Dimensiones normalizadas tuerca M5

Una vez seleccionado el tipo de pinza, realizar los alojamientos para éstas de forma que no se invada ninguna cavidad de pieza inyectada para evitar colisiones al aproximarse la aprehensión al molde. En el modelo de estudio se ha optado por la colocación de dos pinzas para la cogida de los dos tallos que inyecta este molde, se han colocado entre las cavidades de las piezas inyectadas como se observa en la Ilustración 17, el tamaño de los alojamientos se han realizado en base a las dimensiones de las pinzas.

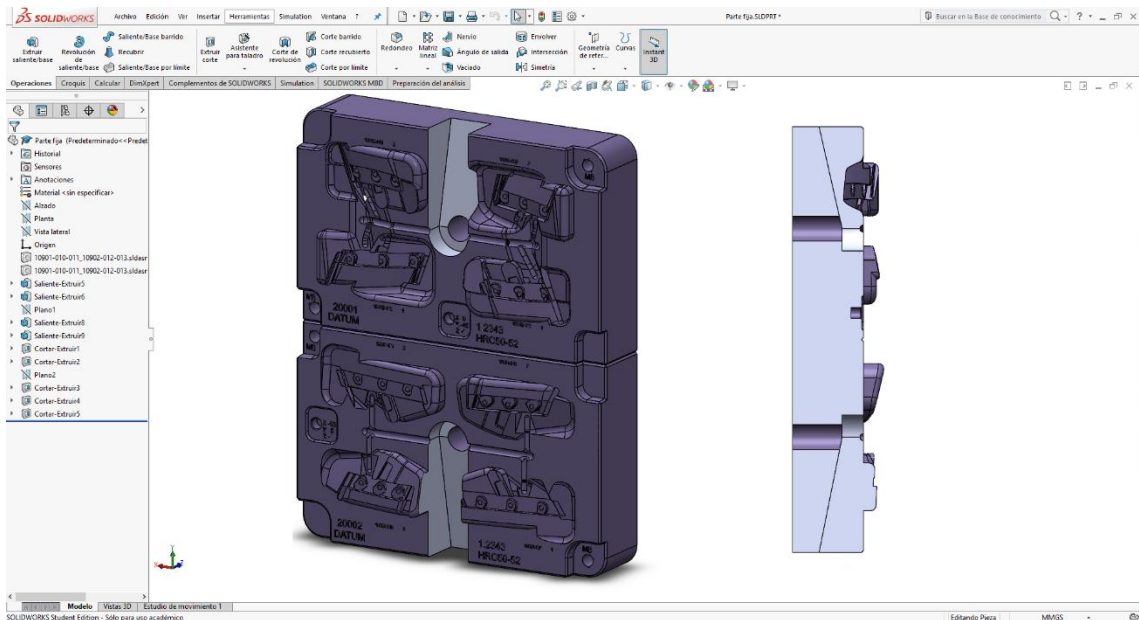


Ilustración 17 – Diseño 3D – Chaflán para el alojamiento de las pinzas

Para el dimensionamiento de los alojamientos de las ventosas se debe seleccionar la posición que tendrán las ventosas en la aprehensión.

Para el modelo en estudio, en la Ilustración 18 se ha resaltado en color azul las caras planas de las piezas inyectadas, como se observa, las piezas no son completamente planas, tienen unas protuberancias que dificultan la cogida. Para coger cada pieza se colocarán dos ventosas que cogerán la pieza por su cara plana evitando esas protuberancias, en la pieza de la derecha de la Ilustración 18 se observan los puntos donde irán las ventosas.

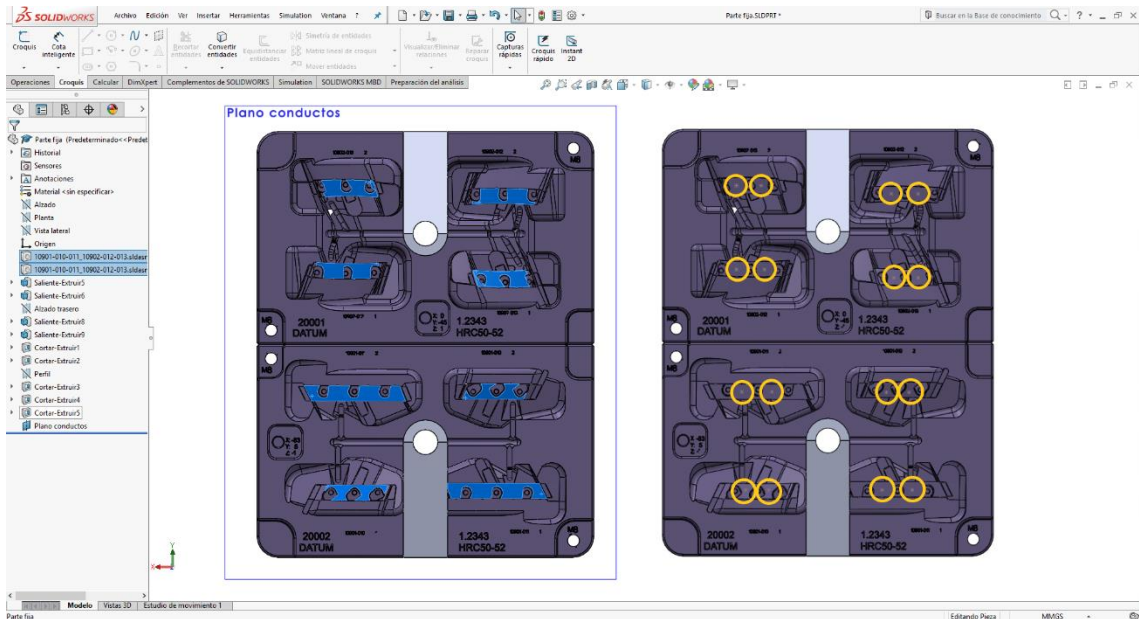


Ilustración 18 – Diseño 3D – Caras planas de las piezas inyectadas y ubicación de ventosas

Una vez seleccionados los puntos donde deben ir las ventosas, utilizamos esos puntos para dimensionar los conductos de aspiración. Los conductos recorrerán internamente la aprehensión, por eso es muy importante la eliminación de los agujeros y conductos que tiene la pieza original, así se evitan intersecciones entre conductos que generarían pérdidas de presión y fugas en el sistema.

El diámetro de los conductos se escoge en base al tamaño de las ventosas y al tipo de racor utilizado. En el caso del modelo, se utilizan racores de M5 tanto para la sujeción de las ventosas como para las pinzas, por lo tanto, el diámetro de los conductos es de 5mm.

Como se observa en la Ilustración 19, primero se realiza el ruteado de los conductos de ambas partes de la aprehensión y luego con operaciones Corte Barrido o Corte Revolución se realiza el vaciado de los conductos. Para evitar posibles puntos de fuga o pérdida de presión, el extremo final de los conductos conviene suavizarla con la operación de Redondeo para no generar cantos rectos.

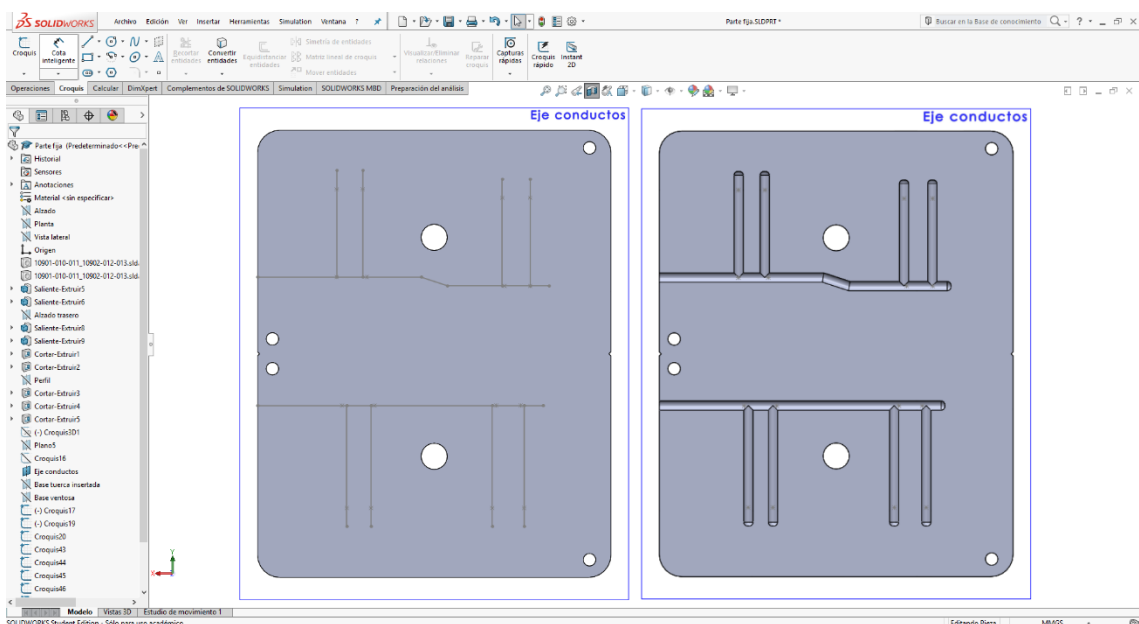


Ilustración 19 – Diseño 3D – Ruteado de conductos de vacío

Después de realizar los conductos inferiores, se realizan los conductos verticales en las posiciones de las ventosas. En la Ilustración 20 se observan los conductos de la primera pieza de inyección, para este modelo hay que realizar la misma operación en cada una de las piezas que contiene el molde. Para la realización de estos conductos se utiliza la operación de Corte Barrido o Corte Revolución igual que en los anteriores.

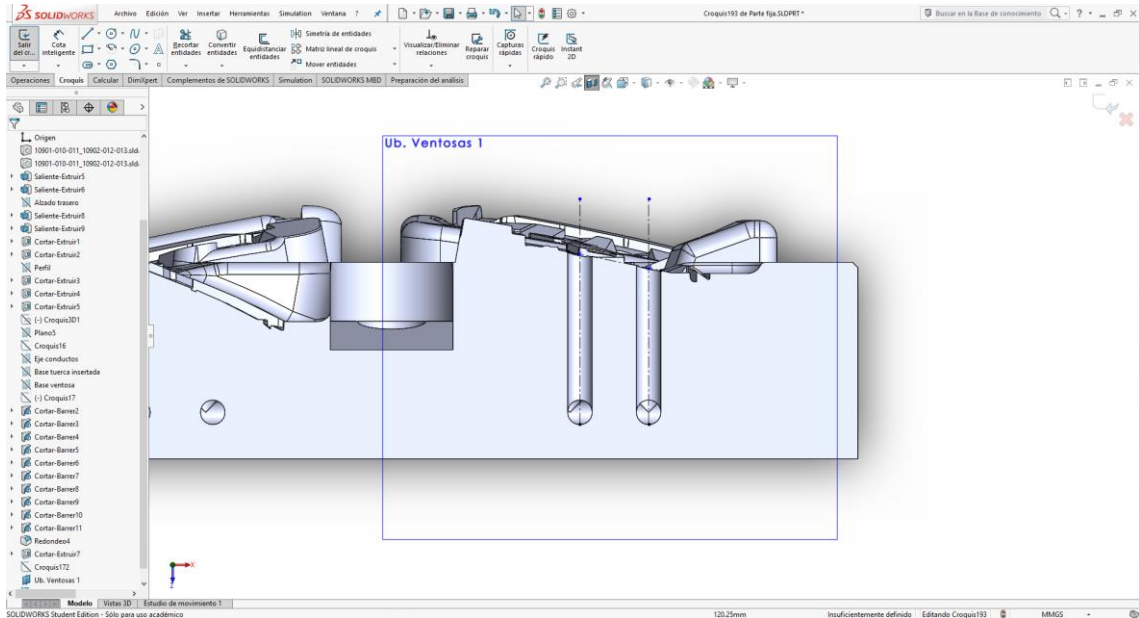


Ilustración 20 – Diseño 3D – Ruteado conductos verticales de vacío

Al realizarse el vaciado de todos los conductos la visión general de la aprehensión debería ser como la mostrada en la Ilustración 21. En ella se observa, a la izquierda como salen los conductos por las caras planas de cada pieza como se había diseñado y en la derecha se observan todos los conductos por dentro de la aprehensión al utilizar la opción de Cambiar Transparencia.

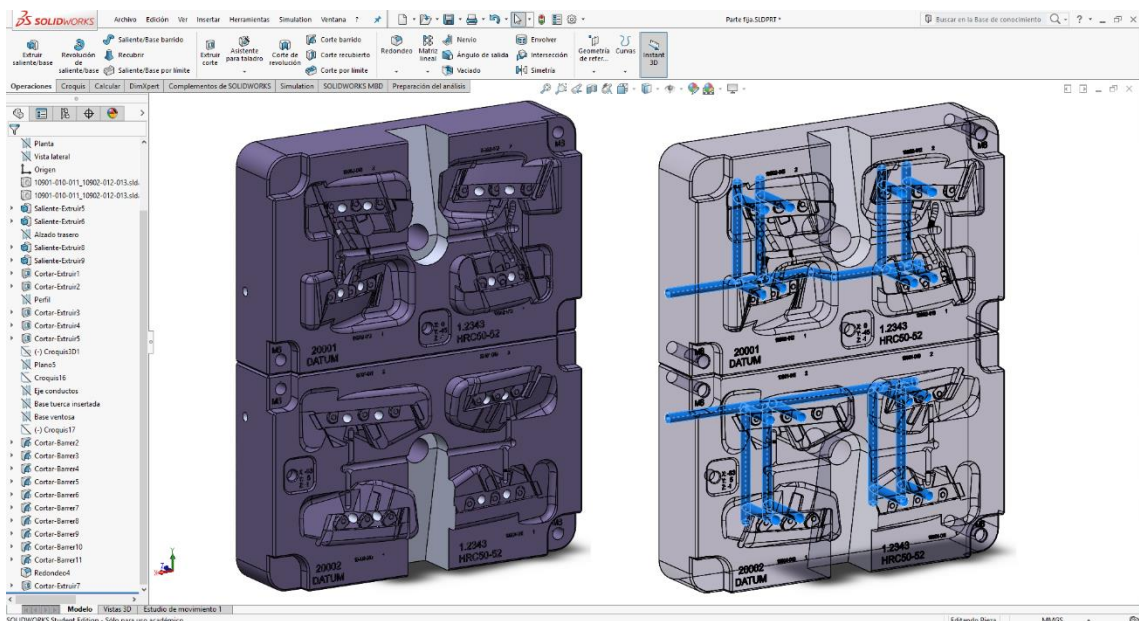


Ilustración 21 – Diseño 3D – Vista en transparencia de los conductos de vacío

El siguiente paso por realizar son los alojamientos para las ventosas. Para ello hay que recordar el valor H (Altura desde el soporte de la ventosa hasta el extremo) de la ventosa seleccionada. En el modelo de estudio se ha escogido una ventosa con un  $H = 11,50\text{mm}$ . Además, también hay que tener en cuenta el diámetro de la tuerca seleccionada, en este caso M5 con un  $D = 8\text{mm}$ .

Con estos dos valores se puede realizar el alojamiento cilíndrico de cada ventosa. En el croquis de la Ilustración 22 están representados rodeados con un círculo color ámbar los puntos donde la ventosa tiene que sujetar la pieza inyectada. Como se puede observar se ha delimitado una zona de  $10\text{mm}$  de ancho para dar suficiente espacio a la tuerca y la ventosa y  $10,50\text{mm}$  de alto para que, al colocar la ventosa, ésta sobresalga  $1\text{mm}$  por la superficie para que la pieza apoye sobre la ventosa y se asegure un buen contacto ventosa/pieza.

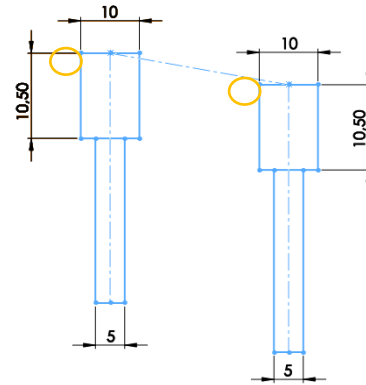


Ilustración 22 - Cálculo de alojamiento para ventosas

Esta idea debe representarse en la aprehensión como indica la Ilustración 23, en cada pieza inyectada se tienen que realizar los alojamientos para las ventosas del tamaño indicado en el croquis anterior. El vaciado se puede realizar con las operaciones de Extruir Corte o Corte Revolución.

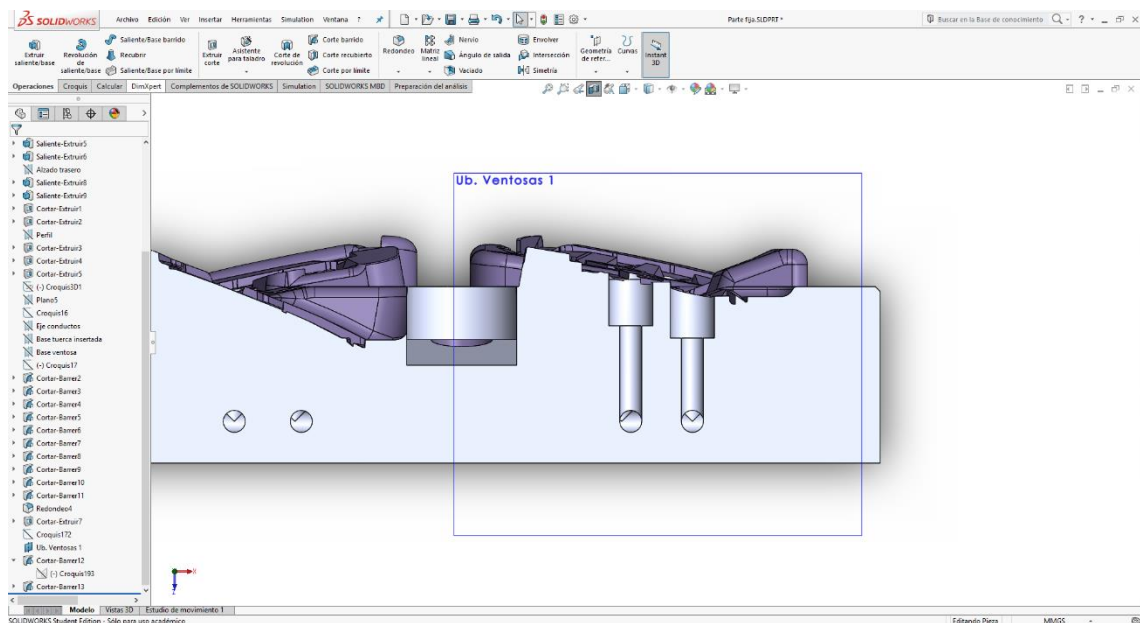
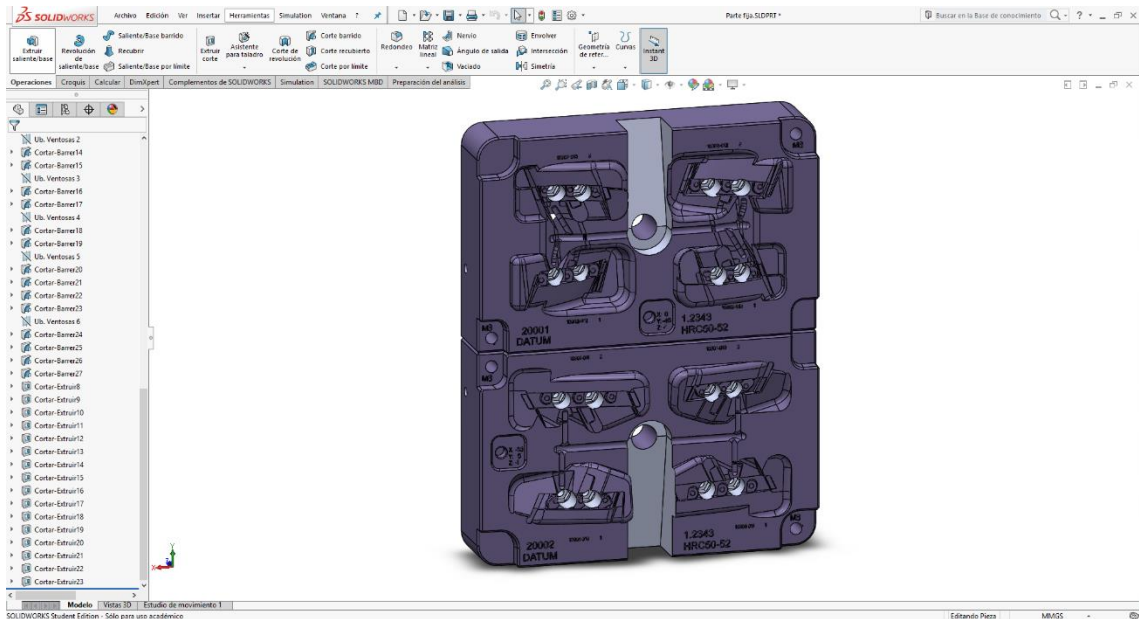


Ilustración 23 – Diseño 3D – Vaciado de los alojamientos para las ventosas

Una vez realizados los alojamientos de las ventosas hay que presentar los huecos para las tuercas en la base de estos. Para ello se realiza un vaciado hexagonal de las dimensiones de la tuerca M5 en este caso. En la Ilustración 16 indicaba que las dimensiones estándares de las tuercas M5 eran  $D = 8\text{mm}$  y  $h = 4\text{mm}$ .

Se realizarán vaciados para las tuercas en todas las bases de los alojamientos para ventosas dando como resultado una visión de la aprehensión como la Ilustración 24.

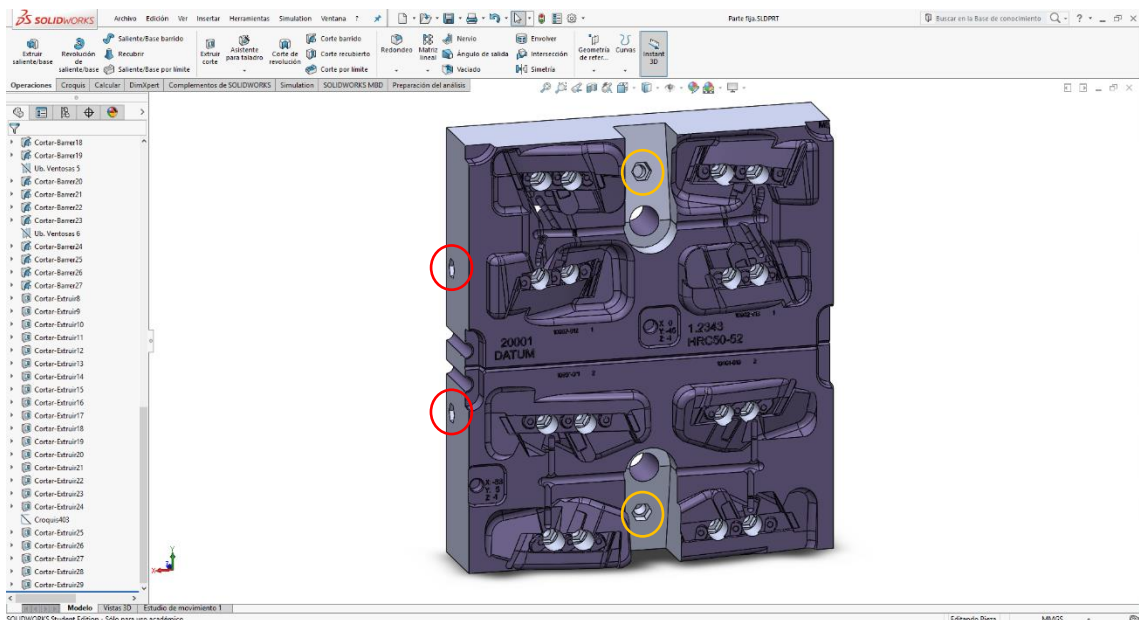
Para realizar los vaciados se puede utilizar la operación de Extruir Corte.



*Ilustración 24 – Diseño 3D – Aspecto general de la aprehensión con los tubos internos realizados*

Llegados a este punto se puede realizar un vaciado general de material para ahorrarnos costes de material y tiempo de impresión. Se recomienda disminuir el tamaño de la aprehensión recortando los laterales como se puede observar en la Ilustración 25. Tener en cuenta que no debe recortarse en exceso hasta invadir el espacio de las piezas inyectadas.

Una vez eliminado el exceso de material, realizar en las entradas de los conductos vaciados hexagonales para insertar las tuercas que sujetarán los racores neumáticos (rodeado en rojo en la Ilustración 25). También realizar vaciados hexagonales para insertar las tuercas que fijarán las pinzas en sus alojamientos (rodeado en ámbar en la misma ilustración).



*Ilustración 25 – Diseño 3D – Alojamiento hexagonal para tuercas M5 embebidas o insertadas*

Para dejar más limpia la aprehensión y evitar aristas vivas, que puedan dañar al operario a la hora de montarla en el robot, eliminar todas las escrituras que vienen con la pieza original. Además, utilizar la operación Redondeo para redondear o chaflanar las aristas de la aprehensión.

En el caso de la aprehensión de estudio debe quedarse como la Ilustración 26.

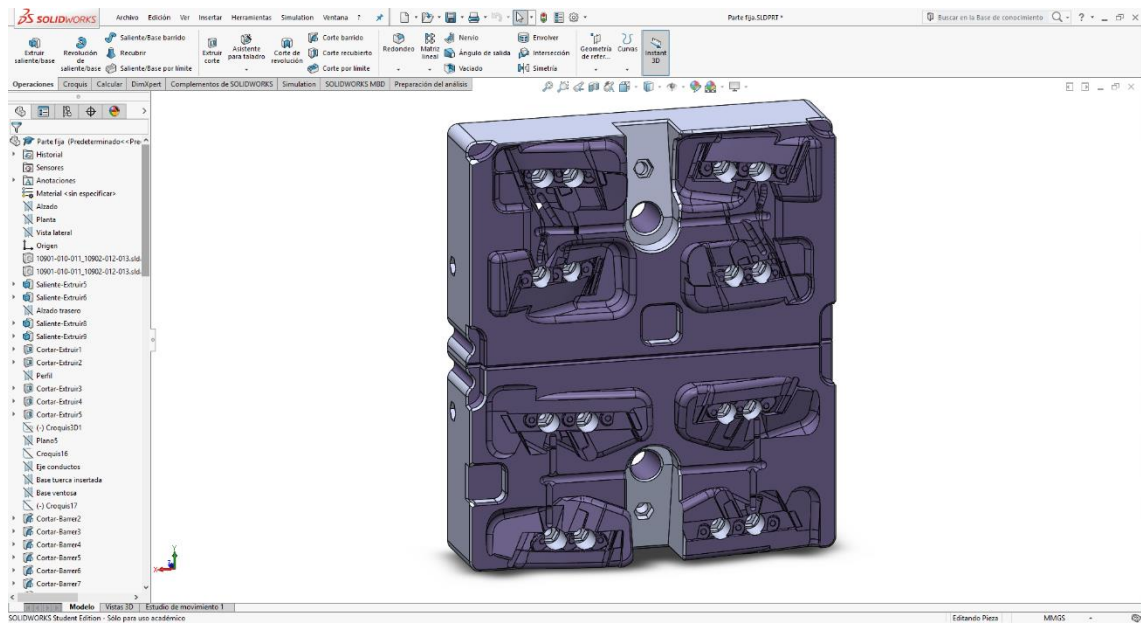


Ilustración 26 – Diseño 3D – Aspecto general de la aprehensión después de eliminar el material sobrante

Por último, hay que realizar los agujeros que permitirán introducir tornillería para fijar la aprehensión a la interfaz del disco de cambio rápido.

En la Ilustración 27 están rodeados con un círculo ámbar. Para la interfaz estándar de la marca Gimatic se realizarán taladros para tornillería M6. Realizar el taladro como mínimo de 1 cm de profundo para asegurarse de que la cabeza del tornillo queda introducida completamente en la aprehensión y no hay riesgo de impacto contra el molde.

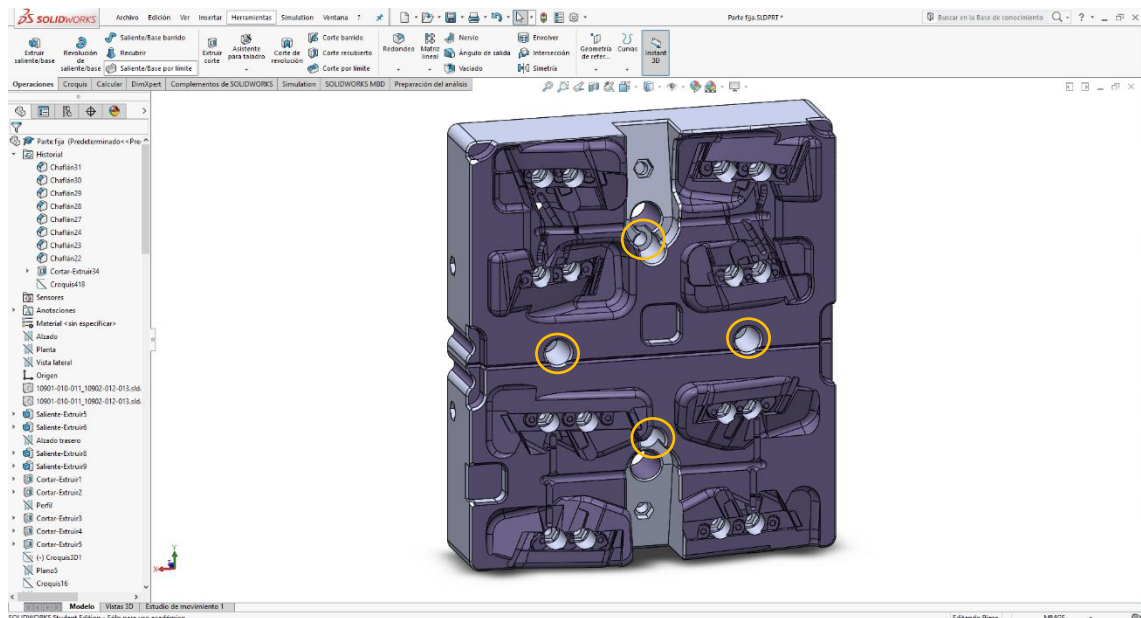


Ilustración 27 – Diseño 3D – Taladros para la unión de la aprehensión con la interfaz del cambio rápido

Teniendo los archivos de las pinzas y las ventosas escogidas es posible incluirlas en el ensamblaje de SolidWorks.

Una vez se ha realizado el diseño de la aprehensión, es recomendable insertar todos los componentes para comprobar que no hay interferencias y que quedan donde previamente habíamos pensado.

En la Ilustración 28 tendríamos el ejemplo de la aprehensión que hemos utilizado como modelo de estudio. Esta aprehensión incluye los siguientes elementos:

- (x1) Aprehensión 10900-023 (Impresa en 3D)
- (x2) Pinza PB-0008 (Gimatic)
- (x16) Ventosa WS.PFYN5SI55M5AG (Gimatic)
- (x20) Tuercas M5 insertadas
- Racores y tubo neumático (no representado en 3D)

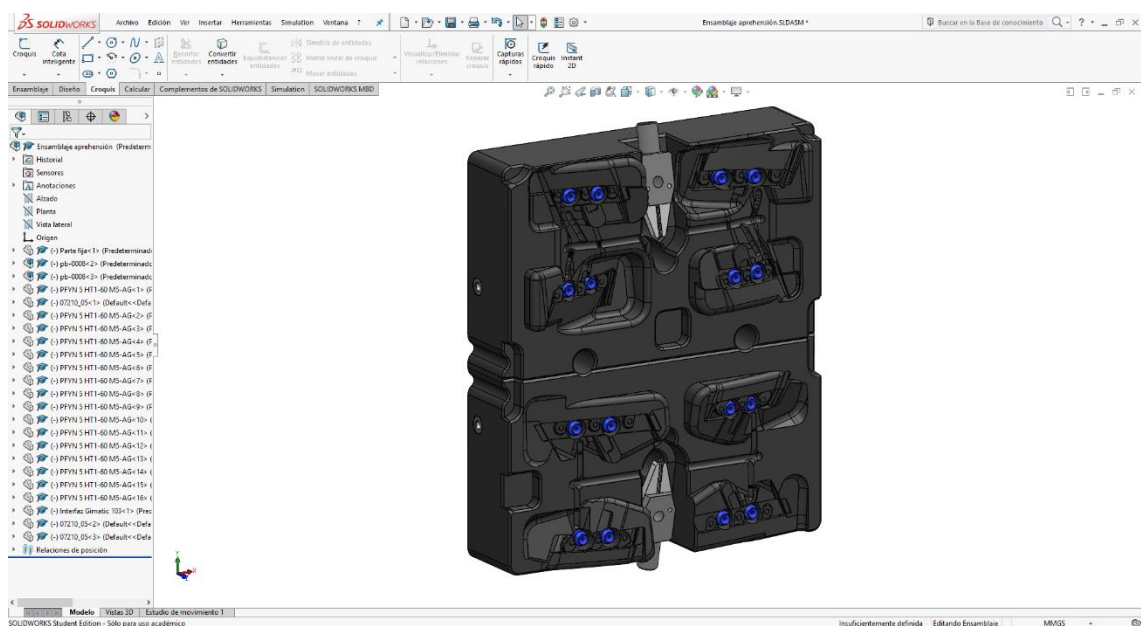


Ilustración 28 – Diseño 3D – Aspecto general de la aprehensión con pinzas y ventosas colocadas

## 4.3 USO DEL PROGRAMA CURA PARA LA IMPRESIÓN 3D

### 4.3.1 INSTALACIÓN Y PRIMEROS AJUSTES

Para iniciar la instalación del programa CURA, descargar y abrir el instalador, ejecutar el asistente de instalación para completar la instalación. Los requisitos del sistema operativo en el que se quiere instalar CURA son los siguientes:

- Windows Vista o superior, 32 y 64 bits.
- Mac OSX 10.7 o superior, 64 bits.
- Ubuntu 14.04 o superior, 64 bits.

Los requisitos mínimos del sistema son los siguiente, aunque se recomienda el uso de mejores computadoras para mayores modelos de impresión.

- Chip gráfico compatible con OpenGL 2.
- Intel Core 2 o AMD Athlon 64 o posterior.



Al abrir CURA por primera vez, aparecerá un listado de impresoras 3D para seleccionar la utilizada. En el caso del modelo de estudio se realizó con la Ultimaker 2+.

Si la impresora no aparece en el listado, se puede seleccionar una impresora Custom y como norma general, en la página web del fabricante aparecen las características que hay que añadir en el programa para esa impresora.

Para cargar el modelo a imprimir, hacer clic en el botón “Abrir archivo” en la esquina superior izquierda de la pantalla, como se observa en la Ilustración 29. Seleccionar el modelo que se desea imprimir, guardado en archivo “.stl”, y el modelo se cargará y se mostrará en el medio de la interfaz del programa.

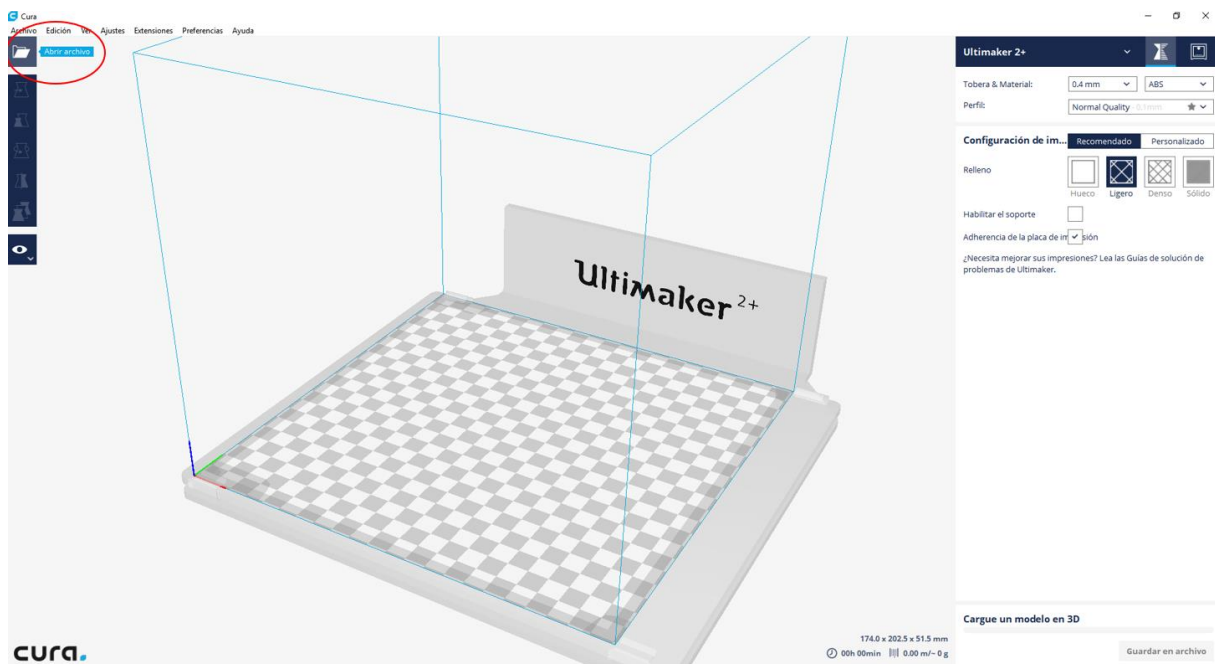


Ilustración 29 – Configurador impresora – Interfaz general del programa Cura, rodeado en rojo „Abrir“

Al cargar el modelo se puede seleccionar los ajustes que se desean utilizar para la impresión 3D. En el panel de configuración del lado derecho de la interfaz se encuentra la información sobre el trabajo de impresión. A destacar, se encuentran los ajustes de impresión que, de forma predeterminada aparecerán con el modo “Recomendado” con el cual se puede realizar una prueba de impresión sin garantías de alta calidad ya que no da opción a la modificación de todos los ajustes necesarios. Para este proyecto se utiliza el modo “Personalizado” y se modifican los ajustes que más adelante se detallan. En el punto 2 de la Ilustración 30, se indica la ubicación de los ajustes rápidos de impresión.

Como último punto de la puesta en marcha del programa CURA, se debe seleccionar un perfil en base a la calidad y el tiempo de impresión deseados:

- Impresión rápida: Imprime rápidamente manteniendo una calidad aceptable.
- Calidad normal: Impresión de buena calidad con un tiempo de impresión aceptable. Este perfil es aplicable a la mayoría de las impresiones.
- Alta calidad: Imprime con una calidad superficial lisa.

En el punto 1 de la Ilustración 30, se indica la ubicación del selector de perfil.

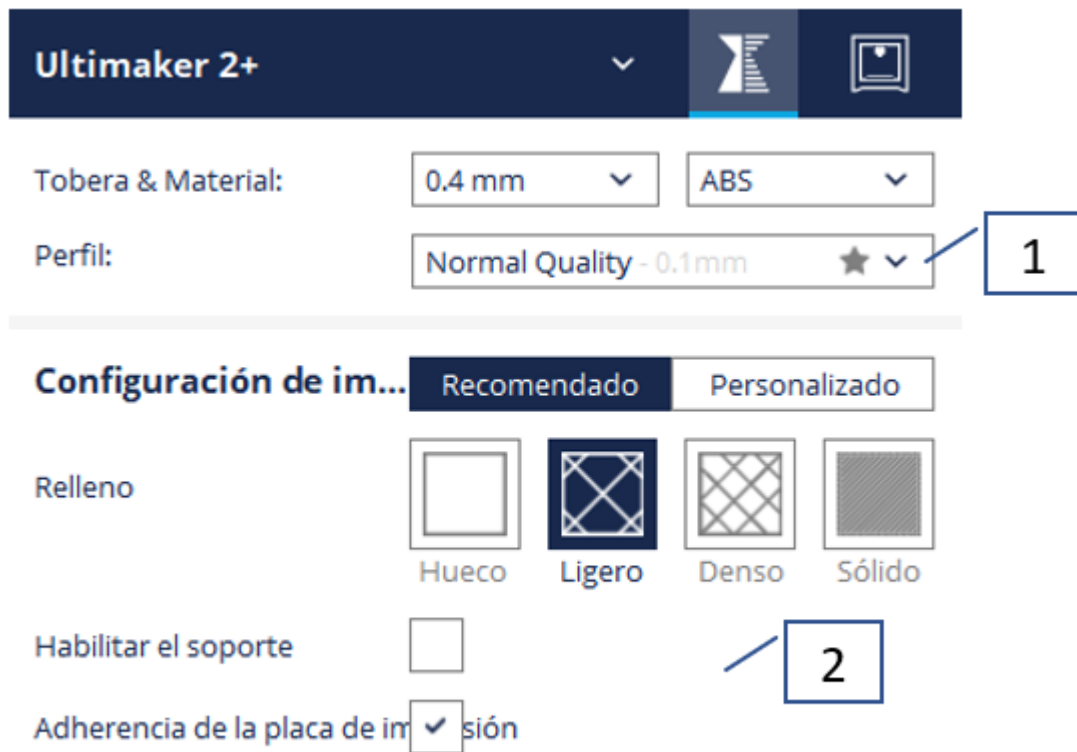


Ilustración 30 – Configurador impresora – Selector de perfil de impresión

#### 4.3.2 VISIÓN GENERAL DE LA INTERFAZ CURA

La Ilustración 31 muestra la interfaz principal de CURA con las características más importantes destacadas y numeradas.

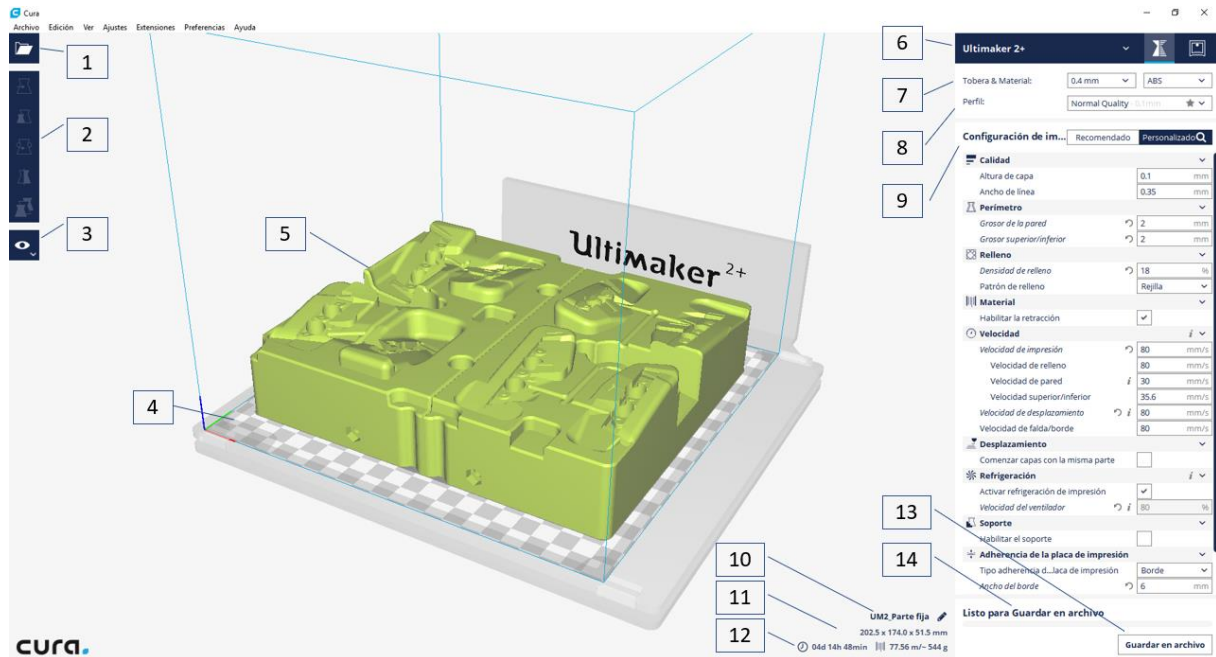


Ilustración 31 – Configurador impresora – Características importantes de la interfaz

1. Abrir documento.
2. Barra de herramientas: Mover, escalar, rotar, espejo y ajustes por modelo.
3. Modo de visualización: Sólido, rayos X y capas.
4. Margen de placa de impresión.
5. Modelo 3D.
6. Selección de impresora.
7. Cabezal de impresión y materiales.
8. Configuración de perfil.
9. Modo recomendado / personalizado.
10. Nombre del proyecto.
11. Dimensiones generales del modelo 3D.
12. Tiempo estimado de impresión y coste.
13. Guardar .gcode para impresión.
14. Barra de estado.

#### 4.3.3 AJUSTES DEL MODELO

En CURA existen varias herramientas para ajustar el modelo antes de imprimir. Esto permite posiciona fácilmente los modelos en la placa de construcción de la forma más eficiente. A continuación, se describen las herramientas de ajuste.

#### 4.3.3.1 HERRAMIENTA DE MOVIMIENTO

Al seleccionar el modelo se abre automáticamente la herramienta de desplazamiento. El sistema de coordenadas se puede utilizar para establecer el lugar específico de la placa de impresión donde se quiere imprimir el modelo. La interfaz de esta herramienta se detalla en la Ilustración 32.

- El objeto se puede mover libremente haciendo clic sobre él y arrastrándolo a cualquier parte.
- Al hacer clic sobre las flechas, se puede mover el modelo en el eje de la flecha.
- Se pueden indicar las coordenadas exactas en el cajetín que aparece al seleccionar la herramienta de desplazamiento.

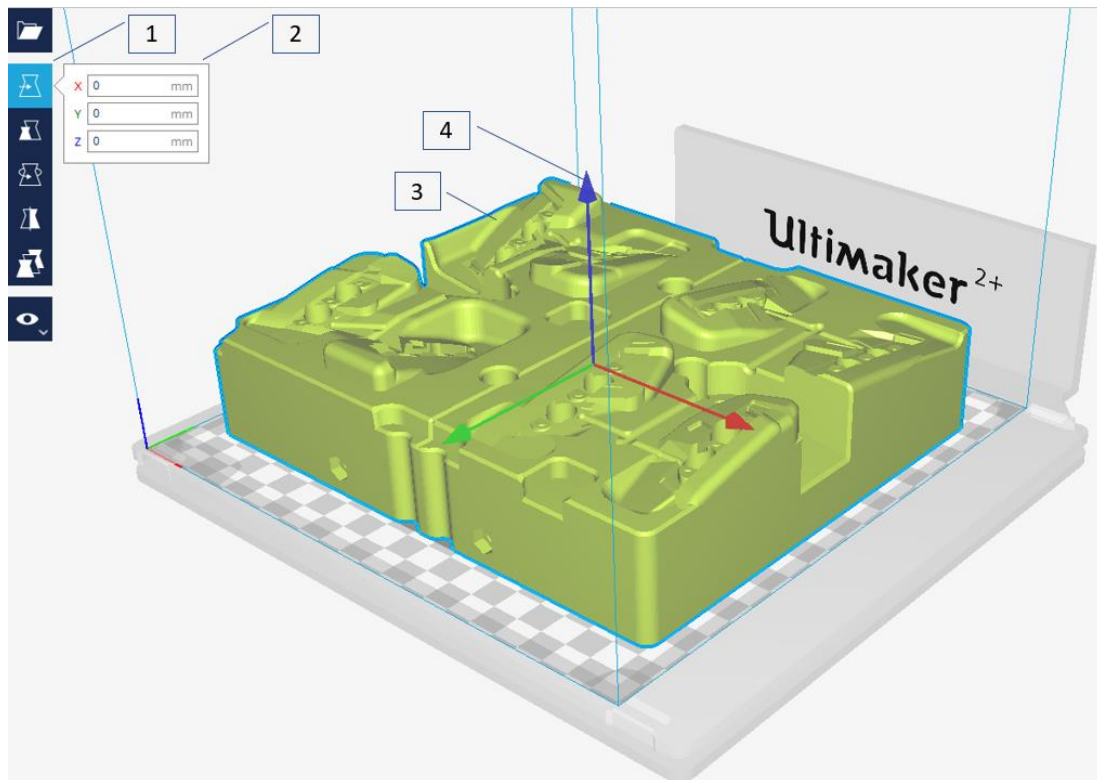


Ilustración 32 – Configurador impresora – Herramienta de movimiento

1. Mover.
2. Sistema de coordenadas.
3. Modelo, clic y arrastrar.
4. Puntas de flecha, movimiento por eje.

#### 4.3.3.2 HERRAMIENTA DE ESCALA

Al seleccionar la herramienta de escala aparecen tres ejes con puntas cuadradas y un panel de herramientas. El modelo se puede escalar de dos formas diferentes:

- Arrastrando los ejes que aparecen el modelo.
- Estableciendo las dimensiones específicas en el panel de herramientas.

La interfaz de esta herramienta se detalla en la Ilustración 33.

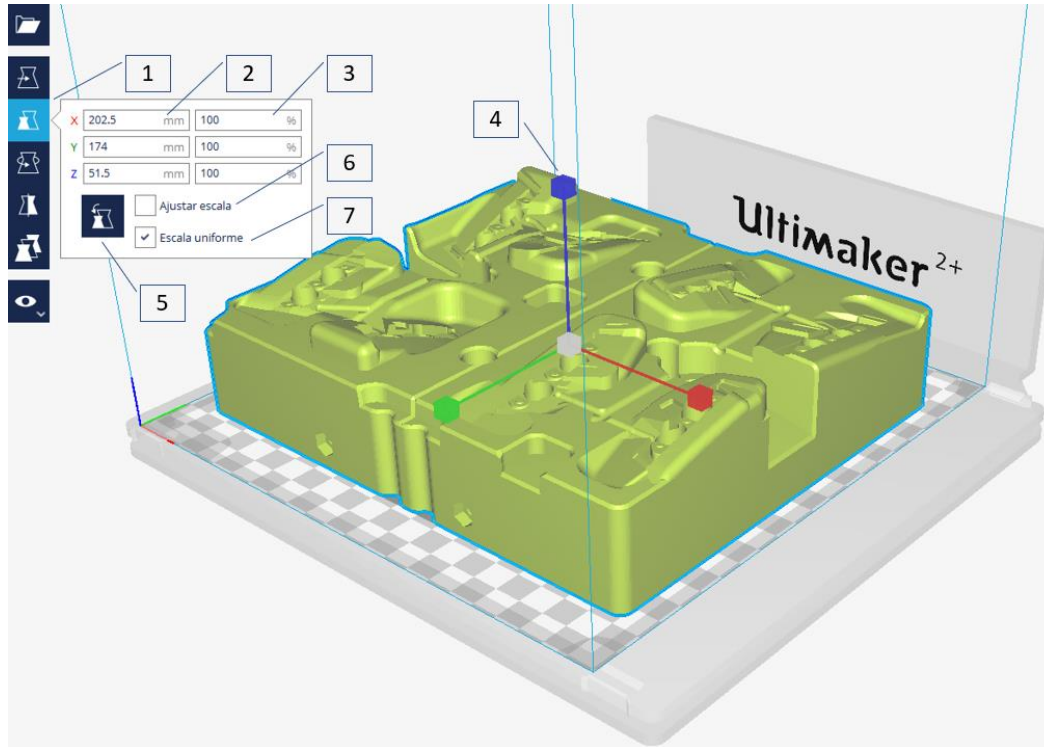


Ilustración 33 – Configurador impresora – Herramienta de escala

1. Herramienta de escala.
2. Dimensiones del objeto en milímetros.
3. Escala de objetos como porcentaje.
4. Punta cuadrada de los ejes de escala.
5. Restablecer el objeto a su escala original.
6. Ajustar escala.
7. Escala uniforme.

#### 4.3.3.3 HERRAMIENTA DE ROTAR

Al seleccionar la herramienta de rotación aparecerán tres anillos alrededor del objeto, uno para rotar cada eje. El modelo se puede girar de las siguientes maneras:

- Pinchar y arrastrar los anillos para girar manualmente los ejes.
- Restablecer la rotación al estado inicial.
- Aplanar el objeto a la placa de impresión.

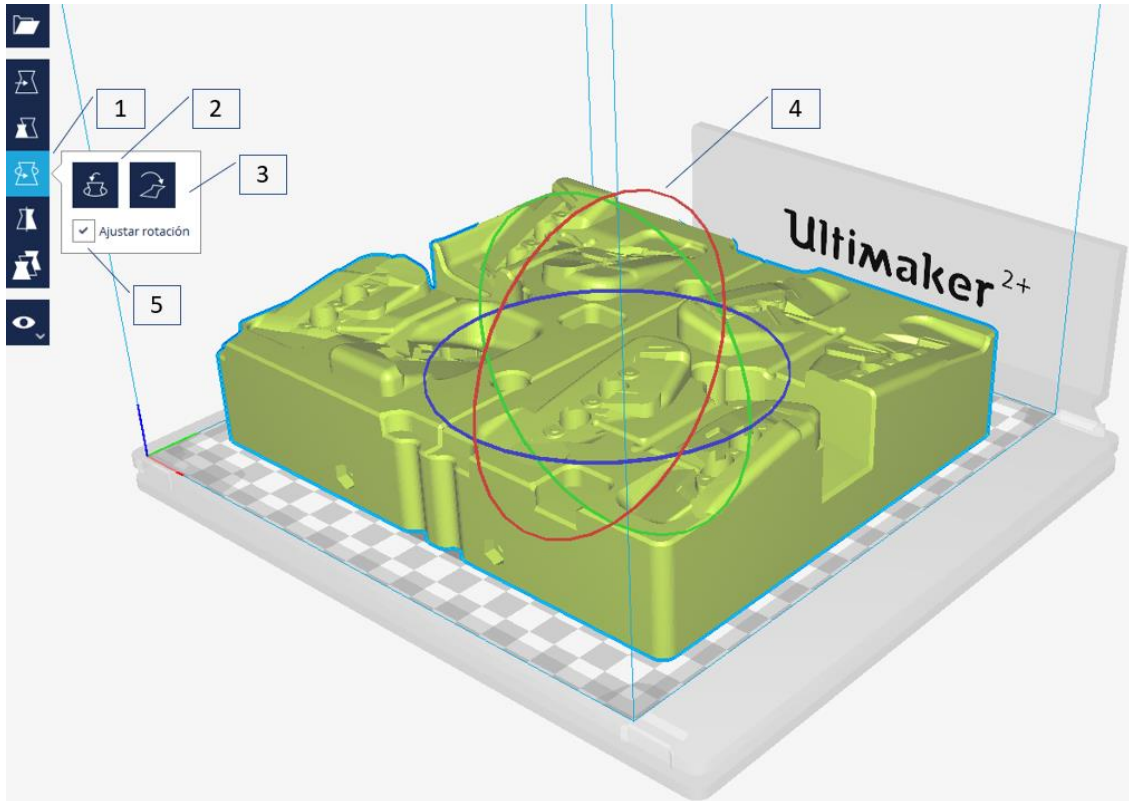


Ilustración 34 – Configurador impresora – Herramienta rotar

1. Herramienta de rotar.
2. Reiniciar rotación.
3. Aplanar modelo a placa de impresión.
4. Anillos de rotación.
5. Ajustar rotación.

#### 4.3.3.4 HERRAMIENTA DE ESPEJO

Seleccionar la herramienta de espejo para voltear y realizar simetrías del modelo en los ejes que aparecen sobre éste.

Se puede observar en la Ilustración 35 cómo se diferencian las flechas de los tres ejes por colores siendo el eje X rojo, el eje Y verde y el eje Z azul.

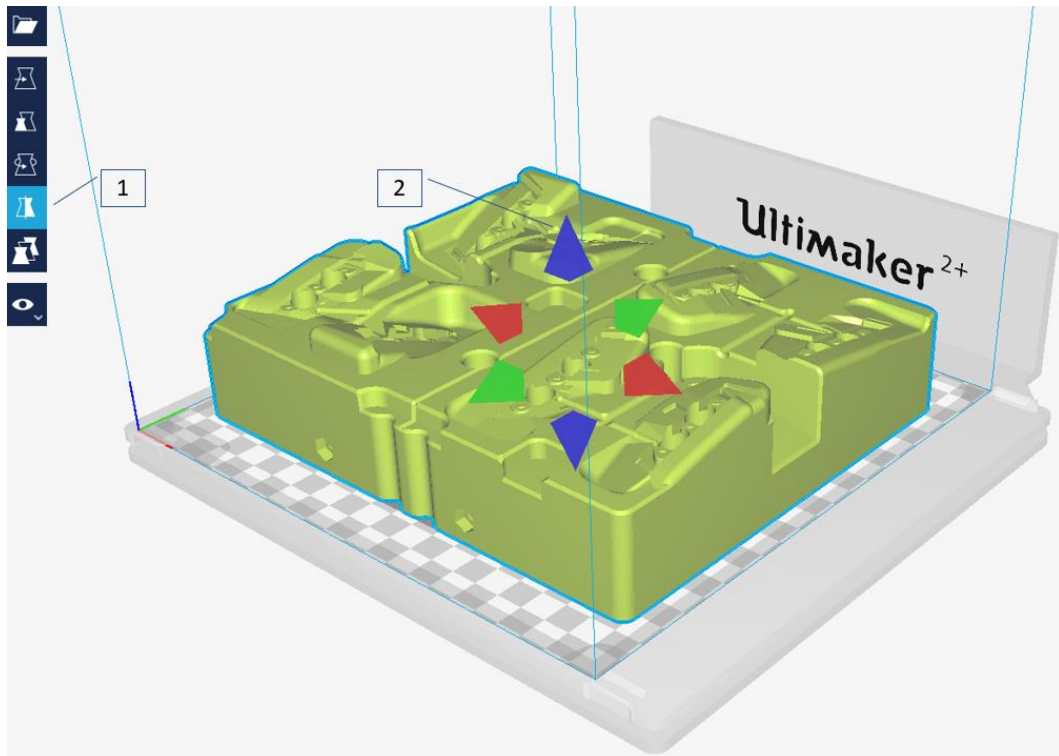


Ilustración 35 – Configuración impresora – Herramienta espejo

1. Herramienta de espejo.
2. Puntas de flecha para realizar simetrías.

#### 4.3.4 MODOS DE VISUALIZACIÓN

El programa CURA ofrece varias maneras de ver el modelo. Las distintas vistas permiten comprobar el modelo en detalles específicos. Hay tres vistas diferentes disponibles.

##### 4.3.4.1 SOLIDO

La vista sólida se selecciona de forma predeterminada y representa el modelo tal como se creó digitalmente. De esta forma, se puede comprobar si el modelo deseado está cargado correcta o incorrectamente.

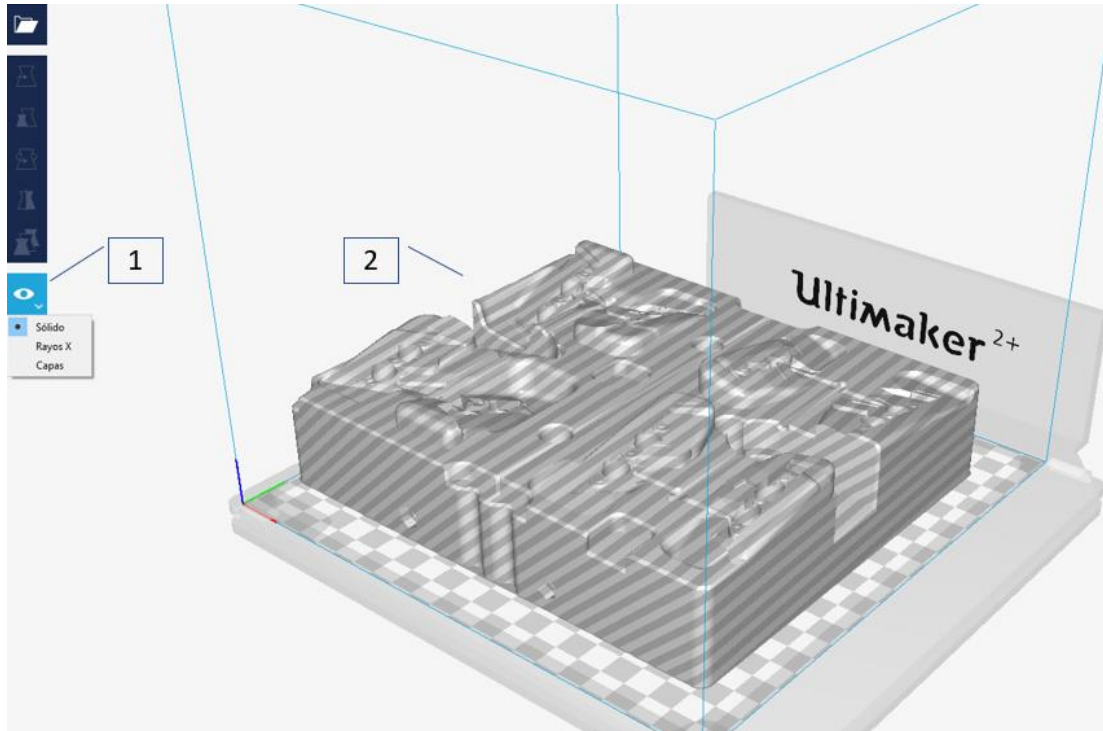


Ilustración 36 – Configurador impresora – Modo de vista sólido

1. Modo de vista (Sólido).
2. Modelo imprimible cargado correctamente (Verde) o incorrectamente (Gris).



#### 4.3.4.2 RAYOS X

La vista de rayos X permite mirar a través del modelo, lo que facilita la detección de lagunas e intersecciones en el modelo. Los errores detectados en el modelo se muestran en rojo.

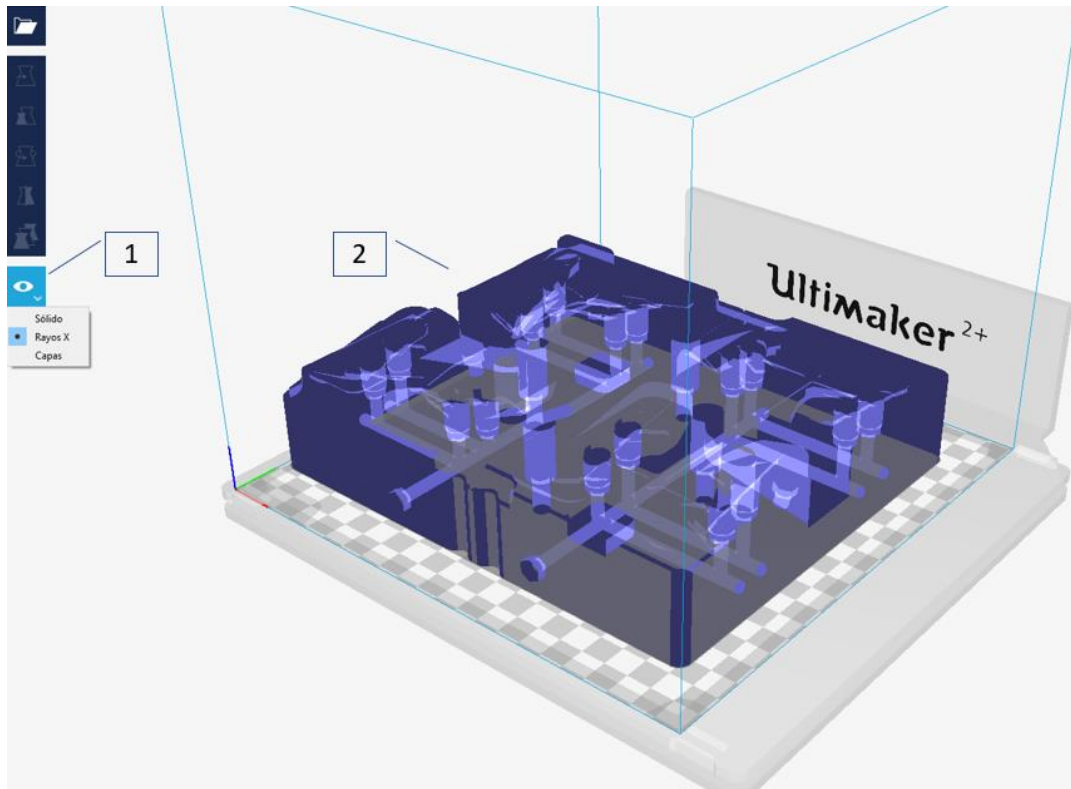


Ilustración 37 – Configurador impresora – Modo de vista rayos X

1. Modo de vista (Rayos X).
2. Modelo en rayos X (Partes internas en azul claro e intersecciones en rojo).

#### 4.3.4.3 CAPAS

La vista capas representa los movimientos del cabezal de impresión de la impresora. De este modo, se visualiza el resultado de todo el trabajo realizado por la impresora para completar el modelo.

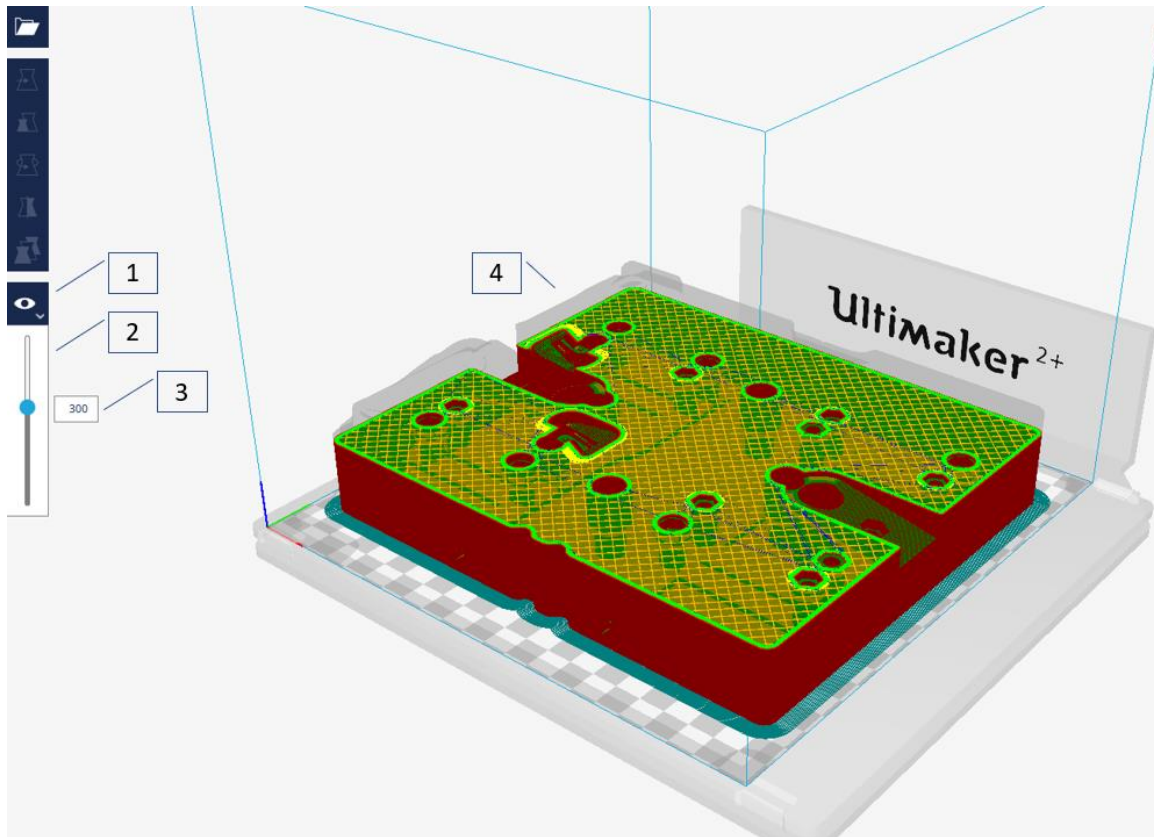


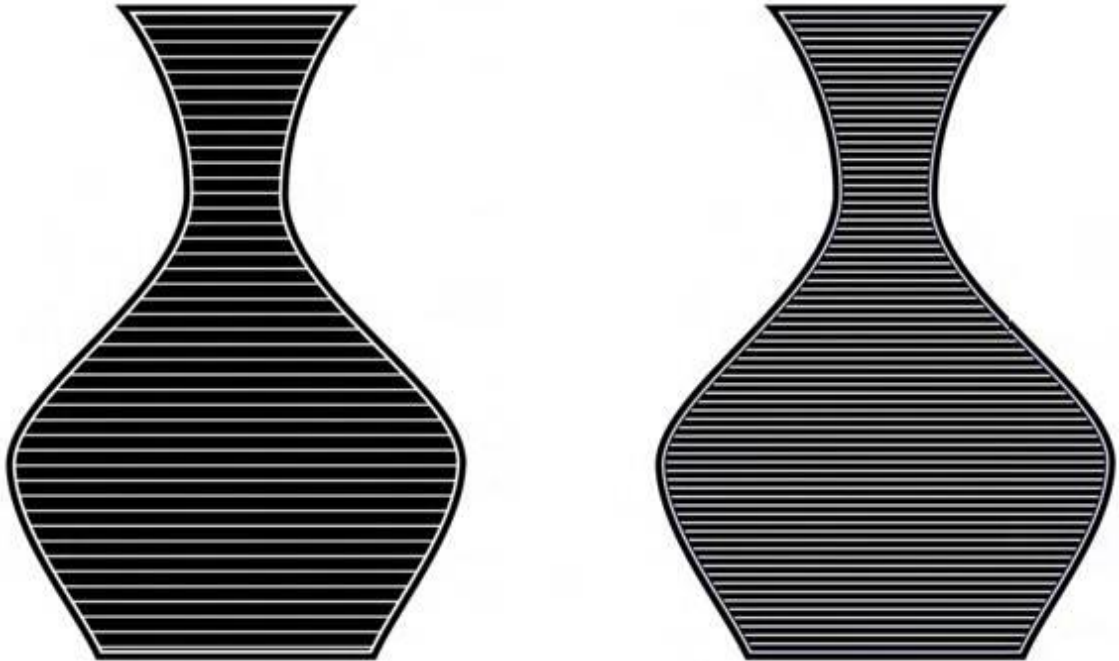
Ilustración 38 – Configurador impresora – Modo de vista capas

1. Modo de vista (Capas).
2. Barra de capas.
3. Número exacto de capa.
4. Vista del modelo en capas.

#### 4.3.5 CALIDAD

##### 4.3.5.1 ALTURA DE CAPA

La altura de la capa es uno de los ajustes más frecuentes, indica el espesor de una capa impresa (en mm). Con una altura de capa más delgada, aumentará la calidad de la impresión, dando lugar a una superficie más lisa y con más detalle. Por otra parte, usando capas más gruesas se puede disminuir el tiempo de la impresión sustancialmente.



*Ilustración 39 – Configurador impresora – Representación visual de altura de capa*

Existen tres ajustes típicos para la selección de la altura de la capa:

- 0.06mm – Una alta resolución en la que las capas son apenas visibles.
- 0.1mm – Se utiliza para la mayoría de las impresiones. El equilibrio entre una rápida impresión y una buena calidad.
- 0.15 a 0.2mm – Se utilizan para copias rápidas. Se reduce prácticamente a la mitad el tiempo de impresión sacrificando en gran medida la calidad del modelo.

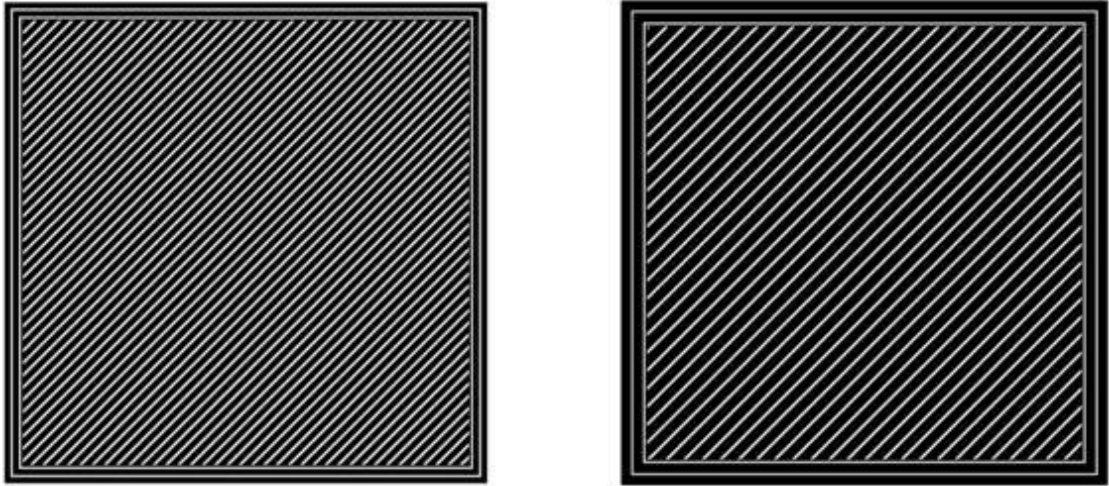
##### 4.3.5.2 ALTURA DE CAPA INICIAL

Este ajuste define la altura de la primera capa de impresión. La altura de la capa inicial suele ser más gruesa que la altura de las demás capas para crear una adhesión más fuerte con la placa de construcción.

Dependiendo del propósito de la impresión, se puede decidir disminuir la altura inicial de la capa. En este caso, es muy importante asegurar que la placa de impresión esté nivelada correctamente.

##### 4.3.5.3 ANCHO DE LINEA

El ancho de línea define el ancho de una única línea impresa, este valor debe ser casi igual al tamaño de la boquilla. Basándose en el ancho de la línea, se ajusta la velocidad de extrusión, el programa calculará automáticamente la cantidad de material que se debe extruir por segundo.



*Ilustración 40 – Representación visual de ancho de línea*

El modelo de la izquierda de la Ilustración 40, tiene un ancho de línea más pequeño que el modelo de la derecha.

El ancho de línea se puede ajustar para diferentes partes de la impresión:

- Ancho de línea de pared: El ancho de una línea de pared simple. El ancho de línea de las paredes interior y exterior se puede ajustar por separado.
- Ancho de línea superior / inferior: El ancho de línea con el que se imprimen las capas superiores e inferiores.
- Ancho de línea de relleno: El ancho de línea de todo el material de relleno.
- Ancho de línea de la falda: La anchura de las líneas de falda.
- Ancho de línea de soporte: El ancho de línea de las estructuras de soporte.

#### 4.3.6 PERIMETRO

##### 4.3.6.1 ESPESOR DE PARED

Este ajuste se utiliza para determinar el grosor de las paredes del modelo. El programa CURA se acercará al valor establecido aquí tanto como sea posible calculando cuántas paredes deben ser impresas con la boquilla dada. Un valor de 1mm resulta en 3 paredes de  $0.35\text{mm} = 1.05\text{mm}$  de pared.

En general es suficiente un espesor de dos o tres veces la anchura de la línea. Un valor más alto creará un modelo más robusto y disminuirá la posibilidad de fugas, mientras que un valor menor puede disminuir significativamente el tiempo de impresión y los costes de filamentos.

Para el objeto de estudio se utiliza un valor de espesor de cinco veces la anchura de la línea para evitar cualquier tipo de fuga de los conductos y dar robustez a la aprehensión, a pesar de sacrificar tiempo de impresión y cantidad de material.

##### 4.3.6.2 ESPESOR SUPERIOR / INFERIOR

Con el espesor superior / inferior se puede ajustar el grosor de las capas superiores e inferiores del modelo. Un valor más alto garantiza que todas las aberturas en estas capas se cierren completamente. Por otra parte, esto también puede aumentar el tiempo de impresión y la cantidad de filamento utilizado.

Se aconseja utilizar siempre un múltiplo de la altura de la capa. Esto significa, por ejemplo, que con una altura de capa de 0.15mm es mejor ajustar el grosor superior / inferior a 0.6mm que a 0.7mm.

También se puede ajustar el grosor de las capas superior e inferior por separado. Especialmente para la parte superior que a veces puede necesitar bastantes capas para cerrar adecuadamente los huecos generados en la impresión.

#### 4.3.6.3 *PATRÓN SUPERIOR / INFERIOR*

El programa CURA permite elegir entre diferentes patrones de impresión para las capas superior e inferior. Estos son los patrones disponibles:

- Concéntrico: El patrón se imprime desde el exterior hasta el centro de la impresión.
- Líneas: Un patrón diagonalmente impreso, con movimientos de desplazamiento en la pared del modelo.
- Zigzag: Un patrón diagonalmente impreso, con conexiones en la pared del modelo.

#### 4.3.7 RELLENO

##### 4.3.7.1 *DENSIDAD DE RELLENO*

La densidad de relleno define la cantidad de plástico utilizado en el interior de la impresión. Una mayor densidad de relleno significa que hay más plástico en el interior de la impresión, lo que lleva a un objeto más robusto. Una densidad de relleno alrededor del 20% o inferior se utiliza para modelos con una finalidad visual, densidades más altas se pueden utilizar para las piezas de uso final.

Para el objeto de estudio se utilizarán densidades de relleno del 40% en aprehensiones normales y del 60% en aprehensiones rompe tallos debido a que se debe aplicar una ligera presión a la hora de romper el tallo de las piezas.

En lugar de establecer la densidad de relleno en forma de porcentaje, también es posible ajustar la distancia entre líneas. Esto determina la distancia entre cada línea de relleno, que tiene el mismo efecto que cambiar la densidad de relleno.

##### 4.3.7.2 *PATRÓN DE RELLENO*

El programa CURA permite cambiar el patrón de la estructura interna de relleno, lo que podría ser beneficioso en algunos casos. Hay varias opciones disponibles:

- Rejilla: Un relleno en forma de rejilla, con líneas en ambas direcciones diagonales en cada capa.
- Líneas: Crea una cuadrícula de relleno impresa en una dirección diagonal.
- Triángulos: Crea un patrón de relleno en forma triangular.
- Cúbico: Un relleno de cubos 3D inclinados.
- Tetraédrico: Un relleno 3D de formas piramidales.
- Concéntrico: Las impresiones de relleno desde el exterior hacia el centro de modelo.
- Concéntrico 3D: Impresiones de relleno desde el exterior hacia el interior inclinadas creando figuras 3D.
- Zigzag: Un relleno en forma de rejilla con conexiones en la pared del modelo.

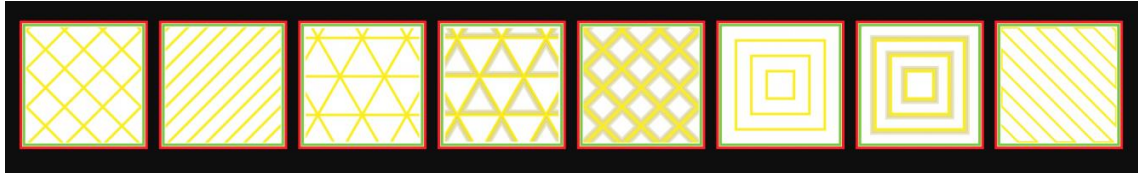


Ilustración 41 – Representación de los patrones de relleno disponibles en el programa Cura

#### 4.3.7.3 SOLAPAMIENTO DE RELLENO

Con este ajuste se puede controlar la cantidad de superposición entre el relleno y las paredes. Un valor más alto por lo general se traduce en una mejor unión entre el relleno y las paredes. Por otro lado, un valor alto también podría reducir la calidad visual de la impresión.

El valor dado por defecto por el programa CURA en la mayoría de los casos será lo suficientemente equilibrado para ofrecer una unión resistente sin sacrificar la calidad exterior de la pieza.

### 4.3.8 MATERIAL

#### 4.3.8.1 TEMPERATURA DE IMPRESIÓN

Esta es la temperatura de la boquilla que se utiliza durante la impresión. La temperatura de impresión varía dependiendo del material utilizado. PLA por ejemplo necesita una temperatura de impresión de aproximadamente 210°C, mientras ABS necesita una temperatura más alta, entre 250 y 260°C para extruir correctamente el plástico.

#### 4.3.8.2 TEMPERATURA DE PLACA DE IMPRESIÓN

Las impresoras que cuentan con cama caliente son capaces de calentar la placa de impresión para mejorar el agarre de las primeras capas y disminuir la deformación del plástico por el cambio de temperatura.

Se recomienda el precalentamiento a 60°C para PLA y a 90°C para ABS.

#### 4.3.8.3 DIÁMETRO DE FILAMENTO

En este campo se introduce el diámetro del filamento, de modo que el programa CURA calcula la velocidad de extrusión correctamente. Los filamentos suelen tener un diámetro de 2.85mm o 1.75mm.

#### 4.3.8.4 FLUJO

El flujo es la cantidad de material que debe ser extruida por unidad de tiempo y se basa en el diámetro del filamento y la velocidad de impresión. El flujo siempre se establece en 100%, lo que significa que la cantidad de extrusión de filamento coincidirá con la cantidad necesaria calculada. Este ajuste no debe cambiarse ya que se calcula automáticamente, aunque para la extrusión de filamentos de materiales flexibles se puede aumentar.

#### 4.3.8.5 HABILITAR LA RETRACCIÓN

La retracción del material se utiliza en los lugares donde el cabezal de la impresora tiene que pasar por zonas donde no tiene que imprimir o por líneas ya impresas.

Al habilitar la retracción, el extrusor tira hacia atrás el filamento de modo que no se escapa de la boquilla durante los movimientos descritos anteriormente.

#### 4.3.9 VELOCIDAD

La velocidad se mide en mm/s. Seleccionando la velocidad de impresión, el programa Cura calcula automáticamente la rapidez a la cual debe ser extruido el filamento. Para que la impresión se realice correctamente, la velocidad debe estar entre 60 y 100 mm/s. Si se sobrepasa esta velocidad es necesario aumentar la temperatura del extrusor para asegurarse de que el material se funde adecuadamente.

Además de la velocidad global de impresión se puede especificar otras velocidades, las más importantes son las siguientes:

- Velocidad de relleno: La velocidad a la que se imprime el material de relleno. Al ser estructura interna, esta velocidad suele ser más elevada.
- Velocidad de pared: La velocidad a la que se imprimen las paredes del modelo. Una impresión más lenta dará unos resultados más precisos.
- Velocidad superior/inferior: La velocidad a la que se imprimen las capas superiores e inferiores del modelo. Una impresión más lenta dará unos resultados más precisos.
- Velocidad de soportes: La velocidad a la que se imprimen los soportes. La calidad final del soporte no es importante, por lo tanto, se puede realizar una impresión más rápida de éstos.

#### 4.3.10 ENFRIAMIENTO

El enfriamiento del filamento es un punto clave a la hora de realizar una buena impresión 3D, sobre todo en impresiones de modelos pequeños donde los ciclos son cortos.

La refrigeración se realiza a través de un ventilador situado sobre el extrusor. La velocidad del ventilador puede regularse, pero se aconseja utilizar los parámetros que el programa Cura trae por defecto. Estos varían dependiendo del material a imprimir.

En el modelo de estudio, se puede comprobar que, al imprimir ABS, la velocidad del ventilador es menor que al imprimir PLA (material más extendido). Esto es debido a que el ABS tiene unas contracciones mayores que las del PLA.

#### 4.3.11 SOPORTES

Para sujetar voladizos y partes que sobresalen del modelo, el programa Cura coloca unas estructuras de soporte que posteriormente podrán retirarse con facilidad.

La configuración de estos apoyos tiene las siguientes opciones:

- Desde la placa de impresión: Los soportes parten de la placa de impresión hacia el eje Z. Esta configuración evita contaminación de los soportes en el modelo a imprimir.
- En todas partes: Los soportes se imprimen por debajo de cada parte que necesita un apoyo, es indiferente si empieza en la placa de impresión o en la propia pieza.

También es posible configurar el ángulo de voladizo en el cual el programa Cura diseña automáticamente un soporte y el patrón de este. Los patrones de impresión de los soportes son idénticos a los patrones del relleno de la pieza, explicados anteriormente.

En el modelo de estudio no se han utilizado soportes dado que la pieza es plana desde la base y no tiene voladizos ni partes que sobresalgan de su base. Podrían haberse utilizado soportes para los conductos de vacío, aunque, retirar estos soportes habría sido una tarea ardua en comparación con el beneficio que otorgan en este caso.

#### 4.4 SELECCIÓN DE LA IMPRESORA Y EL MATERIAL

El hardware utilizado es una impresora 3D Ultimaker 2+. Una impresora de caja cerrada y cama caliente que nos permite la impresión de materiales más complejos y de mejores propiedades mecánicas como son el ABS y el Nylon.

Para la impresión de las aprehensiones se utiliza filamento de ABS de 1.75mm. El ABS es el material idóneo ya que no se derrite al tocar el molde caliente porque su temperatura de fusión está en torno a los 250°C. Por el contrario, materiales de menos calidad utilizados en impresión 3D como el PLA tienen un punto de fusión cercano a los 65°C, por lo tanto, es inviable utilizar este material cerca de máquinas de inyección.

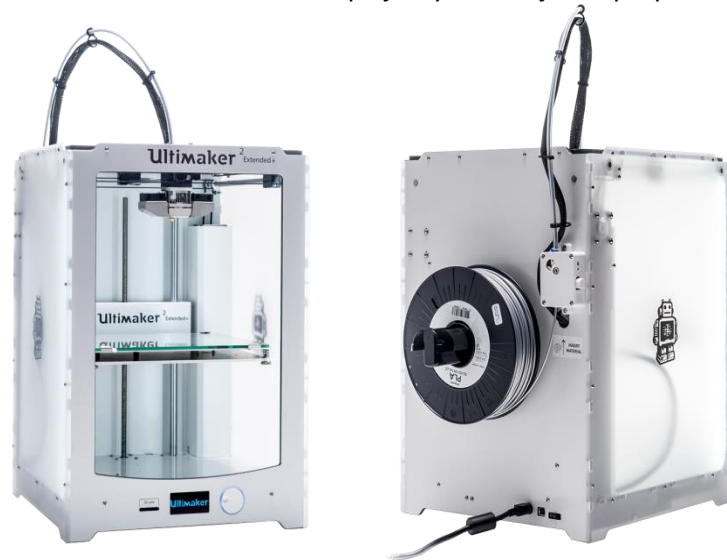


Ilustración 42 – Ultimaker 2+

Sin embargo, a pesar de que parezca que el PLA no puede ser de utilidad, esto no es así. El PLA es el material más extendido en el uso de la impresión 3D y esto permite que sea muy barato en comparación de los otros materiales. Por este motivo sí que es de utilidad y debe de usarse para recrear el primer prototipo de aprehensión y utilizarlo como prueba para detectar fallos en el diseño y posibles mejoras necesarias antes de imprimirla en el material definitivo.

Esta tabla representa, resumidamente, las diferencias entre los tres materiales de mayor interés a la hora de imprimir prototipos funcionales:

PROPIEDADES	PLA	ABS	NYLON
DIFICULTAD DE IMPRESIÓN	BAJA	MEDIA	ALTA
TEMPERATURA IMPRESIÓN	180°C	250°C	245°C
CAMA CALIENTE	NO	80°C	60°C
WARPING	NULO	ALTO	BAJO
POSTPROCESADO	NO	SI	SI
RESISTENCIA A TRACCIÓN	45,6 MPA	34 MPA	34,4 MPA
RESISTENCIA A FLEXIÓN	103 MPA	70,5 MPA	24 MPA
ALARGAMIENTO A LA DEFORMACIÓN	3,3%	3,5%	20%



TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA	60°C	100°C	50°C
PRECIO/KG	19,90€	21,90€	72,50€

*Tabla 1 – Características de los plásticos más utilizados en impresión 3D.*

Como se puede observar en la tabla anterior, a pesar de que el PLA presenta mejores propiedades mecánicas que el ABS y el Nylon, se debe descartar por su baja temperatura de transición vítrea (propiedad que haría que se fundiera al contactar con la superficie de los moldes de inyección) y por la incapacidad de reprocesarlo posteriormente (sería imposible realizar cualquier tipo de taladro, chafalán, etc. en la pieza).

El Nylon presenta una alta dificultad de impresión debido a lo abrasivo que es este material, imprimir Nylon obliga a adquirir boquillas de impresión de acero inoxidable que tienen un precio muy elevado en comparación con las boquillas estándar. A pesar de sus bajas propiedades mecánicas, el Nylon es un material excelente para realizar útiles de fijación en máquinas periféricas, mangos de herramientas y útiles de agarre para piezas delicadas gracias a su deformación y a que este material no raya ni marca las piezas.

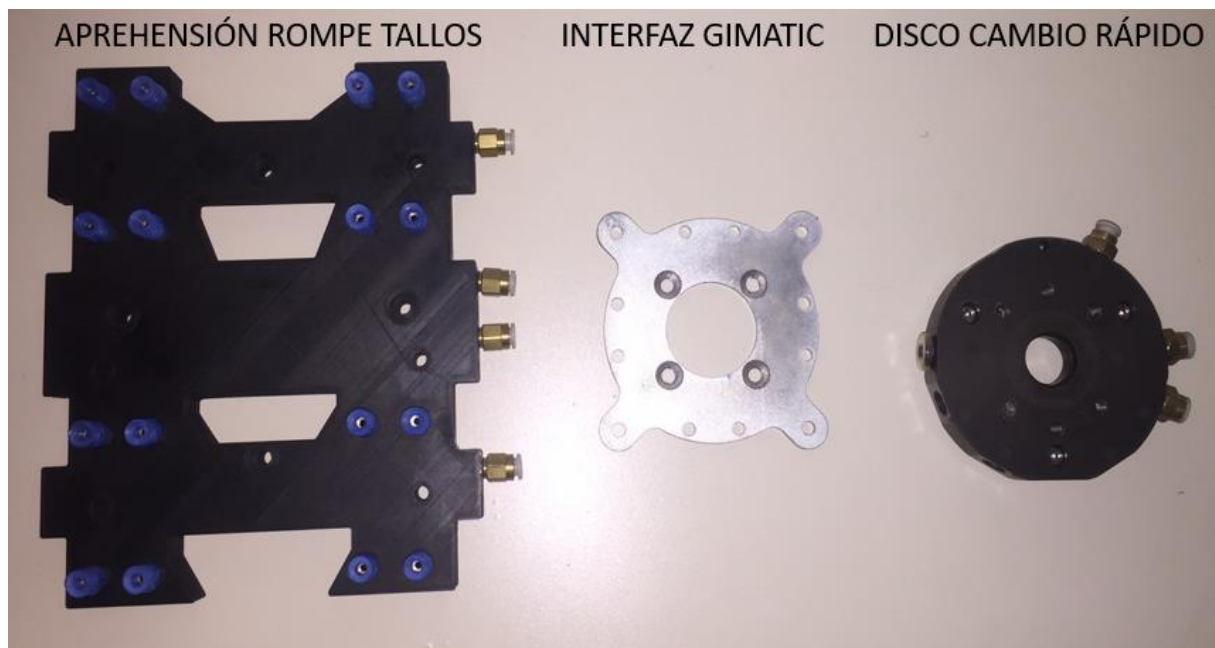
Las aprehensiones no están destinadas a soportar grandes esfuerzos físicos, únicamente soportarán el ligero empuje de los expulsores de la máquina de inyección (que serán amortiguados por el eje libre del robot). Por lo tanto, la propiedad más importante para determinar el material con el que realizar una aprehensión es la temperatura de transición vítrea. Una inyectora de plástico suele fundir el material entre 100 y 200 grados centígrados, pero los moldes incluyen una serie de tuberías y cavidades internas que sirven para atemperarlos y que la pieza inyectada no se exponga a un choque brusco al cambio de temperatura. El proceso de atemperado del molde suele realizarse con agua fría o agua a 40°C y consiguen que la pieza recién inyectada no sobrepase de los 100°C cuando se abre el molde y se desplaza el robot a recogerla. Dada esta situación el ABS es el único material que cumple con las propiedades para realizar este trabajo de forma repetitiva sin temor a fundirse dada su alta temperatura de transición vítrea.

#### 4.5 MONTAJE E INSTALACIÓN

Para la instalación de la aprehensión se necesita el disco Gimatic, una interfaz estándar compatible con el disco y la pieza impresa. Además, se tienen que poner las ventosas en su posición utilizando porta ventosas de M5, y racores de M5 para los vacíos y las pinzas.

Una vez esté completa la parte impresa, utilizando tubos de D6 para vacíos y de D4 para pinzas, lo conectamos todo al disco Gimatic.

Siguiendo el despiece de la Ilustración 43, para montar una aprehensión se necesita presentar la interfaz sobre el disco de cambio rápido de molde y posteriormente montar sobre ésta la aprehensión impresa en 3D.



*Ilustración 43 – Despiece general de una aprehensión*

## 4.6 PROCEDIMIENTO DE IMPLEMENTACIÓN

Para llevar este proyecto a la práctica, se creó una carpeta dentro de la base de datos de la empresa para guardar la documentación necesaria de cada aprehensión con la finalidad de no depender de una persona si no que cualquier técnico del departamento de mantenimiento pudiese imprimir la aprehensión que necesitase en caso de rotura o extravío.

La documentación que se implementó fue:

- Breve hoja de formación para la utilización del programa Cura (Apartado 4.3 de este proyecto).
- Un documento Word correspondiente a cada aprehensión realizada en el que se detallaban los siguientes puntos clave de la aprehensión:
  - Tipo de filamento que se debe utilizar.
  - Tiempo de impresión.
  - Imagen identificatoria.
  - Cantidad de componentes adicionales (racores, manguera, pinzas, etc.)
- Archivo .gcode preparado para introducir en la memoria de la impresora y comenzar con la impresión sin necesidad de diseñar nada.

Se realizó seguimiento del procedimiento de implementación durante un mes y los resultados fueron exitosos debido a la baja necesidad de recurrir a imprimir de nuevo las aprehensiones ya implementadas, en el mes de seguimiento fueron un total de dos veces las que se recurrió. Una vez por extravío de la aprehensión y la otra vez por rotura de la aprehensión debido a que se cayó al suelo al extraerse indebidamente del robot durante un cambio de molde.

## 5 ESTUDIO ECONÓMICO

El estudio económico consta de dos apartados bien diferenciados:

- Comparación del precio de diseño, fabricación e implementación de la aprehensión fabricada utilizando la impresión 3D frente a la compra e implementación de la aprehensión de proveedor.
- Estudio del ahorro de tiempo y dinero que ofrece el uso de las aprehensiones impresas en 3D frente a aprehensiones estándar y rompe tallos.

### 5.1 PRESUPUESTO DE UNA APREHENSIÓN DE PROVEEDOR FRENTE A UNA IMPRESA EN 3D

Para la realización de esta comparación se deben tener en cuenta varios factores.

Para una aprehensión comprada directamente de proveedor, en el presupuesto de éste estarán incluidos su mano de obra, materiales, gastos indirectos, etc. Además de estos gastos se tendrá que sumar la mano de obra del técnico de nuestra empresa que implementará la aprehensión a la máquina correspondiente. También se tendrá en cuenta los materiales que use para completar su implementación, estos serán gomas, ventosas, interfaces de cambio rápido, etc.

Para el estudio económico de una aprehensión realizada a través de una impresora 3D se tendrán en cuenta factores como el tiempo de diseño del Ingeniero, el tiempo de impresión de la aprehensión, el gasto de luz y material de la impresora e, igual que la aprehensión de proveedor, tendrá unos gastos de implementación por parte del técnico y materiales como ventosas, pinzas, etc.

- **Aprehensión convencional de perfilería metálica:**

En la siguiente tabla se enumeran los componentes que conforman una aprehensión convencional y que no aparecerían en el montaje de una aprehensión impresa en 3D.

Por este motivo, en la tabla no aparecen componentes como pinzas, ventosas y el disco de cambio rápido de aprehensión ya que estos elementos también se utilizan en la aprehensión impresa en 3D.

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO VENTA	PRECIO TOTAL
1	PERFIL ALUMINIO 20X20 2000mm	0,8	14,03€ / 2000mm	5,61 €
2	RACOR "T" NEUMÁTICO 6mm FESTO	12	40,45€ / 10 UD	48,54 €
3	TUBO FLEXIBLE 6mm	2	7,89€ / 25m	0,63 €
4	ABRAZADERA PERFIL CUADRADO / TUBO REDONDO	16	5,50€ / UD	88,00 €
5	SOPORTE DE MUELLE PARA PORTA VENTOSAS	16	12,45€ / UD	199,20 €
6	ESCUADRA UNION PERFIL CUADRADO	4	5,98€ / UD	23,92 €
			<b>TOTAL</b>	<b>365,90€</b>

Tabla 2 – Presupuesto de material para el montaje de una aprehensión convencional

Los datos de la tabla anterior son de la aprehensión que se ha puesto de ejemplo en este proyecto. A este precio habría que sumarle la mano de obra de la empresa contratada y los gastos de envío de la aprehensión montada.

- **Aprehensión diseñada e impresa en 3D:**

Para obtener el coste total de la aprehensión impresa en plástico, se deben tener en cuenta tres factores que son: cantidad utilizada de material, tiempo de impresión (coste eléctrico) y coste de personal improductivo (horas de diseño de la aprehensión).

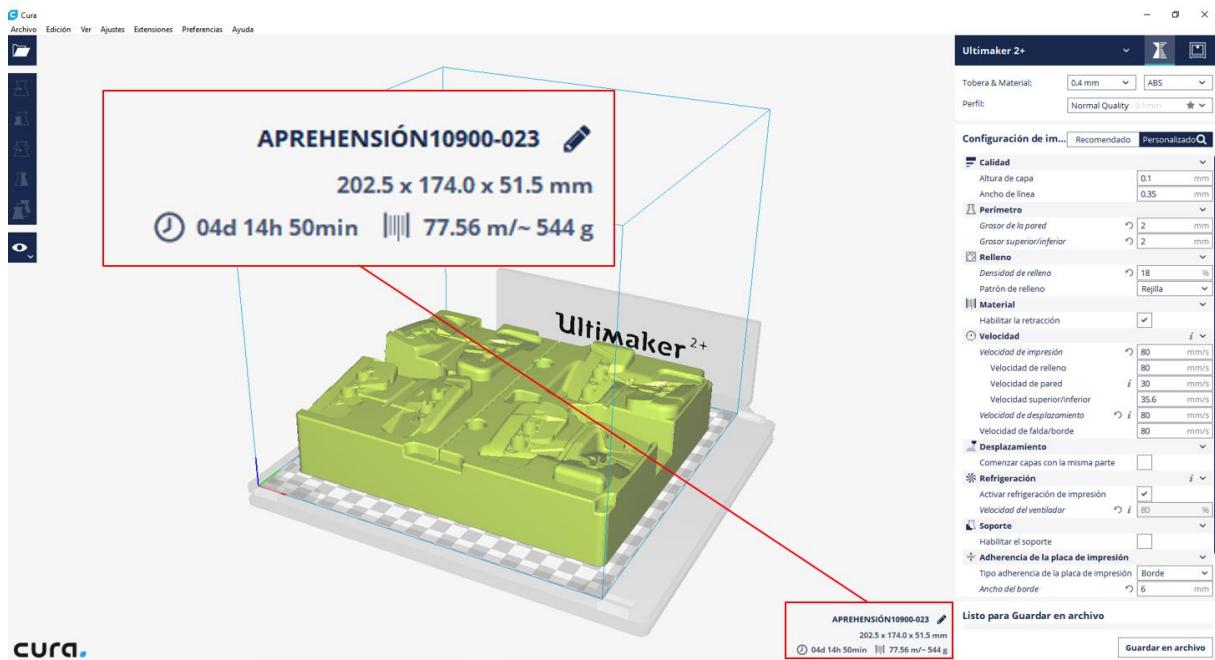


Ilustración 44 – Configurador impresora – Datos de tiempo de impresión y masa de material

En la Ilustración 44 se observan dos datos de partida que se necesitan para realizar los cálculos, estos son el tiempo total de impresión y la cantidad de material utilizado.

Con estos datos y junto a los datos que tenemos de partida en base a la empresa donde se ha realizado este proyecto (tarifa eléctrica, coste/h personal, impresora seleccionada) se pueden realizar los cálculos teóricos para conseguir el coste total de la aprehensión de ejemplo.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDADES
CONSUMO ENERGIA MEDIO	0,06	kWh
TIEMPO DE IMPRESIÓN	110,84	h
PRECIO LUZ	0,20	€/kW
CONSUMO TOTAL	6,65	Kw
<b>COSTE CONSUMO ELÉCTRICO</b>	<b>1,33</b>	<b>€</b>
MASA DE MATERIAL	0,55	Kg
PRECIO / KG MATERIAL	21,90	€/Kg
<b>COSTE MATERIAL</b>	<b>11,91</b>	<b>€</b>

COSTE / H PERSONAL	19,50 €/h
HORAS DEDICADAS	6,00 h
<b>COSTE DISEÑO</b>	<b>117,00 €</b>
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>130,24 €</b>

Tabla 3 – Coste de fabricación de la aprehensión de diseño

$$\begin{aligned} \text{Consumo eléctrico (€)} &= \text{Precio luz} \cdot \text{Consumo total} \\ &= \text{Precio luz} \cdot (\text{Consumo medio} \cdot \text{Tiempo impresión}) \end{aligned}$$

Ecuación 1 – Cálculo consumo eléctrico impresora 3D

$$\text{Coste material (€)} = \text{Masa material} \cdot \text{Precio material}$$

Ecuación 2 – Cálculo coste material impresión 3D

$$\text{Coste diseño (€)} = \text{Coste hora personal} \cdot \text{Horas dedicadas}$$

Ecuación 3 – Cálculo coste hora personal de diseño

Como conclusión se puede observar una diferencia de presupuesto de unos 235€ lo que equivale a que, para comprar la aprehensión convencional, se necesita un presupuesto un 180% mayor que si se diseña y se imprime en plástico.

## 5.2 ESTUDIO DE AHORRO ECONÓMICO Y DE TIEMPO CON EL USO DE APREHENSIÓN IMPRESA EN 3D FRENTE A APREHENSIÓN CONVENCIONAL.

Para una comparación a nivel económico se necesitan una serie de indicadores que proporcionen valores fiables al estudio. El estudio se ha realizado con ocho ejemplos de aprehensiones de las cuales cuatro son rompe tallos y las otras cuatro son aprehensiones estándar. El objetivo de recabar los datos de estas ocho aprehensiones es poder extrapolar el ahorro a las demás aprehensiones del mismo tipo en la fábrica, obteniendo así, la mejora total en euros y tiempo que se podría realizar.

Como se observa en la Tabla 4 la tasa horaria de la máquina inyectora no tiene una dependencia lineal con su tonelaje. Depende de otros factores como la marca, el modelo, su eficiencia, etc. (Estos datos han sido extraídos de los indicadores de consumo del departamento de mantenimiento).

Nº MAQ	TONELADAS	TASA HORARIA MÁQUINA €/hr
ENGEL 80T	80	8,03
ENGEL 160T	160	19,92
ENGEL 250T	250	18,17

Tabla 4 – Toneladas y tasa horaria de tres inyectoras Engel.

Para facilitar el cálculo se han promediado los tiempos de apertura y cierre de las tres máquinas expuestas en la Tabla 5 con las ocho aprehensiones utilizadas como modelo del estudio.

Se ha promediado el tiempo con la aprehensión antigua y se ha comparado con el tiempo de la aprehensión nueva. Como se puede observar en la Tabla 4 el tiempo medio de apertura con la aprehensión estándar impresa en 3D se reduce en medio segundo aproximadamente y con la aprehensión rompe tallos se reduce en dos segundos aproximadamente de media.

Esta disminución de la apertura es debida principalmente al estrechamiento de la aprehensión, siendo necesaria una apertura menor del molde para que el robot entre con la aprehensión. En el caso de los rompe tallos, este estrechamiento de la aprehensión es mucho más significativo.

Tipo de Aprehensión	Media apertura antigua (cm)	Media apertura nueva (cm)	Ahorro de tiempo
Aprehensión estándar	50	45	0,54
Aprehensión rompe tallos	60	40	2,16

Tabla 5 – Comparación de apertura de máquina según tipo de aprehensión.

En la Tabla 6 se exponen los promedios de apertura, tiempo y velocidad de máquina.

$$v \left( \frac{cm}{s} \right) = \frac{apertura (cm)}{tiempo (s)}$$

Ecuación 4 – Cálculo velocidad apertura molde

La velocidad media se utiliza en la Tabla 5 para conseguir el ahorro de tiempo en los distintos tipos de aprehensión.

$$\Delta T(s) = \frac{2 \cdot (apertura\ antigua - apertura\ nueva)}{velocidad}$$

Ecuación 5 – Cálculo diferencial de tiempo al comparar dos aperturas de molde

Promedio de apertura máquina	50 cm
Promedio de tiempo de apertura	2,7 s
Promedio velocidad	18,52 cm/s

Tabla 6 – Cálculo del promedio de velocidad de apertura de molde.

Para realizar los cálculos de ahorro se expondrán ocho referencias inyectadas en las tres máquinas anteriormente nombradas. En la Tabla 7 se exponen los siguientes apartados, de izquierda a derecha:

- Número de fila.
- Fecha.
- Referencia de la aprehensión.
- Denominación de la pieza inyectada.
- Número de cavidades que tiene el molde. El número de cavidades que tiene el molde indica el número de piezas inyectadas en un ciclo. A mayor número de cavidades, menor

ahorro, puesto que la ganancia de tiempo de ciclo se divide entre el número de piezas inyectadas en ese mismo ciclo.

Nº	Fecha	Referencia	Denominación	Cavidades molde
1	13/03/2018	10000-001	Lama aireador Renault	4
2	13/03/2018	10000-002	Lama aireador Volvo	2
3	13/03/2018	10000-003	Lama aireador Seat	8
4	13/03/2018	10000-004	Lama aireador Mercedes	2
5	13/03/2018	10000-005	Botón Renault	4
6	13/03/2018	10000-006	Botón Volvo	2
7	13/03/2018	10000-007	Botón Seat	4
8	13/03/2018	10000-008	Botón Mercedes	2

Tabla 7 – Estudio de ahorro económico parte 1.

En la Tabla 8 se exponen los siguientes apartados, de izquierda a derecha:

- Tiempo de ciclo antiguo.
- Tiempo de ciclo nuevo. El tiempo de ciclo nuevo se calcula utilizando la Ecuación 6 en la cual se le resta al ciclo antiguo el ahorro de tiempo obtenido en la Tabla 5. Según sea aprehensión estándar o rompe tallos se le resta un tiempo u otro respectivamente.

$$T \text{ ciclo nuevo (s)} = T \text{ ciclo antiguo} - \text{Ahorro Tiempo}$$

Ecuación 6 – Cálculo tiempo de ciclo

- Máquina inyectora.
- Tonelaje de la inyectora.

Ciclo antiguo (s)	Ciclo Nuevo (s)	Máquina	Tonelaje
33	30,84	ENGEL 160T	160
33,5	31,34	ENGEL 80T	80
35	32,84	ENGEL 160T	160
32	29,84	ENGEL 250T	250
36	35,46	ENGEL 160T	160
34,5	33,96	ENGEL 80T	80
40	39,46	ENGEL 160T	160
36	35,46	ENGEL 250T	250

Tabla 8 - Estudio de ahorro económico parte 2.

En la Tabla 9 se exponen los siguientes apartados, de izquierda a derecha:

- Tasa horaria máquina. La tasa horaria es el resultado de todos los costes asociados al proceso productivo de la maquina en un tiempo dado.



- Tasa horaria personal. La tasa horaria personal es lo que cuesta el trabajador a la empresa, se incluye el salario, el pago de la Seguridad Social, ropa de trabajo, transporte, etc.).
- Cantidad de referencias pedidas por mes.
- Ahorro máquina mensual. El ahorro de máquina se obtiene utilizando la Ecuación 7 que relaciona el ahorro en tiempo de ciclo entre las cavidades que tiene el molde, la cantidad de esa referencia pedida mensualmente y la tasa horaria de la máquina en que se inyecta esa referencia.

$$\Delta\epsilon_{m\acute{a}q}/mes = \left( \frac{Ciclo\ antiguo - Ciclo\ nuevo}{Cavidades\ molde} \right) \cdot Pedido\ mensual \cdot \left( \frac{Tasa\ horaria\ M\acute{a}quina}{3600} \right)$$

*Ecuación 7 – Cálculo ahorro máquina mensual*

- Ahorro máquina anual. El ahorro máquina anual se obtiene, como indica la Ecuación 8, multiplicando por doce meses el ahorro máquina mensual.

$$\Delta\epsilon_{m\acute{a}q}/a\tilde{no} = \left( \Delta\epsilon_{m\acute{a}q}/mes \right) \cdot 12$$

*Ecuación 8 – Cálculo ahorro máquina anual*

Tasa horaria máquina	Tasa horaria personal	Pedido mensual	Ahorro máquina mensual (€)	Ahorro máquina Anual (€)
19,9	19,5	8.500	25,37 €	304,47 €
8	19,5	13.000	31,20 €	374,40 €
19,9	19,5	13.500	20,15 €	241,79 €
18,2	19,5	11.200	61,15 €	733,82 €
19,9	19,5	45.000	33,58 €	402,97 €
8	19,5	37.000	22,20 €	266,40 €
19,9	19,5	60.000	44,77 €	537,30 €
18,2	19,5	42.000	57,33 €	687,96 €

*Tabla 9 - Estudio de ahorro económico parte 3.*

En la Tabla 10 se exponen los siguientes apartados, de izquierda a derecha:

- Ahorro en personal mensual. El ahorro de personal se obtiene utilizando la Ecuación 9 que relaciona el ahorro en tiempo de ciclo entre las cavidades que tiene el molde, la cantidad de esa referencia pedida mensualmente y la tasa horaria de los operarios de la fábrica.

$$\Delta\epsilon_{per}/mes = \left( \frac{Ciclo\ antiguo - Ciclo\ nuevo}{Cavidades\ molde} \right) \cdot Pedido\ mensual \cdot \left( \frac{Tasa\ horaria\ Personal}{3600} \right)$$

*Ecuación 9 – Cálculo ahorro personal mensual*

- Ahorro anual en personal. El ahorro anual de personal se obtiene, como indica la Ecuación 10, multiplicando por doce meses el ahorro en personal mensual.

$$\Delta\epsilon_{per}/año = \left(\Delta\epsilon_{per}/mes\right) \cdot 12$$

Ecuación 10 – Cálculo ahorro personal anual

Ahorro personal mensual (€)	Ahorro personal Anual (€)	Ahorro Total Anual (€)
24,86 €	298,35 €	602,82 €
76,05 €	912,60 €	1.287,00 €
19,74 €	236,93 €	478,71 €
65,52 €	786,24 €	1.520,06 €
32,91 €	394,87 €	797,85 €
54,11 €	649,35 €	915,75 €
43,87 €	526,50 €	1.063,80 €
61,42 €	737,10 €	1.425,06 €

Tabla 10 - Estudio de ahorro económico parte 4.

Como se puede observar, la mejora es cuantiosa si la extrapolamos al año. Además, cabe destacar, que estos números se han obtenido con ocho aprehensiones. Estos datos podríamos extenderlos al parque de aprehensiones que tiene la empresa y que son válidas para el diseño en 3D.

En la Tabla 11 se indican en tres apartados la mejora económica con estas ocho aprehensiones en un año. Por un lado, tenemos el sumatorio de ahorro máquina, por otro lado, el ahorro en personal que es más elevado ya que la tasa horaria personal es mayor a la tasa horaria de la máquina.

Por último, el apartado “SUMATORIO AHORRO” determina la mejora económica total que percibiría la empresa implementando estas aprehensiones.

AHORRO EN MÁQUINA	AHORRO EN PERSONAL	SUMATORIO AHORRO
<b>3.549,11 €</b>	<b>4.541,94 €</b>	<b>8.091,05 €</b>

Tabla 11 - Estudio de ahorro económico parte 5.

## 6 CONCLUSIONES

Tras la realización del presente Trabajo de Fin de Grado, se van a exponer las conclusiones en este apartado en base a los puntos de vista económicos y funcionales.

El desarrollo de este proyecto se realizó durante la implementación del proyecto del Volkswagen Golf. Todos los moldes eran nuevos y las aprehensiones que se compraron a empresas punteras como ASS dieron problemas desde el primer momento.

En ocho de estos moldes, por su pequeño tamaño y por la problemática de las piezas, se decidió impulsar este proyecto ya que el montaje de aprehensiones convencionales era bastante complicado.

Como conclusión técnica se debe realizar el cálculo del retorno de la inversión "ROI". Para ello hay que seguir la siguiente fórmula simplificada:

$$ROI = \frac{GANANCIA - INVERSIÓN}{INVERSIÓN}$$

La ganancia obtenida con este proyecto es igual al ahorro anual calculado anteriormente y al ahorro en precio de cada una de las aprehensiones (en este caso 8).

Para simplificar los cálculos se puede estimar que existe un ahorro de 200€ en cada aprehensión impresa (los cálculos obtenidos en el apartado 5.1 indican que en la aprehensión escogida como modelo el ahorro es de 235€).

Por lo tanto, la ganancia es 9.691 € como indica la siguiente fórmula.

$$GANANCIA = 200 \cdot 8 + 8.091 = 9.691 \text{ €}$$

La inversión realizada es la suma del precio de la impresora 3D (1.990€) más el coste de formación que se recibió por parte de Ultimaker (500€) y el coste de las horas de diseño de cada nueva aprehensión (para simplificar los cálculos se extrapolarán las 6 horas de la aprehensión de modelo a las 8 aprehensiones realizadas en el proyecto).

$$INVERSIÓN = 1.990 + 500 + 6 \cdot 8 \cdot 19.5 = 3.426 \text{ €}$$

Se puede obtener como conclusión un retorno de la inversión del 183% en el primer año.

Pese al éxito de la implementación de este proyecto, se han realizado pruebas con aprehensiones de un mayor tamaño, que superan los 30cm ancho por 30cm de largo, pero no se ha logrado obtener resultados satisfactorios debido a que las limitaciones de la placa de impresión implican que, para fabricar aprehensiones de gran tamaño, se deben imprimir por partes. Esto supone unas desviaciones a la hora de montar la aprehensión que son muy difíciles de controlar debido a las contracciones del material.

Para las pruebas de moldes grandes de difícil cogida los resultados no fueron fructíferos. Para piezas fáciles no se ha utilizado esta tecnología porque las aprehensiones existentes funcionaban correctamente y, por lo tanto, la prioridad de este proyecto se destinó a aprehensiones difíciles de pequeño tamaño donde los resultados sí fueron prometedores.

Además de aprehensiones, se han creado útiles de montaje, recambios de puestos de trabajo periféricos y cunas para el retrabajo de piezas de inyección. Todos con la aprobación por parte de producción debido a su utilidad, poco peso y bajo coste.

Como conclusión personal cabe destacar la satisfacción de poder llevar a cabo, no solo de forma teórica sino práctica, un proyecto ideado por mí que ha servido de ayuda para que la empresa lograra sus objetivos en la producción de esas ocho referencias problemáticas.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Elección de componentes de compra para las aprehensiones – Catálogo Gimatic:  
<http://www.gimatic.com/es/productos?catalogo=PLASTICS&macrofamiglia=&Famiglia=&language=en>  
<https://www.ass-automation.com/en/>
- Elaboración de la descripción de la empresa – Información otorgada por el departamento de RRHH y a extraída de la página web de la empresa:  
<https://www.dr-schneider.com/es.html>
- Información e ilustraciones sobre la inyección del plástico:  
<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-i.html>
- Dimensiones tornillería y tuercas:  
<http://www.tornilleriareche.com/tuerca-hexagonal-din-934-producto>
- Propiedades de plásticos:  
[http://www.plasticsintl.com/sortable\\_materials.php](http://www.plasticsintl.com/sortable_materials.php)  
<https://ultimaker.com/download/67619/TDS%20ABS%20v3.011-spa-ES.pdf>  
<https://ultimaker.com/download/67541/TDS%20Nylon%20v3.011-spa-ES.pdf>  
<https://ultimaker.com/download/67583/TDS%20PLA%20v3.011-spa-ES.pdf>
- Impresora utilizada y formación impartida por:  
<https://ultimaker.com/>
- Descripción del manual de uso del programa Cura e ilustraciones:  
*“Manual Cura grupo Sicnova”*