



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD Y DISEÑO DE
PILOTO TRASERO PARA BICICLETAS**

Autor:

Rodríguez Martínez, Germán

Tutor:

**Santos García, Mercedes
Departamento de Química Orgánica**

Valladolid, julio de 2019.

Resumen

Debido a los problemas crecientes de contaminación, se buscan alternativas de transportes no contaminantes como son las bicicletas. La convivencia de éstas con otros vehículos en las vías implica un riesgo en la seguridad de los ciclistas, y hace necesario el aumento de su visualización y señalización en los trayectos.

En el presente trabajo, se estudia y diseña un piloto trasero para bicicletas con el objetivo de mejorar los dispositivos ya existentes.

Se estudiarán los materiales adecuados al diseño y se optimizará el proceso de producción.

Palabras clave

Bicicleta, piloto, moldeo por inyección, plásticos, diseño, impresión 3D.

Abstract

Due to the growing problems of pollution, the use of eco-transportation alternatives such as bicycles are growing. The coexistence of these with other vehicles on the roads implies a risk in the safety of the cyclists, and makes it necessary to increase their visualization and signaling on the routes.

In the present work, a rear pilot for bicycles is studied and designed with the aim of improving existing devices.

The materials appropriate to the design will be studied and the production process will be optimized.

Keywords

Bicycle, rear lamp, injection molding, plastics, design, 3D printing.



ÍNDICE

1	ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	9
1.1	JUSTIFICACIÓN.....	9
1.2	ANTECEDENTES	9
1.3	OBJETIVOS.....	18
2	CONCEPCIÓN DEL PRODUCTO	21
3	MATERIALES Y PROCESOS DE PRODUCCIÓN	38
3.1	SELECCIÓN DE MATERIAL	38
3.1.1	<i>Introducción a los materiales plásticos</i>	<i>39</i>
3.1.2	<i>Termoplásticos</i>	<i>40</i>
3.1.3	<i>Termoestables</i>	<i>64</i>
3.1.4	<i>Elastómeros.....</i>	<i>64</i>
3.1.5	<i>Selección de material para cada pieza del conjunto</i>	<i>64</i>
3.2	MODELADO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICOS.....	66
3.2.1	<i>Introducción a la inyección de plásticos</i>	<i>66</i>
3.2.2	<i>Máquinas de inyección</i>	<i>67</i>
3.2.3	<i>Moldes de inyección</i>	<i>75</i>
4	DISEÑO Y PROTOTIPADO MEDIANTE IMPRESIÓN 3D	79
4.1	HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D	79
4.2	TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D	84
4.2.1	<i>FDM – Modelado por deposición Fundida.....</i>	<i>85</i>
4.2.2	<i>SLA – Estereolitografía</i>	<i>88</i>
4.2.3	<i>DLP – Procesamiento Digital de Luz</i>	<i>90</i>
4.2.4	<i>SLS – Sinterizado Selectivo por Láser.....</i>	<i>95</i>
4.2.5	<i>SLM – Fusión Selectiva por Láser.....</i>	<i>98</i>
4.2.6	<i>EBM – Fusión por haz de Electrones.....</i>	<i>100</i>
4.2.7	<i>LOM – Fabricación mediante Laminado de Objetos.....</i>	<i>102</i>
4.3	CARACTERÍSTICAS DE LAS IMPRESORAS DISPONIBLES.....	104
4.3.1	<i>Prusa i3 MK3</i>	<i>104</i>
4.3.2	<i>Form 2</i>	<i>108</i>
4.4	DISEÑO DEL MODELO.....	111
4.4.1	<i>Consideraciones inherentes al moldeo por inyección</i>	<i>111</i>
4.4.2	<i>Diseño de piezas</i>	<i>120</i>
4.5	SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA IMPRESIÓN 3D.....	148
4.6	PREPARACIÓN DE ARCHIVOS Y CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA IMPRESIÓN	151
4.7	PROCESOS DE ACABADO Y CURADO.....	160
5	CONCLUSIONES.....	163
6	REFERENCIAS	165
6.1	BIBLIOGRAFÍA.....	165
6.2	WEBGRAFÍA.....	165
7	ANEXOS	167
7.1	ABREVIATURAS UTILIZADAS EN PLÁSTICOS Y CAUCHO.....	167



7.2 HERRAMIENTAS CATIA V5171
 7.2.1 Draft Angle171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Imágenes del producto..... 23
 Figura 2: Opciones de instalación 24
 Figura 3: Kit completo 24
 Figura 4: Dimensiones del producto final 25
 Figura 5: Control remoto instalado en el manillar..... 25
 Figura 6: Batería recargable utilizada 26
 Figura 7: Despiece del piloto del fabricante RockBros 26
 Figura 8: Imagen promocional del segundo producto analizado. 27
 Figura 9: Despiece del piloto del fabricante OneEnjoy. 28
 Figura 10: Despiece genérico de un piloto de automóvil. 29
 Figura 11: Ejemplo de lente en versiones Trunk y Fender. 29
 Figura 12: Ejemplo de carcasa con la función óptica integrada. 30
 Figura 13: Ejemplos de distintos filtros. 31
 Figura 14: Ejemplo de un radiador posicionado en la carcasa. 32
 Figura 15: Ejemplos de fijaciones a carrocería. 33
 Figura 16: Ejemplo de embellecedor externo..... 34
 Figura 17: Ejemplo de junta de estanqueidad. 34
 Figura 18: Ejemplo de dos embellecedores. 36
 Figura 19: Esquema de una máquina de moldeo por inyección con pistón..... 67
 Figura 20: Cilindro de calefacción con torpedo..... 69
 Figura 21: Evolución de la presión en una máquina de pistón 70
 Figura 22: Máquina de inyección de preplastificación con pistón en ángulo..... 71
 Figura 23: Máquina de inyección con pistón de preplastificación en línea..... 72
 Figura 24: Máquina de inyección de tornillo 73
 Figura 25: Secuencia de movimientos de una máquina de inyección convencional 74
 Figura 26: Máquina con tornillo preplastificador y pistón de inyección 74
 Figura 27: Representación esquemática de un molde de una sola cavidad 75
 Figura 28: Representación esquemática del área transversal y un corte de un molde de cuatro cavidades..... 75
 Figura 29: Esquema de diseño de flujo equilibrado 77
 Figura 30: Esquema de diseño de flujo compensado..... 77
 Figura 31: Relación de la boquilla de extrusión con la altura de capa 85
 Figura 32: Prusa i3 MK3..... 104
 Figura 33: Sensor de Filamento y ventiladores de capa..... 106
 Figura 34: Cama caliente magnética y extrusor Bondtech..... 106
 Figura 35: Sonda P.I.N.D.A 2 y pantalla en modo Pánico 106
 Figura 36: Impresora 3D Form 2 108
 Figura 37: Sistema de reflexión del haz del láser mediante espejos 109
 Figura 38: Solidificación de la resina en la placa de impresión y esquema de funcionamiento de la Form2..... 110
 Figura 39: Ejemplo de negativo..... 111
 Figura 40: Ejemplo de negativo explicación. 112
 Figura 41: Solución mediante una leve modificación de diseño y el cambio de las direcciones de desmoldeo y la situación del plano de partición. 113



Figura 42: Solución mediante la adición de una corredera	113
Figura 43: Espesor recomendado para nervios y refuerzos	114
Figura 44: Ejemplos gráficos de defectos de hundimiento y alabeo debidos a un diseño deficiente	115
Figura 45: Ejemplo de una pieza ahuecada para eliminar paredes gruesas	116
Figura 46: Impacto negativo de las transiciones de sección brascas	117
Figura 47: Impacto negativo de las aristas vivas	117
Figura 48: Diseño de las torretas de apriete	118
Figura 49: Diferentes ángulos de desmoldeo	118
Figura 50: Posibles efectos de una pared sin ángulo de desmoldeo	119
Figura 51: Despiece final del piloto	120
Figura 52: Despiece del modo de sujeción 1 perteneciente al primer modelo	121
Figura 53: Despiece del modo de sujeción 2 perteneciente al primer modelo	121
Figura 54: Conjunto de ajuste angular	122
Figura 55: Diferentes situaciones para las fijaciones del primer modelo	122
Figura 56: Análisis de desmoldeo de una de las piezas del conjunto de sujeción del primer modelo	122
Figura 57: Análisis de desmoldeo de una de las piezas de la carcasa del primer modelo	123
Figura 58: Ordenación de las operaciones en el árbol de CATIA V5	124
Figura 59: Árbol de CATIA V5 expandido	125
Figura 60: Geometría general de la pieza 1 de fijación	126
Figura 61: Creación de nervios centradores	126
Figura 62: Vista de los nervios desde la dirección de desmoldeo	127
Figura 63: Análisis visual de los ángulos de desmoldeo	127
Figura 64: Uso de la operación Draft para ajustar los ángulos de desmoldeo	128
Figura 65: Efectos de la aplicación del Draft	128
Figura 66: Generación de una superficie con ángulo de desmoldeo	129
Figura 67: Resultado final de la primera propuesta del soporte para la carcasa	129
Figura 68: Parámetros de la herramienta Draft Analysis	130
Figura 69: Análisis de la pieza a tratar en sus dos sentidos de desmoldeo	131
Figura 70: Análisis de desmoldeo. Modificación de parámetros	131
Figura 71: Visualización del ángulo de desmoldeo	132
Figura 72: Análisis de interferencias	133
Figura 73: Ventana de ejecución de la comprobación de colisiones	133
Figura 74: Ejemplo de colisión	134
Figura 75: Alerta de colisión	134
Figura 76: Resultado primera maqueta del soporte a la carcasa	135
Figura 77: Resultado primera maqueta del soporte a la carcasa fijación carcasa	136
Figura 78: Resultado de la segunda maqueta del soporte a la carcasa fijación carcasa	138
Figura 79: Piezas de la carcasa	138
Figura 80: Diferentes vistas del piloto ensamblado	147
Figura 81: Formato de archivos	152
Figura 82: Selección de módulo de mecanizado	152
Figura 83: Operación Tessellation	153
Figura 84: Exportación de mallado a .STL	153
Figura 85: Importación de piezas y operación de corte sobre una de ellas	154
Figura 86: Soportes de impresión y patrón de relleno	155
Figura 87: Configuración de parámetros de impresión 1	156
Figura 88: Configuración de parámetros de impresión 2	156
Figura 89: Configuración de parámetros de impresión 3	157
Figura 90: Configuración de parámetros de impresión 4	157



Figura 91: Configuración de parámetros de impresión 5	158
Figura 92: Configuración de parámetros de impresión 6	158
Figura 93: Estimación de tiempo de impresión y consumo de material.....	159
Figura 94: Prueba de impresión con los soportes adheridos.....	160
Figura 95: Resultado tras extraer los soportes	160
Figura 96: Prueba de lijado sobre impresión 3D en PLA.	161
Figura 97: Ejemplo de acabado tras la aplicación de una resina comercial apta para PLA ..	162
Figura 98: Pieza d ejemplo sobre la que aplicar los ángulos de desmoldeo.....	171
Figura 99: Cuadro de diálogo Draft.....	172
Figura 100: Previsualización de la operación de Draft sobre la geometría cúbica de ejemplo.	173
Figura 101: Draft Preview	173
Figura 102: Opciones adicionales.....	174
Figura 103: Ejemplo de selección de un plano como elemento limitante.....	174
Figura 104: Ejemplo de selección de un segundo plano como elemento limitante	175

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Estimación de las ventas mundiales de vehículos eléctricos entre enero de 2017 y enero de 2019.....	10
Gráfico 2: Ventas de vehículos electrificados y su cuota de mercado durante 2018	11
Gráfico 3: Encuesta sobre los beneficios del uso de la bicicleta	15

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Análisis de ventajas e inconvenientes del primer modelo comercial seleccionado. ...	25
Tabla 2: Análisis de ventajas e inconvenientes del segundo modelo comercial seleccionado.	27
Tabla 3: Material asignado a cada pieza	65
Tabla 4: Intervalo de espesor recomendado en función del material seleccionado	116
Tabla 5: Recomendaciones de ángulo de desmoldeo en función de la profundidad de la forma diseñada.	119
Tabla 6: Evolución del soporte y fijación de la carcasa	137
Tabla 7: Evolución del diseño de la carcasa.....	142
Tabla 8: Características y aplicaciones del PET. Tereftalato de polietileno.....	149
Tabla 9: Características y aplicaciones del HIPS. Poliestierro de alto impacto.	150
Tabla 10: Propiedades lo los elastómeros disponibles para la impresión 3D	150
Tabla 11: Propiedades lo los filamentos de fibra de carbono.....	151

1 ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

1.1 JUSTIFICACIÓN

Este TFG es un proyecto ambicioso que se desarrolla en plena etapa de revolución en el mundo de la locomoción. Actualmente se está desdibujando el paradigma de vehículo personal motorizado como medio de transporte principal, debido a un fuerte aumento de la contaminación, seguido de las consecuencias negativas que esto produce y de una concienciación social que evoluciona hacia un mundo más verde.

Debida a esta situación, cada vez son más las alternativas de transporte ofertadas; como el creciente boom de los patines eléctricos, el aumento del uso de transportes públicos en las zonas céntricas de las grandes ciudades y sobre todo *la vuelta de la bicicleta*. Un medio de transporte que fue inventado, aproximadamente, medio siglo antes que el motor de combustión interna y al que se le prevé una mayor longevidad.

En esta etapa de transición, al menos en España, la mayor parte de las vías urbanas no están adaptadas para la convivencia entre los vehículos motorizados y las bicicletas, lo cual, en muchas ocasiones pone en riesgo la integridad del ciclista.

Debido a la necesidad de aumentar la seguridad en estas situaciones, se pretende crear un dispositivo luminoso que reúna las funciones universales de un piloto convencional de un automóvil, como son la luz de freno automática y las luces intermitentes y que a su vez preserve las cualidades positivas de los dispositivos ya extendidos entre los ciclistas como son; la portabilidad, la ausencia de cableado, ligereza o bajos costes.

Tras una búsqueda exhaustiva del piloto ideal que reúna todas estas características, ha resultado imposible encontrar uno.

1.2 ANTECEDENTES

Este trabajo nace gracias a la asimilación y ampliación de conocimientos adquiridos a lo largo de los estudios universitarios y a través de una experiencia laboral en *Valeo Lighting*, íntimamente relacionada con el objeto del trabajo.

Valeo Lighting se trata de una sección del proveedor automotriz dedicado al desarrollo de sistemas de iluminación para una gran parte de los fabricantes de automóviles de todo el mundo.

El marco de este proyecto está motivado por el constante avance de la ingeniería como medio para facilitar y mejorar nuestras vidas.

Tras décadas de industrialización sin reparar demasiado en cuestiones medioambientales, se ha alcanzado una cota en la que el impacto de la industria en el medio ambiente es realmente importante y es vigilado con lupa desde organizaciones gubernamentales y otros tipos de organismos de interés social y medioambiental, llegando a tener, en muchas ocasiones, un fuerte impacto político. Estas condiciones se han traducido en una progresiva concienciación de la sociedad acerca de los problemas que puede generar el cambio climático y la continua búsqueda de una fórmula de desarrollo sostenible con la que la sociedad pueda avanzar sin comprometer el devenir de futuras generaciones.

Si particularizamos esta situación dentro de la industria del automóvil, podemos ver una clara tendencia hacia la comercialización de los vehículos eléctricos, siendo a su vez el inicio de la desaparición de los vehículos impulsados mediante un motor de combustión interna. Además, hemos podido observar durante los últimos meses que los vehículos alimentados mediante gasóleo parecen avocados a la desaparición en primera instancia ya que éstos, para poder cumplir actualmente con la normativa, requieren de muchos más medios en la línea de escape que los motores convencionales impulsados por gasolina, cuyos productos de combustión son, a priori, menos nocivos que los de los vehículos diésel.

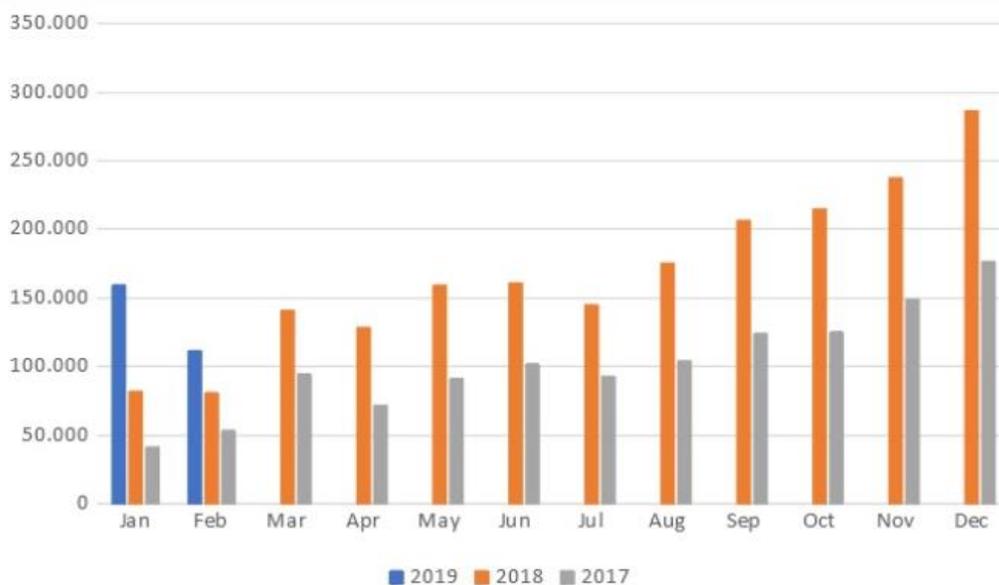


Gráfico 1: Estimación de las ventas mundiales de vehículos eléctricos entre enero de 2017 y enero de 2019

[Ref 10.]

Las ventas de vehículos eléctricos en el mundo durante 2018 llegaron a los 2,1 millones. El 69% de las ventas fueron totalmente eléctricas (EV) y el 31% fueron híbridos enchufables (PHEV).

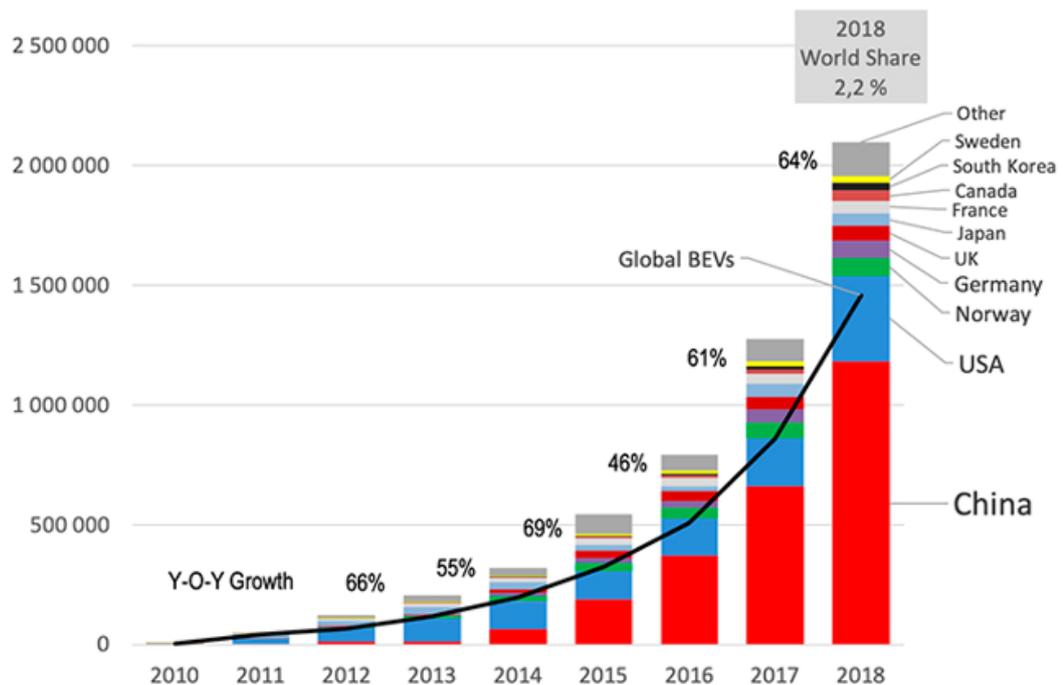


Gráfico 2: Ventas de vehículos electrificados y su cuota de mercado durante 2018

[Ref 11.]

$$CUOTA DE MERCADO = \frac{VENTAS DE LA COMPAÑÍA EN EL MERCADO}{VENTAS TOTALES DEL MERCADO}$$

En las cifras anteriormente expuestas se incluyen turismos eléctricos e híbrido-enchufables, camiones ligeros en EEUU y Canadá y comerciales ligeros en Europa y China.

El 69% de las ventas fueron totalmente eléctricas (EV) y el 31% fueron híbridos enchufables (PHEV). Los vehículos totalmente eléctricos han llegado al 3% de cuota desde 2017. Según la consultora sueca EV-volumes existen tres principales causas relacionadas directamente con este aumento. El primer factor clave, el crecimiento en China. El segundo, la llegada del Tesla Model-3.



El tercero, las pérdidas para los PHEV en Europa por la entrada en vigor del protocolo WLTP, *un ciclo de medición que estima situaciones más próximas a la vida real que el anterior NEDC (Nuevo Ciclo de Conducción Europeo) que fue implantado en el año 1992*. Esta nueva normativa de la Unión Europea requiere que todos los coches pasen la homologación de emisiones para continuar en el mercado desde el ya pasado 1 de septiembre de 2018. Esto tuvo un impacto real en el sector ya que hasta 144 modelos fueron cancelados o limitados en ventas en los concesionarios tras esta aprobación.

El mayor contribuyente de crecimiento en las mencionadas ventas de vehículos eléctricos, con diferencia, fue China. Sus ventas de eléctricos aumentaron en más de 500.000 unidades, hasta los 1,2 millones en 2018. Representó el 56% de todas las ventas de electrificados. Si se centran los focos en Europa, aunque el cambio no sea fácilmente apreciable, la evolución estadística es sustancial en los últimos dos años. Las ventas de vehículos eléctricos en Europa alcanzaron 408 000 unidades en 2018, un 33% más que en 2017.

Como dato particular, en febrero de 2018, la gasolina volvió a hacerse un hueco tras muchos años de dominio en ventas del Diesel, alcanzado una cuota de automóviles de gasolina del 56.4% frente al 38.2% del Diesel.

Y es que tras el escándalo del Dieseltgate de Volkswagen, el cambio de normativa para la medición de las emisiones de los coches Diesel o las restricciones de acceso de vehículos con esta motorización en algunas grandes ciudades, han puesto en entredicho el recorrido que le resta al Diesel, como se ha introducido anteriormente.

Al margen del futuro incierto del Diesel, la gasolina no es la única alternativa. De hecho, todo apunta a que seguirá la misma línea de desaparición. En mayo de 2018, ante el auge de los coches eléctricos y, por ende, de los materiales que componen las baterías, nos vemos inmersos en una escena novedosa donde nos encontramos con una nueva forma de movilidad. Pero actualmente existen varios hándicaps que nos hacen pensar que aún falta mucho por recorrer en la carrera hacia la electrificación de los vehículos. Uno de los grandes problemas es la escasez de materias primas y las limitaciones que las baterías de iones-litio presentan. Ambos son obstáculos, hoy en día, complicados de superar. Ante este dilema, las baterías de estado sólido se han postulado como solución definitiva para el desarrollo de vehículos eléctricos.

De esta forma, los principales fabricantes japoneses se han asociado con el Gobierno con el fin de desarrollar baterías en estado sólido y hacer de esta manera frente a la competencia actual. Se han marcado un horizonte realmente prometedor y es que buscan los 800km de autonomía pasando por un jalón en 2025 de 550km. En dicho programa –activo desde el mes de mayo

de 2018- participan fabricantes tan importantes como *Toyota, Panasonic, Nissan, Honda* y *el fabricante de baterías GS Yuasa*.

Junto al problema existente con las baterías, se observa que nuestro país, España, es de los países europeos con menos aceptación y matriculaciones de vehículos eléctricos, como demuestra el 0,32% de cuota del mercado frente al 1,7% de la media europea, como mantiene el Observatorio Europeo de Energías Alternativas. Es interesante comparar el número de matriculaciones que se dio en el año 2017 en Noruega (33.025) frente a los 3.920 de España, lo que demuestra la inferioridad de las cifras nacionales frente a otros países europeos. Posiblemente estas evidencias estén ligadas a otros muchos factores, como pueden ser el número de estaciones de carga, la economía, la autonomía que ofrecen actualmente este tipo de vehículos, o la escasez de oferta disponible.

Con todo ésto, queda claro que la tendencia en el mundo del transporte tiende hacia un horizonte más verde y la evolución industrial del automóvil no es la única baza por la que se ha apostado.

Como se ha señalado al inicio de esta introducción, una de las claves del cambio ha de ser la concienciación social. En este sentido, podemos señalar la importancia de diferentes acciones que se han ido consolidando a lo largo de las últimas décadas, como jornadas restringidas a transportes públicos, tráfico restringido en el casco de las grandes urbes, implantación de estaciones de carga para los vehículos eléctricos, creación de servicios municipales de alquiler de bicicletas, adaptación de carriles para bicicletas y otros transportes no motorizados, etc.

Con todas estas medidas, han aparecido otras vías de transporte movilidad “verde”. Algunas de estas opciones son también eléctricas como bicicletas eléctricas, los autobuses, los segways, los hoverboards o los patinetes eléctricos. [Ref 12.]

Hasta ahora, se ha expuesto un nuevo horizonte en el mundo del transporte, diferentes alternativas surgidas ante estos cambios y la creciente importancia que representa la concienciación social ante los problemas generados por la contaminación. Pero dichos problemas no se han afrontado únicamente a través de novedosos medios de transporte y nuevas fórmulas de negocio con las que reducir los contaminantes en las ciudades. A raíz de este punto de inflexión hemos podido observar un aumento sustancial del uso de la bicicleta en los cascos urbanos. La bicicleta tal y como la conocemos desde hace más de dos siglos. Un invento que nunca ha dejado de ser funcional y que con la



revolución industrial vio diluido su uso en las grandes ciudades, pero que está reapareciendo gracias a al marco expuesto.

Su uso actual en las urbes, en muchas ocasiones se realiza compartiendo vía con vehículos motorizados. En el particular caso de España, es cierto que a la adaptación de las vías para que la convivencia entre ambos vehículos sea segura, le queda aún un inmenso recorrido hasta que se pueda equiparar con otros países europeos donde su uso está mucho más extendido. Como caso particular, en Valladolid, en mayo de 2018, el Ayuntamiento de Valladolid, a través de la Concejalía de Urbanismo, aprobó una partida de 601.800 euros destinada para las obras y los estudios de mejora de doce carreteras de acceso y salida de la ciudad. Entre esas mejoras, figura la prolongación, allá donde sea posible, de los canales para las bicicletas hasta los límites del término municipal, dentro de la intervención planeada en doce vías de acceso y salida, se complementaría con la inversión prevista por la Concejalía de Seguridad y Movilidad para conectar la red de ciclocarriles que surca el casco histórico con los barrios de la ciudad. Hasta entonces había en servicio 3.837 metros en tres tramos principales. Se pretendía con este proyecto que le siguieran otros 2,4 kilómetros. La idea que estaba en mente de los ejecutores de dicho proyecto es que la red recorriera prácticamente todo el centro con los barrios para favorecer la movilidad del ciclista. También se consideraron, en el momento de su planteamiento, dichos canales como vías pacificadoras de tráfico además de vías que favorecen la protección de los ciclistas.

A finales de 2017 se elaboró un documento donde se desgranaban los aspectos y cifras más destacadas del último *Barómetro de la bicicleta en España*, elaborado por la Red de Ciudades por la Bicicleta y la Dirección General de Tráfico publicado a finales de 2017. Una de las preguntas que se plantearon en el estudio fue *¿Cuáles son las ventajas de usar la bicicleta?* Destacando una ventaja principal sobre el resto, el 40% del conjunto de la población (usuarios y no usuarios) piensa que la principal ventaja es la salud. La segunda ventaja más citada es que no contamina (18%), mientras que el 15% de la población cree que la principal ventaja es su movilidad, es decir, que es rápida para moverse por la ciudad ya que evita atascos y ofrece libertad de movimientos y facilidad de estacionamiento. Solo el 7% afirma que la principal ventaja es que se trata de un medio de transporte económico. Separando la encuesta por grupos de edad, se dedujo que los ciudadanos entre 40 y 70 años piensan que la principal ventaja es la salud. Sin embargo, los más jóvenes dicen que la principal ventaja es la movilidad y su carácter ecológico por partes iguales.

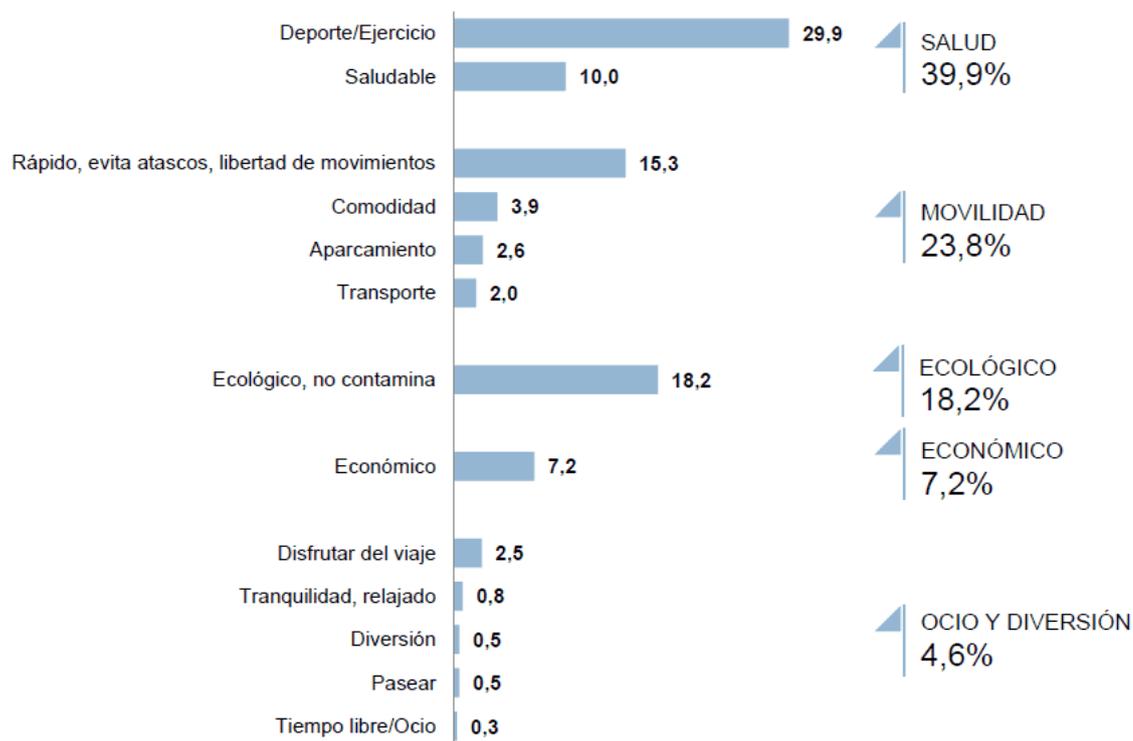


Gráfico 3: Encuesta sobre los beneficios del uso de la bicicleta

Por lo que, ante estas evidencias, la promoción del uso de la bicicleta es un hecho actual e imparable y ligado a su creciente uso, existe una reacción lógica enfocada a un continuo desarrollo de las medidas de prevención y seguridad. Por una parte, son de vital importancia las medidas de seguridad obligatorias impuestas por las autoridades como la iluminación cuando existe escasa visibilidad o los elementos reflectantes. [Ref 13.]

Se han desarrollado elementos realmente sorprendentes de cara a la seguridad de los ciclistas como, por ejemplo, los primeros *airbags wearable* que se despliegan en forma de casco o indicadores láser de la distancia de seguridad a respetar por el resto de los vehículos. A pesar de los avances, aún resulta complicado extender el uso de algunos de los más difíciles de comercializar debido a su elevado coste.

Cualquier persona con cierta experiencia al volante podrá afirmar lo sistemático que resulta actualmente reaccionar ante ciertos estímulos como la luz de freno del vehículo que tenemos justo enfrente o a prever una maniobra cuando éste activa uno de sus intermitentes. Son elementos tan presentes en nuestro día a día que nuestras reacciones son prácticamente actos-reflejos y al fin y al cabo funcionan como elementos de seguridad pasiva.

¿Cuántas veces se ha encontrado conduciendo en un estado ligeramente distraído y ha sido una luz de freno la que ha despertado su alerta para permitir



maniobrar con el fin de evitar la colisión? Lo ideal es que esto no ocurriera nunca, pero lo cierto es que es una situación incontrolable que tarde o temprano le ocurre a la gran mayoría de los conductores. Es un hecho, por tanto, que los indicadores luminosos en los vehículos son un elemento imprescindible en la seguridad vial. Pero ¿Qué pasa con las bicicletas?

Actualmente, la normativa sobre luces en vehículos exige entre la puesta y la salida del sol que los ciclistas vayan provistos de una luz trasera roja fija y una delantera blanca. La comunidad ciclista reclama la modificación de la normativa para que la luz trasera pueda permanecer en modo de parpadeo, argumentando una mayor visibilidad en dicho modo.

Es cierto que esta normativa supone un avance y que aumenta la visibilidad de dichos vehículos, pero la normativa no dice nada sobre la potencia lumínica de dichas luces y tampoco incluye luces de intermitente ni la luz de freno.

Uno de los gestos más habituales de un ciclista en un entorno urbano es el de señalar el giro mediante la extensión horizontal del brazo análogo a dicho giro. Es una señal suficiente para un conductor atento, aunque algo contradictoria ya que, para algunos ciclistas menos experimentados, puede suponer una situación de riesgo tanto por pérdida de estabilidad y control como por la incapacidad de utilizar uno de los frenos cuando se realiza dicha señalización. Además, en situaciones de visibilidad reducida, como pueden ser las horas de poca luz, este movimiento pasa mucho más desapercibido ya que la luz proyectada por los automóviles suele alcanzar una altura inferior a la del ciclista con el objetivo de no molestar a otros conductores.

Respecto a las luces de freno, ese extra de seguridad que aporta en los vehículos motorizados no existe en las bicicletas, pues los conductores únicamente se podrán valer del cálculo sistemático que realiza nuestro cerebro al aproximarse al ciclista a una mayor velocidad y no de ese estimulante visual que nos proporciona la propia luz de freno y nos advierte de que el vehículo anterior está reduciendo su velocidad.

Hoy en día, no existe ningún dispositivo extendido entre la comunidad de ciclistas que aúne ambas funciones: freno y señalización de giro. Por separado, existe un reducido abanico de posibilidades, que en ninguno de los casos es económica para un ciudadano medio en nuestro país. Y puesto que la normativa tampoco lo exige, lo más frecuente es que un ciclista vaya provisto de una luz trasera roja con modo fijo y modo intermitente, pudiendo alternarlos de manera manual, y una luz delantera blanca con propiedades semejantes. Es difícil de valorar si esta señalización es suficiente, pero, desde luego, se puede mejorar.

Por todo esto, como la seguridad no debería ser un privilegio de unos pocos, la motivación de este proyecto será la de diseñar y crear un dispositivo luminoso de seguridad pasiva genérico para todo tipo de bicicletas y medios de transporte que carezcan de un sistema eléctrico que lo incluya, a un precio económico y fácilmente adaptable a cualquier soporte.



1.3 OBJETIVOS

Por todo lo expuesto anteriormente, el Objetivo General de este Trabajo Fin de Grado será diseñar y crear un dispositivo luminoso de seguridad pasiva genérico para todo tipo de bicicletas y medios de transporte que carezcan de un sistema eléctrico que lo incluya, a un precio económico y fácilmente adaptable a cualquier soporte.

Se desarrollará el proyecto a través de los siguientes Objetivos Específicos:

1. Concepción.

En la fase de concepción, se definirán las principales características del producto, que lo diferenciarán del resto, y que justificará la elaboración de este proyecto. Se tratarán cuestiones relacionadas con la ergonomía y practicidad del producto.

También se tratará de evidenciar ciertas características comunes presentes en los productos que ya están en el mercado y se propondrán ideas para mejorarlas, aportando un valor extra al producto a desarrollar.

2. Investigación sobre posibles materiales en función de sus procesos de producción.

Se realizará un estudio sobre los materiales comúnmente utilizados en este tipo de productos y los procesos de producción mediante los cuales se conforman. En base al estudio de viabilidad, elegiremos una vía de producción para desarrollar un proyecto en el que se considerarán las limitaciones impuestas por estas primeras decisiones.

3. Diseño

Una vez definidas las piezas de conjunto necesarias en la etapa de concepción y elegidos los materiales y los procesos de producción, en la fase de diseño se creará mediante un software de Diseño Asistido por Ordenador -*Catia V5*-, cuyo aprendizaje está incluido en el plan de estudios del grado, el conjunto de piezas que formarán el producto final. En este proceso se tomará en cuenta el proceso de producción elegido y sus correspondientes limitaciones de diseño.

4. Prototipado mediante impresión 3D

Se realizará un estudio previo sobre las posibilidades que ofrece la impresión 3D, focalizando la atención en el modelado por deposición fundida MDF. También se pretende realizar una valoración para diseñar e imprimir algunas piezas del conjunto mediante estereolitografía o SLA, método de impresión 3D basado en diferentes principios que se desgranarán más adelante.



Mediante una combinación de ambas técnicas se realizará un prototipo funcional con el que se pretende poner un punto de partida para el desarrollo del piloto ideal.



2 CONCEPCIÓN DEL PRODUCTO

En el apartado de justificación y objetivos, se ha expuesto la motivación por la que en este trabajo tratará de crear un dispositivo luminoso de seguridad pasiva para cubrir algunas de las necesidades de los ciclistas en convivencia con otros vehículos motorizados. En definitiva, un piloto trasero para una bicicleta con las funciones de freno e intermitentes.

En este apartado, el objetivo será definir las cualidades y funcionalidades del producto que se desea conseguir.

Para evaluar el nivel de necesidad, y si realmente existe o no un producto que cumpla con los objetivos que se proponen en este trabajo, se ha realizado en primer lugar un estudio de mercado basado en productos especializados para bicicletas y acudiendo a plataformas especializadas y otras plataformas multidisciplinares donde se encuentra a la venta prácticamente cualquier tipo de producto que exista, como pueden ser amazon, ebay o aliexpress. Tras una búsqueda exhaustiva, los productos que más se asemejan a los objetivos buscados, no los cumplen. Se ha observado que existen múltiples dispositivos con luces intermitentes, distintos modos de luz e incluso existe algún dispositivo con un acelerómetro integrado capaz de simular la luz de freno, pero he de decir que, como autor de este trabajo, a día 20 de junio de 2019 no existe ningún dispositivo comercial capaz de aunar ambas funciones cumpliendo con los requisitos deseados.

Actualmente los dispositivos luminosos para bicicletas comparten varias características

- Portabilidad
- Rápida instalación
- Ausencia de cableado (instalar-desinstalar para evitar robos y desperfectos)
- Estanqueidad
- Tamaño reducido
- Peso reducido

¿Cómo añadir las funcionalidades anteriormente mencionadas sin que se pierdan las principales características de los dispositivos ya existentes a los que todo el mundo está acostumbrado?

Son dos funciones distintas y existen maneras distintas de tratarlas.



En un automóvil convencional accionamos los intermitentes mediante un interruptor manual situado en un lateral del volante o la luz del freno a través de un actuador situado bajo el pedal y directamente conectado con los pilotos traseros. En este caso no tenemos el problema de ocultar el cableado correspondiente a los sistemas de iluminación ya que no son dispositivos portátiles y, por lo tanto, dicha red de cables no supone un problema ergonómico para el usuario.

Uno de nuestros objetivos es preservar la portabilidad y versatilidad del producto por lo que uno de los objetivos de este proyecto será plantear una solución a este problema. Si bien, la parte electrónica y de programación no será objeto de desarrollo ya que son materias de las que no dispongo el conocimiento suficiente como para desarrollarlas. A pesar de que sean materias que no se van a desarrollar en este proyecto les corresponde parte del desarrollo de este, ya que ha sido necesario realizar un estudio de viabilidad antes de comenzar con el diseño del prototipo. El estudio ha consistido en la adquisición, por separado, de productos que incluyan las funciones deseadas, despiece de éstos, comprobación de componentes y búsqueda de alternativas; ya que antes de comenzar la etapa de diseño, resulta fundamental tomar nociones de lo que pueden ocupar los componentes que va a albergar, cuáles son estos y qué tipo de fijaciones van a necesitar.

De esta forma se ha extraído la PCB “placa de circuito impreso”, que se utilizará para conformar el diseño del prototipo, y se han obtenido conocimientos acerca de las posibilidades de desarrollar un sistema electrónico adaptado a las necesidades del producto. También, a través de la búsqueda, se han encontrado otras alternativas interesantes para dar solución al problema planteado.

La solución más evidente y parecida al problema que se ha planteado es la base de un proyecto desarrollado y publicado por **Adafruit**, empresa fundada en 2005 por la hacker e ingeniera del Instituto Tecnológico de Massachusetts, Limor "Ladyada" Fried. El objetivo por aquel entonces era crear el mejor lugar en línea para aprender electrónica y fabricar los productos mejor diseñados para acercar estas tecnologías a creadores de todo rango de edad y cualquier nivel de habilidad. A día de hoy, la empresa cuenta con más de 100 empleados en el corazón de Nueva York con una fábrica de más de 45,000 metros cuadrados. Adafruit ha ampliado las ofertas para incluir herramientas, equipos y componentes electrónicos que su creadora selecciona, prueba y aprueba personalmente antes de incluirlos en el catálogo de la tienda de Adafruit. Al margen del estudio, y como dato adicional, Adafruit es una empresa 100% propiedad de mujeres, muestra del avance positivo en la igualdad de género dentro del mundo de la ingeniería. El proyecto mencionado data de 2013 su nombre es *flora brakelight backpack* y se trata de una ingeniosa adaptación de

una mochila para que ésta cumpla las mismas funciones que cumplen los pilotos traseros de un coche o una motocicleta, es decir, para emitir señales luminosas que adviertan al vehículo a su estela de la próxima maniobra.[Ref 14.], [Ref 1.]

Tras esta investigación, queda claro que la viabilidad del proyecto es real.

A partir de este momento, el objetivo es crear un diseño adaptativo para que cuando se diseñe el correspondiente circuito electrónico con sus componentes se pueda adaptar con facilidad.

Tomando como punto de partida los artículos obtenidos;

1. RockBros Bicycle Light USB Rechargeable Tail Light LED



Figura 1: Imágenes del producto



Figura 2: Opciones de instalación



Figura 3: Kit completo

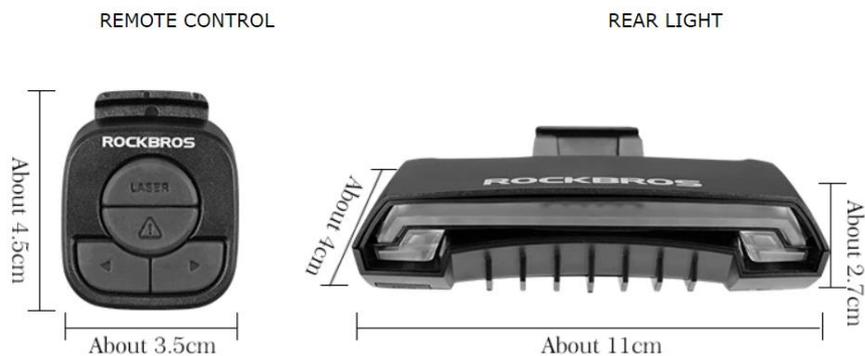


Figura 4: Dimensiones del producto final

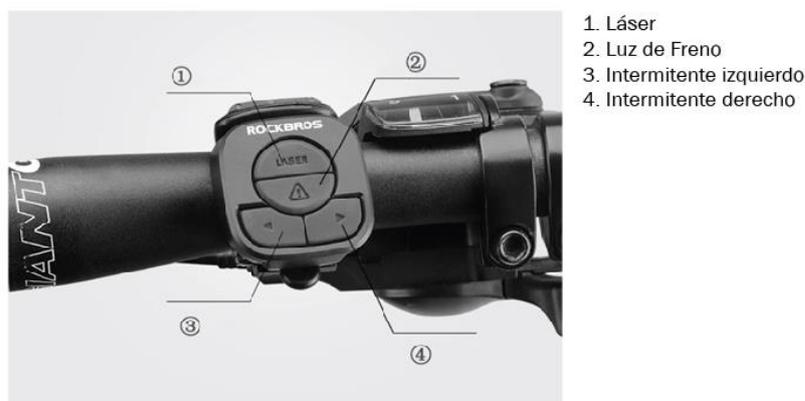


Figura 5: Control remoto instalado en el manillar

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Batería recargable mediante conexión USB.	Ausencia de función de luz de freno real.
Posición ajustable.	Tamaño superior al necesario.
Función de intermitente inalámbrica.	
Función luz fija.	
Función luz intermitente.	
Función láser - distancia de seguridad.	
Sistema de sujeción seguro y cómodo	
IPX4*	

Tabla 1: Análisis de ventajas e inconvenientes del primer modelo comercial seleccionado.

*Código que indica la clasificación de resistencia al agua y al polvo El dispositivo es resistente al agua para lluvias moderadas, sin embargo, no es estanco, por lo que no es recomendable sumergirlo en líquidos

De este modelo se extraerán las PCBs del mando y del piloto -Figura 7- con el objetivo de desarrollar un prototipo adecuado a estos componentes. También se utilizará la batería que se muestra a continuación en la Figura 6, con un diámetro de 18,2mm y una longitud de 64,7mm.



Figura 6: Batería recargable utilizada



Figura 7: Despiece del piloto del fabricante RockBros

2. Luz de freno inteligente del fabricante One Enjoy

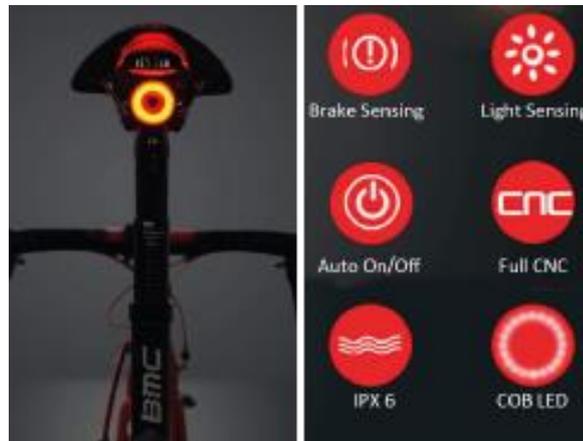


Figura 8: Imagen promocional del segundo producto analizado.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Batería recargable mediante conexión USB.	Ausencia de luz de intermitente.
Tamaño reducido.	Luz de freno automática poco precisa.
Función de luz de freno automática.	Ausencia de calibración para la activación.
Función luz fija.	Sistema de sujeción poco sofisticado.
Función luz intermitente.	Batería de menor capacidad que en el 1º
Sistema de sujeción seguro y económico.	
Acabado agradable y robusto.	
IPX6*	

Tabla 2: Análisis de ventajas e inconvenientes del segundo modelo comercial seleccionado.

*Código que indica la clasificación de resistencia al agua y al polvo El dispositivo es resistente al agua para lluvias moderadas, sin embargo, no es estanco, por lo que no es recomendable sumergirlo en líquidos.

En este caso, también se ha realizado un despiece del piloto, donde se ha podido observar, que la complejidad del conjunto es menor y se ha reafirmado la idea de implantar una luz de freno automática es perfectamente viable y en un tamaño realmente reducido.



Figura 9: Despiece del piloto del fabricante OneEnjoy.

Tras analizar los artículos anteriormente expuestos, se observa que hay muchos componentes y funcionalidades que se pueden aprovechar, también hay otras que se pueden mejorar o combinar.

Antes de definir las piezas necesarias, se presenta a continuación un despiece genérico de un piloto de automóvil, que presentará varias sinergias con el producto que se pretende desarrollar y supondrá la última etapa de influencias antes de comenzar el desarrollo del proyecto.

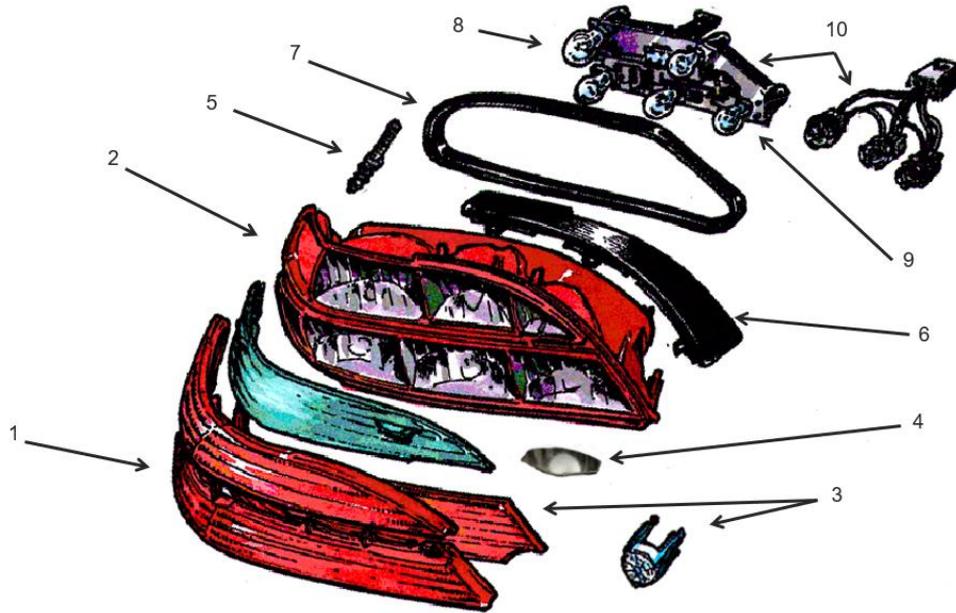


Figura 10: Despiece genérico de un piloto de automóvil.

Sobre la [Figura 10](#) se pueden observar las piezas que componen el conjunto de un piloto para un automóvil convencional. A continuación, atendiendo a su numeración, se describirá cada una y sus correspondientes funciones y cualidades, con el objetivo de aplicar estos conocimientos al desarrollo del proyecto.

1. Lente *Lens*

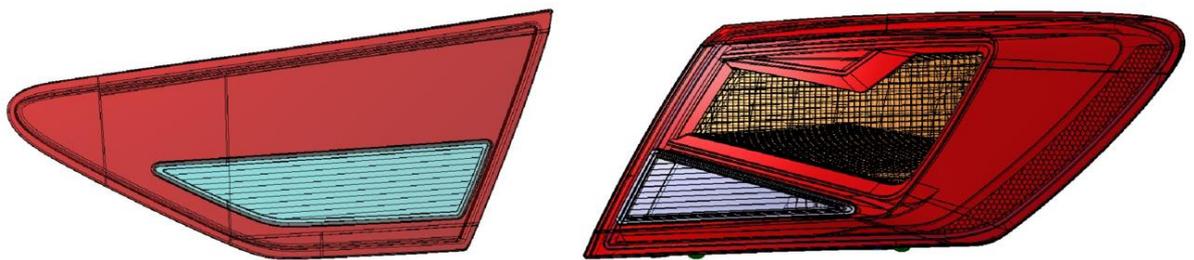


Figura 11: Ejemplo de lente en versiones Trunk y Fender.

- **Funciones:**
 - Asegurar el sellado y protección de la luz trasera.
 - Asegurar eventualmente funciones ópticas y colorimétricas.
 - Forma parte del estilo.
- **Características especiales:**

- Pieza transparente
- Distintas coloraciones
- Resistencia UV
- Resistencia a ser rayado y a golpes con pequeñas piedras.
- *Acabados:*
 - Barnizado especial para proteger al polímero de distintos agentes externos.
- *Requerimientos termo-mecánicos:*
 - No necesita soportar ningún esfuerzo mecánico.
 - Se busca la mayor resistencia a impactos posible.

En lo que se refiere a este proyecto, será necesaria una pieza a través de la cual se trasfiera la luz, aunque probablemente tenga un carácter ligeramente diferente, pues en los automóviles la lente va soldada a la carcasa con el fin de asegurar la estanqueidad del piloto siendo el proceso de soldadura uno de los puntos críticos en proyectos de este tipo.

Hay varios tipos de soldadura entre piezas plásticas, el más común y económico es la soldadura por vibración que requiere de un diseño específico y exigente, además de un proceso extra de fabricación que encarecería considerablemente el proyecto.

2. Carcasa

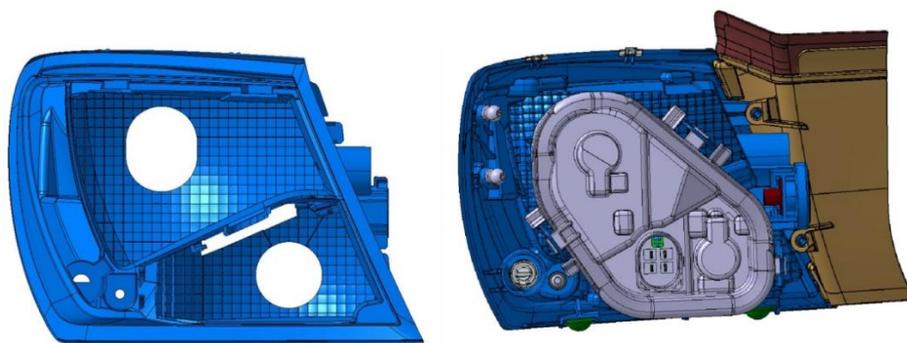


Figura 12: Ejemplo de carcasa con la función óptica integrada.

- *Funciones:*
 - En ocasiones incluye las funciones ópticas, en otras ocasiones estas funciones suponen una pieza extra denominada Reflector.



- Es la pieza que está en contacto directo con la carrocería.
- Asegura eventualmente el sistema de posicionamiento de la lámpara en la carrocería del automóvil.
- Incluye el sistema de estanqueidad.
- Incluye el portalámparas cuando no es una versión LED.
- Participa ligeramente en el estilo, ya que es la pieza que va soldada a la Lente
- *Características especiales:*
 - Pieza opaca capaz de evitar las fugas de luz.
- *Acabados:*
 - Barnizado especial para proteger al polímero de distintos agentes externos.
- *Requerimientos termo-mecánicos:*
 - Capacidad de absorber impactos y vibraciones.
 - Cierta resistencia térmica.

En este proyecto será necesaria una carcasa que albergue la PCB y la batería. Será una pieza fundamental que vaya directamente unida a la bicicleta a través del soporte.

3. Filtros y tapas

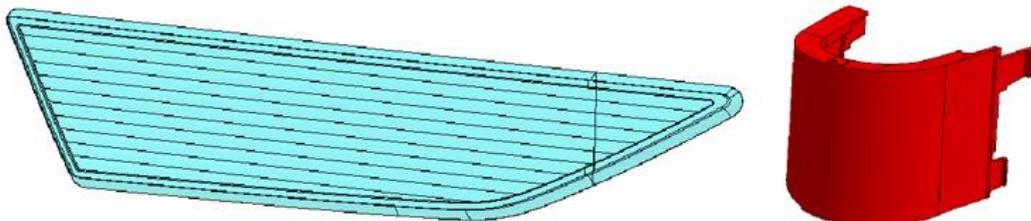


Figura 13: Ejemplos de distintos filtros.

- *Funciones:*
 - Asegurar una función complementaria de la lente o de la carcasa que puede ser óptica, colorimétrica o simplemente de protección.
 - Forma parte del estilo.
- *Características especiales:*

- Pieza traslucida o transparente que permite el paso directo o difuminado de la luz.

➤ *Acabados:*

- Barnizado especial para proteger al polímero de distintos agentes externos.

➤ *Requerimientos termo-mecánicos:*

- No necesita soportar ningún esfuerzo mecánico.
- Se busca la mayor resistencia a impactos posible.

En este proyecto, puesto que se prescindirá de un proceso de soldadura entre la lente y la carcasa, se tratará de combinar las funciones de filtro y lente en una sola pieza.

4. Radiador

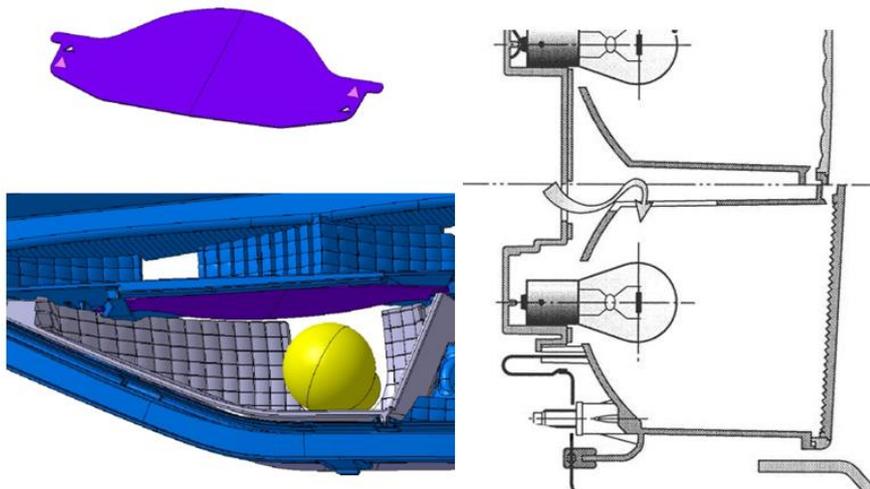


Figura 14: Ejemplo de un radiador posicionado en la carcasa.

➤ *Funciones:*

- Asegurar la protección térmica de la carcasa y el embellecedor.
- No forma parte del estilo. De hecho, una de las tareas del diseño es conseguir reducir al máximo su visibilidad.

➤ *Características especiales:*

- Pieza metálica generalmente conformada mediante procesos de corte y plegado.

➤ *Acabados:*

- No necesita la aplicación de acabados superficiales.

- *Requerimientos termo-mecánicos:*
 - Capacidad de disipación de energía calorífica.

En este proyecto no será necesaria la instalación de un radiador para la disipación del calor, ya que no se van a generar temperaturas que pongan en peligro la integridad de los componentes.

5. Fijaciones

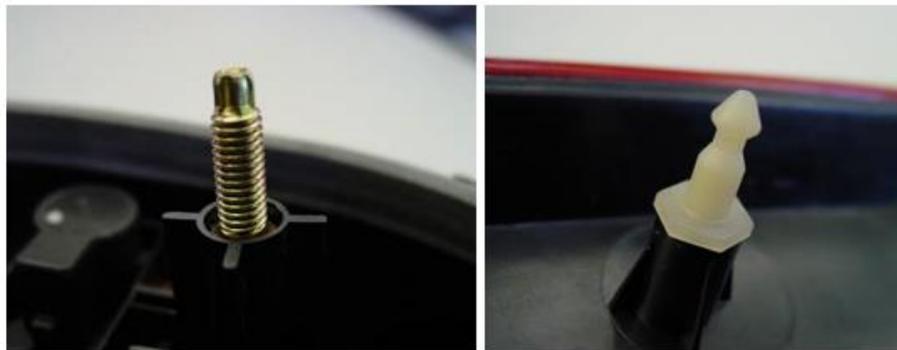


Figura 15: Ejemplos de fijaciones a carrocería.

- *Función:*
 - Fijar el conjunto a la carrocería.

Para el desarrollo del piloto de la bicicleta, el planteamiento ha de ser distinto al de las fijaciones entre el piloto y el automóvil, ya que queremos preservar el carácter portable del dispositivo. Además, trataremos de realizar un diseño que no requiera la utilización de taladros roscados en algún componente de la bicicleta.

6. Embellecedor externo



Figura 16: Ejemplo de embellecedor externo.

Es una pieza que se utiliza cuando el proyecto requiere de una parte fija a carrocería y una móvil en el maletero. Su principal cometido es el de asegurar una buena apariencia del vehículo cuando el maletero está abierto al mismo tiempo que reduce el gap entre el piloto y la carrocería del automóvil.

Carece de interés para el desarrollo de este proyecto.

7. Junta de estanqueidad

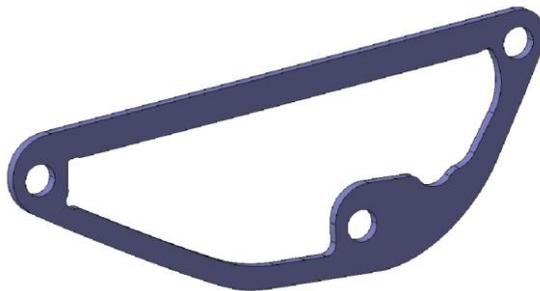


Figura 17: Ejemplo de junta de estanqueidad.

➤ Funciones:

- Asegurar la estanqueidad del vehículo siendo aislante entre la carcasa y la carrocería del automóvil.

o

- Asegurar la estanqueidad de la lámpara situándose entre la carcasa y el portalámparas.

- *Características especiales:*
 - Altas prestaciones frente a agentes atmosféricos
 - Carácter aislante térmico y eléctrico.
 - Propiedades impermeabilizantes
- *Acabados:*
 - No necesita la aplicación de acabados superficiales.
- *Requerimientos termo-mecánicos:*
 - Buena resistencia a la abrasión y al desgaste.
 - Cierta resistencia elástica.

Extrapolando esta necesidad existente en los pilotos para automóviles al proyecto a desarrollar en este trabajo, podría ser necesaria una pieza de estas características para conseguir un buen nivel de impermeabilidad.

Las piezas enumeradas a continuación carecen de interés para el desarrollo de este trabajo, ya que se pretende desarrollar una versión LED con el objetivo de crear un producto de tamaño reducido, bajo consumo energético y económico.

8. Bombillas *Bulbs*
9. Circuito *Cut Circuit*
10. Portalámparas y cableado *Bulb Holder / Harness*

Por tanto, estos tres elementos, serán sustituidos por una placa PCB que integrará los módulos necesarios para cumplir con las funciones deseadas.

11. Embellecedor

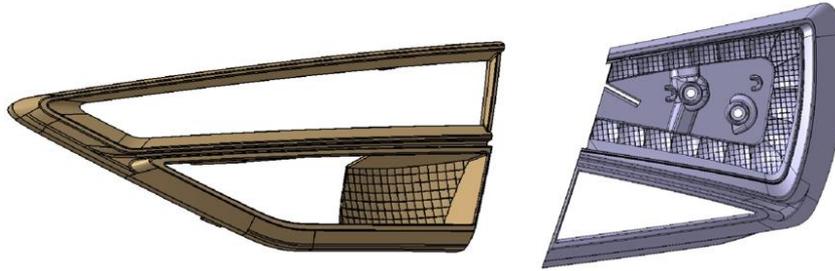


Figura 18: Ejemplo de dos embellecedores.

- **Funciones:**
 - Alcanzar los objetivos de estilo.
 - Ocultar los gaps y defectos
 - En ocasiones contiene superficies ópticas.
 - Ayudar a reducir las fugas de luz entre distintas funciones.
- **Características especiales:**
 - Composición ligeramente flexible que ayuda a su adaptación al resto de componentes del conjunto.
- **Acabados:**
 - En ocasiones, cuando la pieza contiene superficies ópticas que cumplen la función de reflector, el acabado seleccionado es metalizado para conseguir una máxima reflexión.
 - Es una pieza de estilo por lo que se tratarán de minimizar los errores de acabado en la parte visible de la pieza
- **Requerimientos termo-mecánicos:**
 - Cierta flexibilidad en los ajustes con otras piezas.
 - No sufre esfuerzos mecánicos ni impactos.

En este proyecto será necesaria una pieza que oculte los entresijos del piloto, como pueden ser la batería o la placa PCB, por lo que habrá una pieza análoga a la descrita en este apartado.

12. Respiradero

Existen diferentes tipos de sistemas de ventilación. Sus funciones principales son las de equilibrar la presión y la humedad en el interior del dispositivo impidiendo a su vez la entrada de polvo y agua.

En un principio no se va a considerar la necesidad de incluir esta pieza en el conjunto del piloto ya que las temperaturas generadas en el interior del dispositivo serán considerablemente menores que en los dispositivos de los automóviles y gracias a esto, el riesgo de condensación en el interior del piloto será muy reducido. A pesar de ello para la elaboración final del proyecto sería conveniente realizar los ensayos pertinentes para confirmar la ausencia de necesidad de dicho dispositivo.

Tomando en cuenta todo lo señalado anteriormente y partiendo desde la bicicleta hacia afuera del piloto, se puede hacer un listado las piezas necesarias para desarrollar el producto.

Esencialmente, serán cuatro las piezas a desarrollar:

1. Soporte y fijación
2. Carcasa *Housing*
3. Embellecedor *Bezel*
4. Filtro / Lente *Screen / Lens*

[Ref 20.]



3 MATERIALES Y PROCESOS DE PRODUCCIÓN

Igual que en la etapa de concepción, donde el punto de partida es un proceso de investigación sobre los artículos ya presentes en el mercado con finalidades similares. Se centrará la atención en los dispositivos de iluminación para bicicletas, motocicletas y automóviles, la gran mayoría de ellos están compuestos por piezas moldeadas en materiales plásticos que más adelante se desgranarán con detalle. Además, tras haber pasado por la etapa de concepción y haber definido las principales características del producto que se desea desarrollar, se pueden definir algunas consideraciones que serán los pilares para hacer una buena selección de materiales dentro de la familia de los plásticos. Posteriormente se hará una introducción a los procesos de producción necesarios para desarrollar el producto.

3.1 SELECCIÓN DE MATERIAL

La decisión sobre la selección del material correspondiente a cada pieza es uno de los puntos duros en cualquier proyecto. Sus repercusiones llegan hasta el precio final del producto pasando por la etapa de diseño y fabricación además del impacto post-venta, en la vida útil de la propia pieza.

Para tomar la decisión sobre el material a utilizar para cada pieza del conjunto se tratará de seguir un flujo lógico ilustrado en el siguiente diagrama.

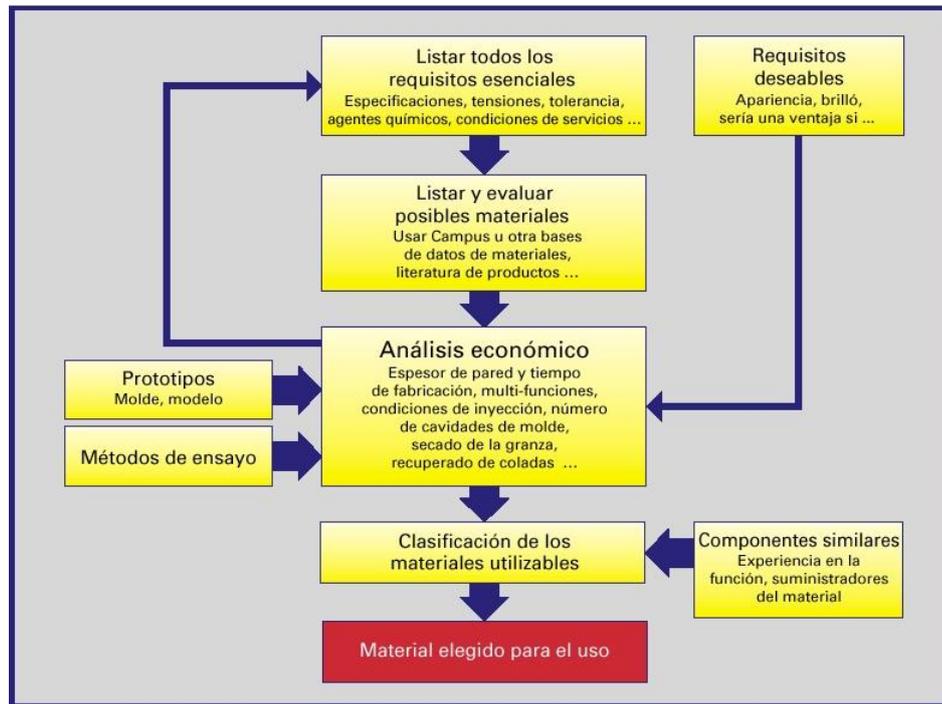


Diagrama 1: Proceso de selección de materiales

3.1.1 Introducción a los materiales plásticos

Tras analizar en la etapa de concepción varios ejemplos de productos presentes en el mercado de similares características al que se pretende desarrollar, parece lógico pensar que el material idóneo para desarrollar el proyecto será el plástico.

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas denominadas polímeros, de estructura macromolecular que puede ser moldeada mediante calor o presión y cuyo componente principal es el carbono. Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico llamado polimerización. Los plásticos proporcionan el balance necesario de propiedades que no pueden lograrse con otros materiales, por ejemplo: color, poco peso, tacto agradable y resistencia a la degradación ambiental y biológica.

De hecho, plástico se refiere a un estado del material, pero no al material en sí: los polímeros sintéticos habitualmente llamados plásticos, son en realidad materiales sintéticos que pueden alcanzar el estado plástico, esto es cuando el material se encuentra viscoso o fluido, y no tiene propiedades de resistencia a esfuerzos mecánicos. Este estado se alcanza cuando el material en estado sólido se transforma en estado plástico generalmente por calentamiento, y es ideal para los diferentes procesos productivos ya que en este estado es cuando el material puede manipularse de las distintas formas que existen en la actualidad. Así que la palabra plástico es una forma de referirse a materiales



sintéticos capaces de entrar en un estado plástico, pero plástico no es necesariamente el grupo de materiales a los que cotidianamente hace referencia esta palabra.

Las propiedades y características de la mayoría de los plásticos (aunque no siempre se cumplen en determinados plásticos especiales) son éstas:

- fáciles de trabajar y moldear
- tienen un bajo costo de producción
- poseen baja densidad
- suelen ser impermeables
- buenos aislantes eléctricos
- aceptables aislantes acústicos
- buenos aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas muy elevadas
- resistentes a la corrosión y a muchos factores químicos
- algunos no son biodegradables ni fáciles de reciclar, y si se queman, son muy contaminantes.

Puesto que se ha tomado la determinación de desarrollar el proyecto a través de materiales plásticos, parece lógico estudiar los principales polímeros utilizados en el ámbito definido. Por eso, a continuación, se hará una breve introducción a la clasificación más extendida de los polímeros, dividiendo éstos en termoplásticos, termoestables y elastómeros. Dentro de cada grupo también se señalarán algunos de los plásticos con mayor uso en la industria y se definirán las principales características de cada uno atendiendo en cada caso a sus propiedades físicas, termo-mecánicas, eléctricas, químicas, los medios de transformación a través de los cuáles se conforman y sus principales aplicaciones.

Este breve estudio se realiza con el objetivo de completar la etapa del [Diagrama 1](#) donde se pretende listar y evaluar los posibles materiales utilizados en el proyecto.

3.1.2 Termoplásticos

Un termoplástico es un plástico que, a temperatura ambiente, es plástico o deformable, se derrite cuando se calienta y se endurece cuando se enfría lo suficiente. La mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los cuales poseen cadenas asociadas por medio de fuerzas Van der

Waals (polietileno); interacciones dipolo-dipolo y puentes de hidrógeno, o incluso anillos aromáticos apilados (poliestireno). Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos, mientras que en el caso de los termoestables o termoduros, después de enfriarse la forma no cambia y arden.

Sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces (historial térmico), generalmente disminuyen estas propiedades.

Los más usados son: el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el polimetilmetacrilato (PMMA), el policloruro de vinilo (PVC), el politereftalato de etileno (PET), el teflón (o politetrafluoretileno, PTFE) y el nylon (un tipo de poliamida).

Se diferencian de los termoestables (baquelita, goma vulcanizada) en que éstos últimos no funden al elevarlos a altas temperaturas, sino que se queman, siendo imposible volver a moldearlos.

Muchos de los termoplásticos conocidos pueden ser resultado de la suma de varios polímeros, como es el caso del vinilo, que es una mezcla de polietileno y polipropileno.

A continuación, se presenta un listado de los principales termoplásticos utilizados en el sector resumiendo sus principales características y sus aplicaciones más comunes, que serán de utilidad para su posterior evaluación.

La variedad de los termoplásticos es muy notable. Se conocen más de cincuenta bases poliméricas termoplásticas distintas con interés comercial, formulables en miles de tipos concretos de diferentes propiedades. El número de marcas supera con creces el millar.

Este capítulo dedicado a la descriptiva de los termoplásticos más interesantes no es exhaustivo. Hay otros termoplásticos, además de los aquí referidos.

3.1.2.1 Polietileno (PE)

Es un termoplástico semicristalino que se presenta bajo multitud de apariencias. El criterio más importante para clasificar los distintos tipos es la densidad:

PE-LD: Polietileno de baja densidad (“low-density”) $0,86 - 0,92 \text{ g/m}^3$

PE-LLD: Polietileno lineal de baja densidad (“linear low-density”) $0,92 - 0,94 \text{ g/m}^3$

PE-HD: Polietileno de alta densidad (“high-density”) $0,94 - 0,965 \text{ g/m}^3$



El polietileno de baja densidad es el más importante, en cuanto al volumen de producción. Este material no tiene prácticamente ninguna aplicación en inyección. El polietileno es el termoplástico con el mayor volumen de producción a escala mundial.

El polietileno, en todas sus variantes, así como el polipropileno (PP), caen bajo la denominación genérica de poliolefinas. Se trata de materiales de bajo precio, de consistencia cerosa (cuando no están reforzados), cuya obtención tiene lugar a partir de Sustancias obtenidas del petróleo, como la nafta.

- **Propiedades físicas:** Según el espesor de la lámina, el PE puede ser opaco, transparente o presentar diversos grados de turbidez. Su superficie es mate. Las láminas finas de PE son impermeables al vapor de agua, pero dejan pasar, en cambio, el nitrógeno, el oxígeno y el dióxido de carbono. Sin aditivos adecuados (negro de humo, p.ej.), no resiste la intemperie.
- **Propiedades termo-mecánicas:** en comparación con el resto de termoplásticos, el PE tiene menos resistencia, dureza y rigidez, pero una gran capacidad de estirado y una resistencia al impacto muy alta, incluso a bajas temperaturas (diferencia fundamental con el PP). Es muy propenso a la deformación plástica (fluencia en frío muy acusada). La principal diferencia entre el PE-LD y el PE-HD es, a parte de la densidad (a causa de su distinto grado de ramificación a escala macromolecular), el distinto tamaño de sus macromoléculas. Mientras que las mayores macromoléculas de PE-LD pueden estar formadas por unas 2.000 unidades de monómero, las de PE-HD pueden llegar a las 40.000. Esto es el origen de la mayor consistencia mecánica y mayor aguante a la temperatura del PE-HD. El PE-LD puede considerarse un material relativamente flexible y blando, y puede utilizarse a temperaturas que no superen los 80° C; el PE-HD es más firme y duro, y puede emplearse hasta 100° C (Las propiedades físicas del PE-LLD están entre las del PE-LD y el PE-HD).
- **Propiedades eléctricas:** los PE tienen, debido a su baja polaridad superficial, mucha tendencia a acumular cargas electrostáticas, pero este efecto puede compensarse con aditivos antiestáticos. Son excelentes aislantes, aptos para aplicaciones de altas frecuencias.
- **Propiedades químicas:** resisten muy bien ácidos, bases, grasas y aceites, y mal, o muy mal, los disolventes orgánicos, en especial, los clorados (como el cloroformo), así como los productos oxidantes (ácido nítrico). Su tendencia a la fisuración por tensiones es notable, sobre todo en presencia de alcoholes y ácidos orgánicos, además de algunos aceites (el comportamiento del PE-HD es, en este punto, mejor que el del PE-LD).
- **Transformación:** el PE-LD se transforma preferentemente por extrusión y recubrimiento; el PE-HD, por extrusión, inyección y soplado. Sólo puede pegarse

piezas de polietileno con tratamientos superficiales previos, como el flameado o la oxidación.

- **Aplicaciones:**

- En extrusión: láminas planas y sopladas (para bolsas para envases y bolsas de basura), tubos, perfiles macizos, mono filamentos, redes, etc.
- Por inyección: botellas (p.ej. para agua mineral), tapones, todo tipo de recipientes, cubos, vasos, jeringuillas desechables, etc; por soplado: depósitos de combustible de automóviles, otros depósitos para líquidos, bidones, etc.
- Por recubrimiento: todo tipo de cables aislados.

3.1.2.2 Polipropileno (PP)

El polipropileno es un termoplástico semicristalino. La versatilidad de sus propiedades, junto con su bajo precio y la facilidad de aceptar aditivos y refuerzo, le han convertido en los últimos años en un material adecuado para muchas aplicaciones del sector técnico, donde está desplazando a otros termoplásticos implantados, por ejemplo, en el sector del automóvil, como el ABS o la PA; paralelamente, sustituye a los metales en la electrotecnia o en el sector de electrodomésticos.

El polipropileno, debido a su estructura química, puede presentarse en tres ordenaciones espaciales: PP isotáctico, sindiotáctico y atáctico. En la práctica, sólo el PP isotáctico tiene interés comercial, y a él se referirán los comentarios siguientes. Éste se obtiene mediante el empleo de los llamados catalizadores Ziegler Natta, hoy de uso prácticamente generalizado.

- **Propiedades físicas:** Las piezas moldeadas con PP suelen ser blanquecinas y opacas. Las láminas o piezas de pared delgada pueden ser traslúcidas o transparentes. Las láminas de PP biorientado (estirado en dos direcciones perpendiculares) son perfectamente transparentes. Las superficies que proporciona son más brillantes que las del PE. A la intemperie, es todavía menos estables que el PS, aunque hay tipos estabilizados con un aguante muy considerable (ejemplo: muebles de jardín).
- **Propiedades termo- mecánicas:** La estructura regular de las macromoléculas de PP isotáctico permite una mayor cristalinidad en comparación con el PE. El PE-HD es el que más se asemeja al PP en características, aunque con las siguientes salvedades:
 - El PP es menos denso que incluso el PE-LD ($<0,89 - 0,92 \text{ g/cm}^3$)



- El PP es más duro, más rígido y más resistente a la flexión que el PP-HD. En cambio, es mucho menos resistente al impacto en frío (temperaturas por debajo de los cero grados).
- El PP presenta una temperatura de fusión, y en general, una resistencia al calor, mayores que el PP-HD.

Las propiedades mecánicas de las láminas de PP pueden mejorarse ostensiblemente mediante estiraje u orientación, o bien por adición de refuerzos como talco, fibra o bola de vidrio. Un efecto interesante del PP, en el que muestra el mejor comportamiento de todos los termoplásticos, es el efecto bisagra de film, que permite la fabricación de estuches en una sola pieza, que luego es doblada sin problemas por una bisagra. El intervalo normal de temperaturas de aplicación del PP es desde 0 a 100°C (1100°C con fibra de vidrio), aunque existen tipos especiales preparados para soportar impactos a -30° C (copolímeros de bloque).

- **Propiedades eléctricas:** Son similares a las del PE.
- **Propiedades químicas:** La estabilidad frente a productos químicos es similar a la del PS, aunque el PP muestra mucho menor tendencia a la fisuración por tensiones, y en cambio, es algo más sensible a la oxidación.
- **Transformación:** Fundamentalmente por inyección, y en segundo término, también por extrusión, soplado y calandrado. Solo se puede pegar después de un tratamiento previo.
- **Aplicaciones:** en inyección, piezas de electrotecnia, codos, carcasas de filtros de aire, cajas de baterías de automóvil, parachoques, acabados interiores de vehículo, carcasas de aspiradoras y similares, piezas de electrodomésticos, grandes y pequeños, respaldos de sillas, estuches, maletas, enseres domésticos, juguetes, instrumentos médicos esterilizables.

Existen, además del PP isotáctico (homopolímero), otros tipos modificados de PP, en los que ciertas propiedades han sido aumentadas. Algunos ejemplos:

- Tipos de reología controlada: También llamados "tipos CR" (controlled reology), que poseen un tamaño de macromolécula muy uniforme, y se caracterizan por su excelente fluidez y su poca tendencia a la deformación.
- Copolímeros: El propileno se puede copolimerizar con otras olefinas, como el etileno. El resultado son copolímeros de bloque (o estadísticos), con muy buena resistencia al impacto a bajas temperaturas, o los copolímeros random, de muy buena transparencia (aplicación en artículos domésticos).

3.1.2.3 Policloruro de vinilo rígido y plastificado (PVC-U, PVC-P)

El poli (cloruro de vinilo), o más comúnmente llamado, PVC es uno de los plásticos denominados estándar, por su bajo precio y gran volumen de aplicación. En los últimos tiempos, está siendo sometido a considerable presión por parte de los grupos de defensa medioambiental.

El PVC es un plástico amorfo, que no puede ser transformado sin haberle añadido previamente una buena dosis de estabilizantes. En efecto, el PVC es muy sensible a la acción del calor, que provoca desprendimiento de ácido clorhídrico, oxidaciones y degradaciones. Por lo tanto, antes de la transformación deberán incorporarse al material estabilizantes térmicos, con el fin de evitar su deterioro por calor. Se le añaden, además, colorantes, y lubricantes que mejoran la fluidez. La mezcla, que es la primera etapa de todo proceso de transformación, a diferencia de lo que sucede con otros muchos termoplásticos listos para ser procesados, es el primer paso ineludible de fabricación, y se realiza en amasadoras especiales. El PVC rígido (PVC-U) es la suma del polímero PVC y los aditivos citados, sin presencia alguna de plastificantes.

3.1.2.3.1 PVC RIGIDO (PVC-U)

- **Propiedades físicas:** El PVC-U permite fabricar artículos transparentes, que presentan en Conocido efecto de "huella blanca" cuando son sometidos a flexión, Las láminas son más permeables al vapor de agua que las de Poliolefinas, pero bastante más permeables a otros gases. Si se le estabiliza adecuadamente, es un material muy resistente a la intemperie. El PVC-U se extingue por si solo una vez retirada la llama.
- **Propiedades termo-mecánicas:** El PVC presenta buena resistencia mecánica y una rigidez y dureza entre buena y alta. Su resistencia al impacto es menor que la de muchos termoplásticos, sobre todo por debajo de 20° C, pero esta carencia puede solucionarse con la adición de modificadores de impacto. Los intervalos de temperatura de uso van desde -5° hasta los 65° C.
- **Propiedades eléctricas:** Proporciona un moderado aislamiento eléctrico, suficiente para aplicaciones de baja tensión y frecuencia (p.ej. corriente alterna de 380V y 50Hz). No aísla en frecuencias altas.
- **Propiedades químicas:** Tiene buena resistencia química frente a ácidos, bases, alcoholes, grasas y aceites, pero no resiste hidrocarburos aromáticos dorados
- **Transformación:** Por extrusión, calandrado, inyección y soplado. Puede unirse por todos los sistemas habituales de soldadura y pegado. El PVC-U se descompone por acción prolongada del calor, desprendiendo ácido clorhídrico. Por lo tanto, su transformación requiere la adopción de medidas de seguridad



laboral. Deben evitarse paros imprevistos en la producción. Los moldes se fabricarán con aceros resistentes a la corrosión. Los PVC-U que se comercializan cumplen con todas las normas de toxicidad vigentes, por lo que cabe considerarlos como sustancias no peligrosas.

- **Aplicaciones:**

- Por extrusión; láminas planas, planchas, perfiles sólidos y huecos, monofilamentos, tubos, canalizaciones de agua y electricidad, tarjetas de crédito, discos de música, persianas.
- Por inyección; tarros, codos, grifos, instrumentos de dibujo, envases farmacéuticos, tacos; por soplado, botellas para agua mineral.

3.1.2.3.2 PVC Plastificado (PVC-P)

Se obtiene por incorporación de plastificantes al PVC rígido. Los plastificantes se añaden junto con otros aditivos, como estabilizantes, cargas de relleno, colorantes y lubricantes.

Los plastificantes acostumbran a ser productos orgánicos líquidos, que son capaces de disolver o hinchar el PVC, y formar con él un sistema homogéneo (PVC-P). El proceso de penetración mutua entre PVC y plastificante se denomina gelificación. La gelificación tiene lugar en pocos minutos, a temperaturas de 150 a 190° C. La cantidad de plastificante puede variar entre el 20 y el 50%.

Cabe distinguir entre plastificantes primarios y secundarios. Los primeros son suficientes para fabricar PVC-P. Los secundarios no pueden agregarse solos, sino que necesitan de la intervención de otros plastificantes primarios.

La compatibilidad es necesaria, puesto que contrario, no se podrá tener un todo homogéneo. Es necesario que el plastificante puede mezclarse en proporciones elevadas (hasta el 50%) con el PVC, sin que luego se produzca ninguna separación. Este es un problema que se da con frecuencia en el PVC-P: el plastificante abandona con el tiempo, el polímero, y las piezas pierden flexibilidad, o incluso llegan a cuartearse.

- **Propiedades físicas:** Dependen en gran manera de los tipos y cantidades de los plastificantes empleados. Normalmente, el PVC-P tiene una consistencia correosa y elástica. Es un plástico higroscópico (absorbe humedad). Debido a la adición de los plastificantes, el PVC-P ya no es auto-extinguible de por sí, aunque se puede añadir aditivos para que lo sea.
- **Propiedades termo-mecánicas:** El PVC-P tiene poca resistencia mecánica, gran flexibilidad y extensibilidad, y muy buena resistencia al impacto. En caso de cargas mecánicas muy largas, el material sufre deformaciones considerables

de carácter irreversible. El intervalo de temperaturas de uso continuo va desde los -50 hasta los 70° C.

- **Propiedades eléctricas:** Es bastante peor que el del PVC-U, pero suficiente para su uso como aislante doméstico.
- **Propiedades químicas:** Sólo frente a ácidos y bases diluidos. Casi todos los disolventes orgánicos actúan lavando o extrayendo los plastificantes.
- **Transformación:**
 - Por extrusión, soplado, calandrado e inyección. Se puede soldar bien el PVC-P, p.ej. por alta frecuencia, pero no así por ultrasonidos. Son de aplicación las mismas consideraciones de seguridad hechas para el PVC-P.
 - Aplicaciones: Por extrusión, tubos flexibles, láminas transparentes y adhesivas, perfiles, cuero artificial ("skai"), fuelles tipo acordeón, revestimientos interiores de automóvil, sacos, juntas para ventanas, hules, fundas protectoras, suelas de zapatos, ropa de protección laboral, mangueras de jardín.
 - Por inyección, enchufes, regletas, pelotas, juguetes; por soplado, sacos, frascos elásticos.

3.1.2.4 Poliestireno cristal y antichoque (PS, SB)

El poliestireno es otro de los materiales considerados estándar. Se trata de un termoplástico amorfo, que sirve de base para numerosas modificaciones. El mismo poliestireno se presenta en dos formas: como homopolímero (PS), con un aspecto transparente y poca resistencia al impacto, y como copolímero con butadieno (SB), con aspecto opaco y mucha mayor resistencia al impacto. Este último es el que industrialmente supone un mayor volumen de producción.

3.1.2.4.1 Poliestireno Cristal (PS)

Este nombre se da al poliestireno homopolímero por su aspecto transparente y similar al cristal (material al cual sustituye en alguna aplicación). Consta fundamentalmente de cadenas macromoleculares sin ramificar, pero muy voluminosas, por lo que se trata de un termoplástico amorfo.

- **Propiedades físicas:** Aspecto transparente, buen brillo, alto grado de transmisión de luz. Color ligeramente azulado o amarillento, dependiendo del proceso de transformación. Es un plástico nada adecuado para aplicaciones de intemperie. Arde fácilmente con gran desprendimiento de humos negros, pero se puede añadir aditivos con agentes ignífugos.
- **Propiedades termo-mecánicas:** Su resistencia mecánica es entre baja y media, su rigidez, elevada, y su dureza media. Su mayor carencia es su baja resistencia



al impacto: se trata de un termoplástico frágil. Las temperaturas de aplicación en continuo varían desde los -10 hasta los 70° C.

- **Propiedades eléctricas:** Buenas propiedades de aislamiento eléctrico. Es un material idóneo para aplicaciones de alta frecuencia. Tiende a cargarse fácilmente con electricidad estática.
- **Propiedades químicas:** Presenta buena resistencia frente a ácidos y bases, excepto los concentrados u oxidantes, así como frente a la mayoría de las grasas y aceites. No resiste los hidrocarburos. Sufre una fuerte tendencia a la fisuración por tensiones.
- **Transformación:** El PS es un material ideal para la inyección, aunque también puede extruirse. No se puede soldar con altas frecuencias, pero si se puede pegar fácilmente con los métodos habituales.
- **Aplicaciones:** Piezas para aparatos de radio y TV, piezas de equipos electrónicos y de comunicaciones, envases desechables para alimentos (vasitos de yogur), envases para medicamentos, juguetes, tarros, hueveras, piezas para interior de frigoríficos, envases de mantequilla, imitaciones de pedrería y cristal, instrumentos de dibujo.

3.1.2.4.2 Poliestireno antichoque (SB)

Esta denominación se da a los tipos de poliestireno modificados para que aumente su resistencia al impacto. Otro nombre común es HIPS ("high impact polystyrene"). Estos materiales son sistemas compuestos por dos fases: una fase dura de poliestireno, que actúa de matriz, y una segunda fase de partículas de caucho (Polibutadieno) fina y uniformemente repartidas en el seno de la primera. Las partículas de caucho son las que dan al plástico su resistencia al impacto característica.

No resulta fácil conseguir la mezcla de las dos fases, porque el poliestireno y el polibutadieno no son compatibles entre sí. Para conseguirlo, la polimerización parte de copolímeros estireno-butadieno o copolímeros de injerto butadieno-estireno.

La resistencia al impacto puede variarse dentro de amplios márgenes a través del tipo, cantidad y forma de la fase caucho empleado. Los tipos con un 3% de caucho se consideran de medio impacto, los que contienen entre un 3 y un 10%, de alto impacto, y los que contienen entre un 10 y un 15%, de súper alto impacto. La resistencia frente a la rotura se deriva de la presencia de las partículas de caucho, que se interponen en el camino de las microfisuras que están presentes en todo inicio de rotura.

- **Propiedades físicas:** El SB es un material opaco (debido a la presencia del caucho), o bien traslúcido, en espesores pequeños. La superficie es bastante

mate, aunque hay tipos con brillo mejorado. Es un termoplástico muy poco resistente a la intemperie, incluso con suma de aditivos.

- **Propiedades termo-mecánicas:** Su resistencia mecánica es entre 2 y 4 veces superior a la del homopolímero (PS). Las temperaturas de uso varían entre los -25°C y los 70°C .
- **Propiedades electro-químicas:** similares a las del PS.
- **Transformación:** Fundamentalmente por inyección, aunque también es posible la extrusión.
- **Aplicaciones:** Carcasas de aspiradoras, ventiladores, aparatos de TV y radio, piezas de cámaras fotográficas, piezas interiores de frigoríficos, envases de un solo uso para alimentación, accesorios de baño, vajilla y cubiertos desechables, vasos, bolígrafos, marcos de diapositivas.

3.1.2.5 Copolímeros de acrilonitrilo (SAN, ABS, ASA)

Aunque el poliestireno es un material de indudable interés, gracias a su bajo precio y propiedades suficientes para muchas aplicaciones, presenta una carencia fundamental, a saber, la estabilidad química, combinada con una fuerte tendencia a la fisuración por tensiones. Con el objeto de paliar esta deficiencia se desarrollaron otros materiales, como el SAN, que integran en su composición el monómero acrilonitrilo, verdadero responsable de la mejora de propiedades químicas. Las proporciones usuales de uno y otro monómero en el copolímero final son de un 76% de estireno y un 24% de acrilonitrilo. El precio que pagar es una mayor tendencia a la absorción de humedad, debida precisamente a este monómero. El SAN es un termoplástico amorfo.

Además, por su parte, el SAN es un material frágil, por lo que la modificación lógica consiste en injertarle una fase de caucho, que puede ser polibutadieno, con lo que se tienen los copolímeros ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno), o un caucho acrílico, y entonces el resultado son los copolímeros ASA (acrilonitrilo-estireno-éster acrílico). Estos últimos son muy parecidos al ABS, con la gran diferencia de su mucha mayor estabilidad frente a la intemperie.

3.1.2.5.1 SAN

Propiedades físicas: Se trata de un termoplástico transparente, similar al poliestireno homopolímero, pero con una tonalidad amarillenta propia, que puede contrarrestarse con colorante azul. Proporciona superficies brillantes. Convenientemente estabilizado, es adecuado para aplicaciones de intemperie. Absorbe bastante más humedad del ambiente que el PS.



- **Propiedades termo-mecánicas:** Posee mayor resistencia mecánica que el PS, mayor rigidez y una resistencia al impacto baja, pero también mejor que la del PS. Su intervalo de temperaturas de uso continuo abarca desde los -20°C hasta los 85°C .
- **Propiedades eléctricas:** Es peor aislante que el PS, y, como éste, tampoco es adecuado para aplicaciones de aislamiento en altas frecuencias.
- **Propiedades químicas:** Es el punto fuerte del SAN frente al PS. El SAN resiste perfectamente los hidrocarburos alifáticos y los aceites, aunque no es estable frente a los aromáticos ni los halogenados. Resiste, gracias a su menor tendencia a la fisuración por tensiones, el contacto con tensioactivos como detergentes y jabones, incluso a temperaturas de 60 y 70°C , de lo que se deriva su aplicación para ojos de buey de lavadoras, sustituyendo al cristal.
- **Transformación:** igual que el PS
- **Aplicaciones:** Ojos de buey para lavadoras, verduleros para neveras, piezas diversas para pequeños electrodomésticos como picadoras, batidoras, etc., contadores de agua, carcasas de bombas de agua, útiles domésticos, cubiertos, pulsadores, ópticas para automóvil, bolígrafos, carcasas de baterías industriales.

3.1.2.5.2 ABS

Los copolímeros ABS se parecen al copolímero SB en el hecho de que están compuestos de dos fases: Una fase dura y homogénea de SAN, que actúa de matriz, y otra fase injertada, a base de polibutadieno, que es la que confiere al material su gran resistencia al impacto. Es también un termoplástico amorfo, que presenta la peculiaridad de poderse mezclar fácilmente con otros termoplásticos como el PVC, el PC o el PMMA para dar nuevos plásticos comerciales (blends).

- **Propiedades físicas:** La presencia del caucho hace que el ABS sea un material opaco (aunque existen modificaciones transparentes), de color blanco lechoso. Proporciona superficies muy brillantes, de excelente acabado superficial. Es fácil colorearlo en multitud de tonalidades. Es un material nada apto para aplicaciones a intemperie. En caso de querer exponerse piezas de ABS a la acción de los rayos UV, deben pintarse o metalizarse. Absorbe una cierta cantidad de humedad, debido al acrilonitrilo.
- **Propiedades termo-mecánicas:** Su característica distintiva es su gran resistencia al impacto, entre 5 y 10 veces superior a la del PS homopolímero (incluso en frío). Es, lógicamente, menos rígido que el PS o el SAN. El intervalo de temperaturas de uso continuo se sitúa entre -45°C y 85°C , aunque en puntas de corta duración resiste hasta 100°C . Los tipos cuya resistencia a la deformación por calor se ha mejorado (Vicat B/50 de hasta 115°C , frente a los

95° C de los tipos estándar) suelen llamarse tipos anticoléricos. Existen también tipos reforzados con fibra de vidrio.

- **Propiedades eléctricas:** Es peor aislante eléctrico que el SAN, y bastante peor que el PS. No es adecuado como aislante para altas frecuencias.
- **Propiedades químicas:** Son fundamentalmente las mismas que las del SAN. Tiene muy poca tendencia a la fisuración por tensiones.
- **Transformación:** Como el PS. Se puede soldar por todos los métodos usuales. Es un material muy apto para el metalizado galvánico.
- **Aplicaciones:** El ABS es un termoplástico técnico típico, y su perfil de aplicaciones lo demuestra. Dentro de los termoplásticos técnicos, es el que presenta mayor volumen de consumo. Aplicaciones típicas son: *carcasas de pequeños electrodomésticos*, como batidoras o máquinas de café, *carcasas de teléfonos*, televisores, equipos de alta fidelidad, cámaras fotográficas, máquinas de oficina, pulsadores; *rejillas delanteras de automóviles*, tapacubos, tableros de instrumentos, grifería y accesorios de baño en versión metalizada, cascos de motorista, juguetes, instrumentos deportivos.

3.1.2.5.3 ASA

El ASA es la modificación lógica del ABS para solventar la inestabilidad de este último en aplicaciones de intemperie. Las piezas de ABS que van al exterior, como carenados de motocicletas, cascos de motorista, rejillas delanteras de automóvil, etc, deben pintarse, ya que, de no hacerlo así, el buen aspecto y el color brillante de las mismas sólo dura unas pocas semanas. Las piezas se amarillean y pierden propiedades mecánicas. Lo mismo sucede si se exponen durante largos períodos de tiempo a temperaturas elevadas, p.ej. 70° C. Con la sustitución del polibutadieno por otro caucho, a base de éster acrílico, estos inconvenientes desaparecen. La resistencia a la intemperie aumenta muy notablemente (unas 10 veces, como norma), más aún si se estabiliza el ASA con aditivos adecuados. El punto débil del ASA, si lo comparamos con el ABS es el impacto-en trío, que es bastante menor, sobre todo a temperaturas inferiores a -20° C. En la actualidad existen tipos modificados que soportan bien estas bajas temperaturas, y que, gracias a ello, son ampliamente usados en automoción, sin necesidad de pintado (ventaja económica respecto al ABS). El resto de las propiedades son básicamente análogas a las del ABS.

Algunas aplicaciones típicas son (todas sin necesidad de pintado): buzones, señalización de ruta, carenados de motocicletas, cascos, muebles de jardín, carcasas de máquinas cortacésped, rejillas frontales de automóviles, carcasas de espejos retrovisores, aparatos de riego, carcasas de bombas de agua, revestimientos para planchas de surf y windsurf.



3.1.2.6 Polimetacrilato de metilo (PMMA)

El poli (metacrilato de metilo) o PMMA suele considerarse un termoplástico “especial”, debido a sus peculiaridades, aunque también cae dentro de la clasificación de termoplástico técnico, por las muchas aplicaciones que tiene en el sector de la técnica. Se trata de un termoplástico amorfo, que presenta una variedad de peso molecular elevado (grandes cadenas macromoleculares), apta para su transformación por colada en planchas y placas de gran superficie y espesor.

- **Propiedades físicas:** El PMMA es un plástico más transparente que el mismo cristal, y, además, es absolutamente incoloro. Se puede teñir perfectamente en colores translúcidos y opacos, con los que pueden obtenerse piezas con una superficie extraordinariamente brillante y lisa. Se puede pulir para acentuar aún más esta característica. Es un termoplástico muy resistente a la intemperie. Absorbe cantidades de humedad considerables, en torno al 0,3%.
- **Propiedades termo-mecánicas:** Gran rigidez y dureza superficial. Resistencia al impacto más bien baja, aunque existen tipos modificados que solventan esta carencia. Aún y así, la resistencia al impacto es seis veces mayor que la de un cristal normal. La franja de temperaturas de uso continuo se extiende entre -40° C y 75° C.
- **Propiedades eléctricas:** Es un buen aislante eléctrico, con fuerte tendencia a cargarse electrostáticamente y acumular polvo.
- **Propiedades químicas:** Son el punto débil del PMMA. No es resistente a disolventes polares como los alcoholes. Su tendencia a la fisuración por tensiones es muy acusada.
- **Transformación:** Extrusión, inyección, termo-conformado. Soldadura y pegado sin problemas.
- **Aplicaciones:** Filtros infrarrojos para TV, indicadores de nivel de líquido, aparatos de medición y dibujo, lentes y vidrios de reloj, cristales para gafas, cristales de ventanilla de avión y de autocaravanas, pilotos traseros de automóvil, intermitentes, bañeras, resinas de colada para inclusiones decorativas, rellenos y prótesis dentales.

Una clase de PMMA modificados de gran interés son los tipos modificados al impacto. Se trata de tipos estándar con aditivos con cauchos acrílicos, que hacen aumentar notablemente su resistencia al choque y además su resistencia a la fisuración por tensiones, en especial frente a los alcoholes. Las desventajas son una menor transparencia, un color propio algo amarillento, y una menor resistencia a la deformación por calor.

3.1.2.7 Poliamidas (PA)

Las poliamidas son los termoplásticos técnicos más importantes, ya dentro del subgrupo de los plásticos de ingeniería.

Su variedad es importante, debido a que los procesos de fabricación permiten numerosas variantes. La clasificación más importante es la que tiene en cuenta la procedencia de cada tipo en concreto. Así, la forma normal de distinguir entre poliamidas es la adición de una serie de números o letras detrás de las siglas "PA". Los ejemplos más importantes son:

- **PA 6:** obtenida por policondensación de la caprolactama, un monómero único de 6 eslabones.
- **PA 11:** igual que la PA 6, con un monómero único de 11 eslabones
- **PA 12:** igual que la PA 6, con un monómero único de 12 eslabones
- **PA 66:** obtenida por policondensación de la hexametildiamina (6 eslabones) y del ácido adípico (6 eslabones).
- **PA 610:** obtenida por policondensación de una amina de 6 eslabones y un ácido de 10 eslabones.
- **PA 46:** obtenida por policondensación de una amina de 4 eslabones y un ácido de 6 eslabones

La regla general para nombrar las PA es indicar en el primer lugar el número de eslabones del primer monómero, y de existir un segundo, indicar en segundo lugar el número de eslabones del segundo monómero.

En casi todos los casos, las poliamidas son materiales parcialmente cristalinos. La excepción son las poliamidas transparentes tipo 6-3-T, de aplicaciones muy específicas. El grado de cristalinidad de una poliamida concreta depende en gran medida de las condiciones de moldeo, y con él varían también las propiedades mecánicas de las piezas moldeadas.

La característica común de todas ellas es su mayor o menor tendencia a absorber humedad. Esta no es la típica humedad de condensación que se acumula fácilmente sobre otros termoplásticos, cuando las condiciones de almacenaje son desfavorables, sino que se trata de un proceso que no es posible detener, y que acaba con la absorción de un contenido de humedad de equilibrio, en función del grado de humedad ambiental. Los porcentajes normales oscilan entre el 1,5 y el 4%. Esta humedad, que es la que confiere a la PA sus excelentes propiedades de tenacidad y resistencia al desgaste, queda fijada químicamente, aunque el proceso es reversible: si la humedad ambiental baja mucho, las piezas moldeadas con poliamida se "secan" y se fragilizan. Un



detalle que no puede olvidarse a la hora que prever el diseño de una pieza en PA es el hecho de que las piezas acondicionadas presentan mayores dimensiones que las piezas secas.

Las poliamidas, además, son bastante sensibles a la acción prolongada del calor, por lo que en la práctica no se comercializan tipos sin algo de estabilizante. Muchas marcas ofrecen varios grados de estabilización frente al calor, en función de la aplicación deseada.

- **Propiedades físicas:** Las PA son materiales opacos o translúcidos. En forma de lámina son transparentes. Se pueden teñir sin problemas. Las superficies de las piezas terminadas son medianamente brillantes. Las láminas de PA son muy permeables al vapor de agua, pero impermeables frente a otros gases como oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono o hidrógeno (comportamiento contrario al PE). Son resistentes a la intemperie, si se estabilizan debidamente.
- **Propiedades termo-mecánicas:** La resistencia mecánica es entre media y alta, y su rigidez y dureza superficial son medias, aunque todas estas propiedades pueden acrecentarse en gran medida mediante refuerzos como fibra de vidrio. Su resistencia al impacto (en estado acondicionado) es excelente. Su resistencia a la fricción y al desgaste es buena. Con una estabilización adecuada, las poliamidas (sobre todo las reforzadas) son capaces de abarcar aplicaciones a temperaturas de uso continuo entre -30°C y los 120°C . Pueden soportar puntas de hasta 220°C durante períodos cortos de tiempo.
- **Propiedades eléctricas:** El aislamiento eléctrico es moderado, a causa de la absorción de humedad, pero suficiente para muchas aplicaciones de electrotecnia.
- **Propiedades químicas:** Las PA poseen una excelente estabilidad química. Resisten los álcalis diluidos, las soluciones salinas, y una gran cantidad de disolventes orgánicos, grasas, aceites y carburantes. NO resiste los ácidos concentrados ni los hidrocarburos dorados.
- **Transformación:** El principal sistema es la inyección, aunque la PA también puede extruirse para producir barras, tubos o láminas de diversos espesores, y puede también soplarse. El resultado de la transformación son siempre piezas o semielaborados secos, por lo que previamente a su uso deben acondicionarse.
- **Aplicaciones:** Carretes de bobinas, ruedas y aspas de ventilador, ruedas dentadas, piñones, rodillos, rodamientos, tornillos, carcasas de todo tipo, tacos, piezas de bombas, cadenas de transporte, juntas, carcasas de faros, pedales de automóvil, cremalleras, redes de pescar, prótesis.

Los dos tipos de poliamida más extensamente utilizados son la PA 66 ("nylon") y la PA 6 ("perlón"). Son los materiales con un volumen de producción más alta

y, por tanto, los de precio más asequible. En muchas aplicaciones es posible el uso de ambos, indistintamente, aunque existen algunas notables diferencias en su comportamiento. La PA 66 funde a 265° C, mientras que la PA 6 lo hace a 225° C. Esta diferencia hace que la PA 66 sea más adecuada para aplicaciones donde la resistencia a la temperatura sea importante. Como desventaja, la PA 66 necesita ser inyectada a temperaturas entre 265 y 300° C, mientras que una temperatura normal para la PA 6 son 250° C. La PA 6 absorbe más humedad, debido a su estructura interna, que la PA 66, y es por ello más tenaz, y menos rígida. Esto la hace más adecuada para aplicaciones de impacto; mientras que la PA 66 es preferible para aplicaciones donde se exija máxima rigidez.

Existen tipos de poliamida especiales, caracterizados por las siguientes propiedades:

- Mayor resistencia mecánica, rigidez y dureza.
- Mayores temperaturas de uso continuo (como la PA 6/ST y laPA46).
- Mejor resistencia química a la hidrólisis, en aplicaciones con contactos prolongados con agua caliente.
- Menor absorción de humedad.
- Menor contracción de transformación (ver capítulo sobre transformación)

Las desventajas son:

- Un precio normalmente elevado, o muy elevado.
- Mayor densidad.
- Peor resistencia al impacto.

Entre estas poliamidas especiales se cuentan las poliamidas 6/ST, las poliamidas 46, y las poliamidas MXD6. Estos materiales han sustituido con éxito a los metales en aplicaciones con exigencias mecánicas muy altas.

3.1.2.8 Polioximetileno (POM)

El polioximetileno, también llamado resina acetílica, es un termoplástico parcialmente cristalino, que se presenta en dos posibles variantes: los homopolímeros, y los copolímeros. Históricamente, los homopolímeros aparecieron antes. Los copolímeros surgieron como respuesta a una serie de deficiencias que presentaban los primeros. Estas diferencias pueden resumirse de la siguiente manera:



Los homopolímeros son más cristalinos que los copolímeros. Su grado de cristalinidad puede ser hasta del 90% (70% para los copolímeros). Esto los hace más adecuados para aplicaciones donde pesen grandes exigencias mecánicas. Su desventaja principal radica en el hecho de que son térmicamente inestables, y tienden, durante la transformación, a despolimerizarse y liberar cantidades apreciables de formaldehído, que es el monómero del cual están hechos. Este compuesto es un gas irritante, que resulta bastante molesto. Su intervalo de temperaturas de transformación es también más estrecho que el de los copolímeros.

Los copolímeros han conquistado grandes parcelas de aplicación debido a que, si bien son mecánicamente menos resistentes que los homopolímeros, pueden transformarse con mayor comodidad, sin tanto desprendimiento de formaldehído, y en un rango de temperaturas más amplio. Su resistencia al calor es mayor. Absorben menos humedad ambiental que los homopolímeros.

- **Propiedades físicas:** Se trata de materiales de color blanco opaco, de superficie entre semimate y brillante. No se suelen colorear en tonos demasiado variados. Las láminas son impermeables a casi todos los gases. Convenientemente estabilizados, resisten bien la intemperie. Son materiales que arden rápidamente, con llama prácticamente incolora, desprendiendo formaldehído. No se conocen aditivos ignífugos efectivos para ellos.
- **Propiedades termo-mecánicas:** Su resistencia mecánica es entre media y alta, al igual que su rigidez, dureza y resistencia al impacto. Sus propiedades mecánicas más apreciadas son la resistencia al desgaste por fricción, y sus buenas propiedades de recuperación elástica, lo que los convierte en materiales insustituibles para la fabricación de muelles y rodamientos. El intervalo de temperaturas de uso continuo va desde los -40°C hasta los 85°C , aunque los tipos con fibra de vidrio pueden llegar hasta los 110°C .
- **Propiedades eléctricas:** Son buenos aislantes eléctricos.
- **Propiedades químicas:** No resisten los ácidos concentrados ni los productos oxidantes. Su absorción de agua es media. En contacto con agua caliente tienden a descomponerse (hidrólisis). El límite de temperatura para los homopolímeros está en 60°C , para los copolímeros, en 85°C .
- **Transformación:** Principalmente por inyección, y en especial inyección de piezas de mecánica de precisión (piezas de menos de 2 g de peso, con gran complejidad estructural y gran exactitud de medidas. También se pueden extruir preferentemente los copolímeros. El mecanizado de semielaborados no presenta problemas. Sí los presenta el pegado y el pintado, que sólo son posibles después de un tratamiento superficial como los tratamientos corona, o los flameados.

- **Aplicaciones:** Piezas de precisión para teléfonos, radios, TV, cintas de audio y video; jaulas de rodamientos, tapones de depósito de combustible, tornillos, bisagras, cremalleras, piezas para interior de grifos, tapas de altavoces de radios para coches, cadenas de transporte.

Los POM pueden modificarse para adquirir mayores valores de resistencia al impacto, mediante la adición de poliuretanos (PUR). Además del impacto, mejora notablemente su resistencia a la intemperie. La aplicación de estos productos modificados suele utilizarse para piezas técnicas de automoción (p.ej. mecanismos para cinturones de seguridad).

3.1.2.9 Poliésteres termoplásticos (PBT, PET)

Los poliésteres termoplásticos (no confundir con los poliésteres insaturados (UP), que son materiales termoestables) son plásticos técnicos típicos, de carácter parcialmente cristalino. El PET es más antiguo que el PBT. Hasta 1966 no fue posible inyectarlo en buenas condiciones, por su baja velocidad de cristalización. En 1970 apareció el PBT como alternativa de mayor comodidad de inyección. El PET se comercializa en dos formas:

- C-PET: parcialmente cristalino, opaco, con aplicaciones claramente técnicas. Material de inyección.
- A-PET: amorfo, transparente a espesores de menos de 5 mm, de creciente aplicación en el sector de envase (botellas sopladas de bebidas gaseosas, botellas de aceite, etc). Material para soplado.

Las diferencias entre PET y PBT son leves, pero suficientes para distinguir entre uno y otro material. Se pueden resumir del siguiente modo:

El PET presenta un punto de fusión medio de 258° C (por 225° C del PBT). Ventaja: mayor estabilidad térmica. Desventaja: intervalo de temperaturas de transformación muy estrecho: entre 260 y 280° C. Las temperaturas de molde deben rondar los 100° C, para obtener piezas satisfactorias. Es mecánicamente más resistente que el PBT, gracias a su mayor cristalinidad. Muy pocas veces se usa sin refuerzo de fibra de vidrio.

El PBT tiene un punto de fusión medio de 223° C, y es menos cristalino que el PET. Su inyección es considerablemente más sencilla que la del PET. El margen de temperaturas de inyección varía entre los 230° C y los 270° C. Además, absorbe menos humedad. Mecánicamente es menos resistente y tiene menor estabilidad térmica que el PET aunque sus niveles son muy aceptables.

Las ventajas de uno y otro tipo de material se han intentado combinar en mezclas de (PET+PBT), que como característica principal permiten la inyección

de piezas de muy buena calidad superficial, aunque estén reforzados con fibra de vidrio.

3.1.2.9.1 C-PET:

- **Propiedades físicas:** plástico blanco opaco, muy impermeable a los gases, con buena resistencia a la intemperie. Tiene una acusada tendencia a absorber humedad con rapidez.
- **Propiedades termo-mecánicas:** Gran rigidez y dureza, pero poca resistencia al impacto. Muy poca tendencia a la deformación plástica (fluencia en frío), cuando está sometido a cargas mecánicas prolongadas. Buena resistencia a la abrasión. Las temperaturas de uso continuo (con refuerzo de fibra de vidrio) van desde -20°C hasta los 135°C , con punta posibles de hasta 200°C .
 - **Propiedades eléctricas:** Aislamiento eléctrico medio. No es apto para aislamiento de altas frecuencias.
 - **Propiedades químicas:** No resiste el agua caliente ni el vapor de agua, así como tampoco las lejías o álcalis concentrados. Tiene muy buena resistencia a la fisuración por tensiones.
 - **Transformación:** Por inyección, aunque esta es problemática. No puede tenerse en estado fundido durante mucho tiempo, ya que se degrada, y las piezas resultantes, aunque de buen aspecto, se fragilizan.
 - **Aplicaciones:** Rodillos, rodamientos, ruedas dentadas, piezas electrotécnicas, discos de levas, resortes, tornillos, piezas para teléfonos, ordenadores, electrodomésticos, etc.

3.1.2.9.2 PBT

- **Propiedades físicas:** Plástico blanco opaco, con buena resistencia a la intemperie. Absorbe humedad con rapidez, aunque menos que el PET.
- **Propiedades termo-mecánicas:** Resistencia mecánica alta, pero menor que la del PET. Frente a éste, presenta una mejor resistencia al impacto en frío. Su intervalo de temperaturas de uso continuo va desde -40°C hasta 125°C , con puntas de hasta 165°C .
- **Propiedades eléctricas:** Algo mejores que las del PET. Tampoco es adecuado como aislante de altas frecuencias.
- **Propiedades químicas:** Muy buena resistencia a todo tipo de disolventes orgánicos, incluso en caliente. Mala resistencia frente al agua a más de 70°C . Es muy inestable frente a los ácidos, incluso débiles.

- **Transformación:** Por inyección. Más sencilla que la del PET. Mayor fluidez en estado fundido. Aplicaciones: piezas electrotécnicas, carcasas de lámparas, teclas de ordenador, fundas de condensadores, carcasas de magnetotérmicos.

3.1.2.10 Policarbonato (PC)

El policarbonato es un plástico muy difundido gracias a su aplicación estrella: los Compact Disc de audio y video Laser Disc. Cada año se fabrican en todo el mundo más de 1000 millones de estos discos compactos, lo que supone la mayor aplicación en volumen de este termoplástico amorfo.

- **Propiedades físicas:** Se trata de un plástico totalmente transparente, con un ligero color propio amarillento, pulible, que proporciona superficies brillantes cuando no está reforzado con fibra de vidrio. Es bastante resistente a la intemperie, y tiende a absorber rápidamente humedad.
- **Propiedades termo-mecánicas:** La resistencia mecánica es media-alta. Su rigidez es alta, pero la característica que más lo distingue es su altísima resistencia al impacto la mayor de todos los termoplásticos conocidos, incluso a temperaturas extremadamente bajas. Las temperaturas de uso continuo van desde los -100°C hasta los 135°C (Con fibras de vidrio, hasta 145°C).
- **Propiedades eléctricas:** Aislamiento eléctrico medio. Con aditivos ignífugos encuentra gran aplicación en el sector de instalaciones eléctricas. No es apto para altas frecuencias.
- **Propiedades químicas:** Este es el punto débil del PC. No resiste ni ácidos ni bases concentradas, tampoco los hidrocarburos ni los alcoholes. En contacto con agua caliente, y un gran número de disolventes puede sufrir fisuración por tensiones.
- **Transformación:** Es por inyección, fundamentalmente, aunque no está exenta de problemas debido a su gran viscosidad en estado fundido. Además, hay que secarlo muy bien antes de la inyección, para que tenga el máximo nivel de impacto que lo caracteriza.
- **Aplicaciones:** Tapas de cajas de conmutación y fusibles, regletas de contacto y bornes, carretes de bobinas, carcasas de transformadores; carcasas de máquinas fotográficas; mirillas, *elementos ópticos*, *pilotos de automóviles*, *pilotos de aviso y avería*; botellas de leche; acristalamientos antirrobo, material antidisturbios; discos compactos.

Existen, además, blends que han encontrado numerosas aplicaciones en los últimos tiempos. El más popular es el (PC+ABS), que presenta una resistencia al calor media entre el ABS y el PC, conservando en gran medida la resistencia al impacto del último. Estos blends han penetrado fuertemente en los sectores



de fabricación de carcasas de impresoras y ordenadores. Para aplicaciones exteriores, se dispone también de blends (PC+ASA).

3.1.2.11 Poliéter de fenileno modificado (PPE+SB)

El Poli (éter de fenileno), PPE, es un plástico amorfo de propiedades mecánicas y térmicas muy interesantes, pero que, lamentablemente, no puede aprovecharse por sí solo para la inyección, debido a su gran tendencia a la oxidación y su sensibilidad a la luz. En 1964 se empezaron a comercializar los primeros PPE modificados (en forma de blends), con poliestireno antichoque (SB), bajo el nombre comercial de "Noryl" (GEP). Este plástico fue introducido con las siglas "PPO modificado" (poli(óxido de fenileno)), que fueron protegidas mediante registro, por lo que el resto de marcas presentes en la actualidad, así como los organismos de normalización internacionales, emplean la denominación estándar "PPE". PPE y PPO son, en cualquier caso, el mismo termoplástico, con distinto nombre.

Las propiedades de la mezcla (PPE+SB) son mucho mejores en la práctica que las del PPE aislado. Estos dos polímeros son miscibles entre sí, en cualquier proporción (caso muy poco frecuente dentro de la física de polímeros). Las proporciones más usuales están en torno a 40:60.

- **Propiedades físicas:** El PPE modificado posee un color propio pardusco o ligeramente marrón, por lo que sólo puede colorearse en colores fuertes. Si se desean colores claros, como el blanco, hay que emplear necesariamente grandes cantidades de pigmento, como el dióxido de titanio, que no son, en absoluto, resistentes a la acción de los rayos UV (amarilleamiento rápido). Es un termoplástico muy poco estable a la intemperie. Se puede añadir aditivos fácilmente para convertirlo en un material auto-extinguible.
- **Propiedades termo-mecánicas:** Posee resistencia mecánica media, pero gran rigidez y dureza. Tiene buenas propiedades de deslizamiento y resistencia al desgaste. Su intervalo de temperaturas de uso continuo va desde -30°C hasta 80°C . Los tipos reforzados con fibras de vidrio resisten puntas de hasta 150°C .
- **Propiedades eléctricas:** El aislamiento eléctrico es bueno.
- **Propiedades químicas:** Resiste con facilidad los ácidos y bases, aunque sean concentrados, las grasas y los aceites; en cambio, es bastante sensible a la acción de muchos disolventes orgánicos, como la acetona o el cloroformo. Muestra una elevada tendencia a la fisuración por tensiones.

- **Transformación:** Principalmente por inyección. Los tipos ignífugos son bastante más fluidos que los que carecen de aditivos. Se puede soldar por ultrasonidos, y se puede pegar sin problemas.
- **Aplicaciones:** Muchas aplicaciones en electrotecnia, como carcasas de condensador, bornes, piezas de radios, TV y contadores eléctricos; piezas para sanitarios y grifería, carcasas de máquinas de oficina, como impresoras.

3.1.2.12 Polisulfonas (PSU) y poliétersulfonas (PESU)

Las polisulfonas (PSU, PESU) son los primeros materiales de esta descriptiva que cabe calificar de termoplásticos de altas prestaciones. Este es un grupo reducido de termoplásticos, también formado por el poli(sulfuro de fenileno), PPS, las poliarilétercetona, PAEK, y los polímeros de cristal líquido, LCP. Se trata de materiales que se salen de las consideraciones normales en cuanto a la resistencia a las temperaturas altas (> 200° C).

- **Propiedades físicas:** Son termoplásticos amorfos, y por tanto, transparentes, de color ligeramente amarillento. Son inestables a la intemperie, y los tipos reforzados con fibra de vidrio, en especial los de PESU, son autoextinguibles, sin necesidad de aditivos ignífugos. En caso de incendio desprenden muy pocos humos, de baja toxicidad. Absorben agua con rapidez (la PSU en menor medida que la PESU).
- **Propiedades termo-mecánicas:** Son las más interesantes. Las polisulfonas poseen elevada rigidez y resistencia mecánica, aunque su resistencia al impacto es media, o baja si se trata de impactos con entalla. Las temperaturas de uso continuo oscilan entre los -70° C y los 160°C (PSU), 190° C (PESU), y son, por lo tanto, superiores en mucho a las temperaturas de otros materiales de ingeniería, como PA o PC.
- **Propiedades eléctricas:** Aislamiento eléctrico bueno (PSU) o medio (PESU).
- **Propiedades químicas:** En general son muy buenas. Lo resisten casi todo, excepto ciertos disolventes dorados y algún compuesto oxidante. Resisten muy bien el contacto con agua caliente, y se pueden esterilizar sin problema con vapor sobrecalentado.
- **Transformación:** Por inyección. El principal problema que plantean es la necesidad de calentar los moldes hasta temperaturas de 160° C, por término medio. Necesitan ser muy bien presecadas para evitar ráfagas superficiales.
- **Aplicaciones:** Todo tipo de aplicaciones en los que se exija gran resistencia a las altas temperaturas (vajilla de hornos microondas), resistencia a la hidrólisis (material médico esterilizable), o poca tendencia a formar humos (revestimiento interior de aviones). Soportes de circuitos impresos, carretes de bobinas, soportes de contactos, porta-escobillas.



3.1.2.13 Polisulfuro de fenileno (PPS)

El PPS ha conseguido en los últimos años una buena cuota de mercado dentro del sector de aplicaciones a altas temperaturas debido a su precio relativamente bajo, en comparación las polisulfonas, y su incluso mayor resistencia a la temperatura.

Es un termoplástico parcialmente cristalino, y prácticamente no se comercializa sin refuerzos (fibra de vidrio y cargas minerales), que pueden llegar al 70% en peso.

- **Propiedades físicas:** Color propio pardo negruzco, opaco. Sensible a los rayos UV. Es autoextinguible sin necesidad de aditivos ignífugos. En caso de incendio, desprende humos poco densos. Absorbe muy poca humedad del ambiente.
- **Propiedades termo-mecánicas:** Gran rigidez y resistencia mecánica, pero poca resistencia al impacto (unas tres veces menor que la de las polisulfonas). Buen comportamiento de fricción-deslizamiento. Se puede emplear en continuo hasta los 230° C, con puntas de hasta 300° C.
- **Propiedades eléctricas:** Aislamiento eléctrico muy bueno.
- **Propiedades químicas:** Lo resiste prácticamente todo, excepto los ácidos oxidantes y los aceites. Es bastante resistente a la fisuración por tensiones.
- **Transformación:** Inyección. En estado fundido presenta una fluidez muy elevada, que le permite llenar cavidades de molde muy complejas, incluso con gran cantidad de refuerzo de fibra de vidrio o carga mineral. Hay que calentar intensamente los moldes (140° C).
- **Aplicaciones:** Piezas técnicas en el interior de aparatos eléctricos, carcasas, rotores de bombas, reflectores de faros delanteros de automóviles, sometidas a grandes esfuerzos térmicos.

3.1.2.14 Poliarilétercetona (PAEK)

La denominación "poliarilétercetona" (PAEK) es genérica, y sirve para englobar una serie de varios termoplásticos parcialmente cristalinos, de composición química parecida, con siglas como PEK, PEEK o PEKEKK. Todos ellos muestran propiedades parecidas, con ligeras diferencias, según composición, en lo tocante a la resistencia a la temperatura. En cualquier caso, las PAEK son los termoplásticos con mayor aguante a las altas temperaturas de todos los conocidos, y también los más caros.

- **Propiedades físicas:** Son plásticos de color grisáceo, opacos, que casi no absorben humedad, y no son estables a la intemperie. Son autoextinguibles sin necesidad de aditivos y en caso de incendio, desprenden menos humo que todo el resto de termoplásticos
- **Propiedades termo-mecánicas:** Las propiedades mecánicas son bastante corrientes, aunque las PAEK son mejores a comportamiento de fricción y propiedades de muelle que el POM. Su tendencia a la deformación plástica es muy baja. Lo verdaderamente excepcional es que mantienen su nivel mecánico hasta temperaturas en continuo de hasta 260° C, con puntas de hasta 350° C.
- **Propiedades químicas:** Son excelentes. Lo resisten todo (incluso a temperaturas de 100° C), con excepción de los ácidos oxidantes. No presentan en absoluto tendencia a fisurarse por tensiones. Resisten las radiaciones energéticas como los rayos X y gamma.
- **Transformación:** Es problemática porque deben transformarse a temperaturas de masa de más de 400° C, con temperaturas de molde de hasta 200° C. Son materiales de inyección.
- **Aplicaciones:** Piezas con las máximas exigencias de temperatura, seguridad frente al fuego, o estabilidad química a altas temperaturas. Ejemplos: cuerpo de carburador de coches de competición, cuerpos de bombas de combustible de aviones, prótesis femorales, jaulas de rodamientos, ruedas dentadas.[Ref 2.]



3.1.3 Termoestables

Los plásticos termoestables son aquellos que una vez moldeados no pueden reblandecerse con el calor, ya que experimentan una transformación química llamada *fraguado*; por este proceso las moléculas se enlazan permanentemente y el polímero queda rígido.

Antes del fraguado, los productos termoestables son líquidos pastosos o sólidos, pero capaces de adquirir la forma adecuada mediante la aplicación de calor y de presión.

Estos plásticos una vez fraguados no es posible darles otra forma ni someterlos a temperaturas elevadas, puesto que sus moléculas se degradan por el calor. [Ref 2.]

3.1.4 Elastómeros

Los elastómeros son aquellos polímeros que muestran un comportamiento elástico. El término, que proviene de polímero elástico, es a veces intercambiable con el término goma, que es más adecuado para referirse a vulcanizados.

Los elastómeros son polímeros amorfos que se encuentran sobre su temperatura de transición vítrea o T_g , de ahí esa considerable capacidad de deformación. A temperatura ambiente las gomas son relativamente blandas ($E \sim 3\text{MPa}$) y deformables. Se usan principalmente para cierres herméticos, adhesivos y partes flexibles. Comenzaron a utilizarse a finales del siglo XIX, dando lugar a aplicaciones hasta entonces imposibles (como los neumáticos de automóvil). [Ref 2.]

3.1.5 Selección de material para cada pieza del conjunto

Tras presentar una breve guía de algunos de los materiales plásticos disponibles actualmente en el mercado, se va a seleccionar un material adecuado para cada una de las piezas necesarias en la etapa de concepción. Pues como se verá más adelante, y como se anticipaba al inicio del apartado, esta decisión tiene un gran impacto en el desarrollo del proyecto. En la etapa de concepción del producto se presentaron las necesidades correspondientes a cada pieza. Tras la breve evaluación anterior de los materiales, se podrían encontrar coincidencias que permitieran seleccionar el material idóneo para cada parte del conjunto. Sin embargo, se va a realizar un paso más ágil para esta selección. Este paso consiste nuevamente en la extracción de información de un producto ya presente en el mercado. [Ref 15.]

Se hablará de un piloto procedente de un Oppel Mokka 2018 del cual se ha extraído información. Tras realizar un despiece del piloto es posible acceder a una información privilegiada de cada pieza; y es que en todas ellas, por normativa, han de aparecer unos marcajes compuestos por un fechador, una referencia de la pieza, el logo de la marca y lo más importante para el desarrollo de esta cuestión; **el material del que se componen**.

Así pues, remitiéndonos de nuevo al despiece de un piloto genérico, Figura 10, y fijando la atención en las piezas necesarias en el proyecto, se ha elaborado la siguiente tabla donde se muestra la correspondencia de materiales por cada pieza.

PIEZA	MATERIAL
Carcasa - Housing	ABS
Embellecedor - Bezel	PC - BLACK
Filtro / Lente - Sscreen / Lens	PC Clear
Soporte y Fijación - Fixations	ABS*

Tabla 3: Material asignado a cada pieza

**El soporte del piloto para la bicicleta carece de pieza análoga en los pilotos de los automóviles por razones lógicas de funcionalidad. Se le ha asignado el material ABS por tratarse de una "continuación" de la carcasa y por poseer requerimientos similares al mismo.*

Además de los materiales señalados cabe destacar que a la lente se le aplican importantes acabados superficiales, cruciales en la vida útil del producto y en la funcionalidad del piloto, como son; un revestimiento antivaho en el interior y un barniz para protegerlo de los rayos UV en el exterior.[Ref 2.]

Por todo lo expuesto anteriormente, podemos concluir en que los materiales elegidos son acordes a los requerimientos buscados.

Un elemento crucial, que no se ha tomado en cuenta, es el análisis económico para esta selección de material; pero, puesto que no pertenece a los objetivos de este proyecto, y su estudio bien podría ser el objeto de otro proyecto completo, parece una buena solución el hecho de tomar como referencia un proyecto real de características similares, ya que resulta impensable que fabricantes de tan grande envergadura no hayan tenido en cuenta un análisis básico de ese tipo.



3.2 MODELADO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICOS

La sección anterior ha concluido con una selección de materiales con los que conformar el producto. De la misma manera que se ha seleccionado el material porque es de vital importancia para un correcto desarrollo del proyecto hacerlo antes de la fase de diseño, se debe elegir el proceso por el cual esos materiales serán conformados ya que como se verá con posterioridad, el proceso de producción presentará limitaciones íntimamente ligadas al diseño del producto y ciertos requerimientos y premisas para lograr un resultado óptimo.

Por lo tanto, para comprender todas estas particularidades que restringirán el diseño, es necesario conocer los fundamentos básicos del moldeo por inyección de plásticos. Y será precisamente de esto, de lo que trate este apartado.

3.2.1 Introducción a la inyección de plásticos

El moldeo por inyección de plásticos es, probablemente, el método de conformación más característico y extendido de la industria de plásticos. El proceso consiste, a grandes rasgos, en la fundición de un material plástico en las condiciones adecuadas para así poder introducirlo a presión en las cavidades de un molde, previamente diseñando, donde sufre un proceso de enfriamiento hasta el momento en el que la pieza se pueda extraer de la cavidad sin riesgo de sufrir deformaciones no deseadas.

En los últimos tiempos se ha presenciado un importante desarrollo en la maquinaria de inyección promovido no sólo por el incipiente crecimiento de materiales utilizados y disponibilidad de éstos, sino también por la creciente demanda de componentes plásticos en todo tipo de sectores.

Generalmente, el moldeo por inyección es aplicado a materiales termoplásticos, aunque, con ciertas modificaciones, se puede aplicar a materiales termoestables e incluso a elastómeros sintéticos.

En el proceso, grosso modo, se pueden distinguir dos fases; -durante la primera se produce la fusión del material y -es en la segunda en la que se produce la inyección del material ya fundido en el molde. La forma en la que se realizan estas dos principales tareas del proceso es lo que marca la diferencia entre unas máquinas y otras.

A *priori* resulta lógico pensar que éste es el proceso que más se ajusta a las necesidades del proyecto, es por eso que, para desarrollar un correcto diseño, primero se introducirán los componentes y conceptos básicos sobre el desarrollo y funcionamiento del modelado por inyección con el objetivo de

conocer la técnica y sus limitaciones y así poder prever distintos problemas frecuentes en este tipo de procesos.

3.2.2 Máquinas de inyección

Atendiendo a las premisas descritas en la introducción a la inyección, a continuación, se enumeran y describen brevemente las máquinas de inyección más utilizadas en la actualidad.

3.2.2.1 Máquinas de Pistón

En sus orígenes, las primeras máquinas contaban con una cámara cilíndrica donde se realizaba la fusión del material. En este tipo de máquinas el plástico, en forma granular, se introduce en la tolva de alimentación a través de la cual pasa al cilindro calefactado donde será fundido. Durante el proceso de calentamiento y fusión, simultáneamente, el material es empujado hacia la parte anterior del cilindro de calefacción mediante las sucesivas emboladas de un pistón que se mueve paramétricamente en el interior del cilindro. Este mismo émbolo es el que realiza la tarea de hacer pasar el material desde el cilindro calefactado a las cavidades del molde. Así que, en este tipo de máquinas, la fusión y la inyección se llevan a cabo en un único cilindro expresamente diseñado para cumplir con ambas funciones.

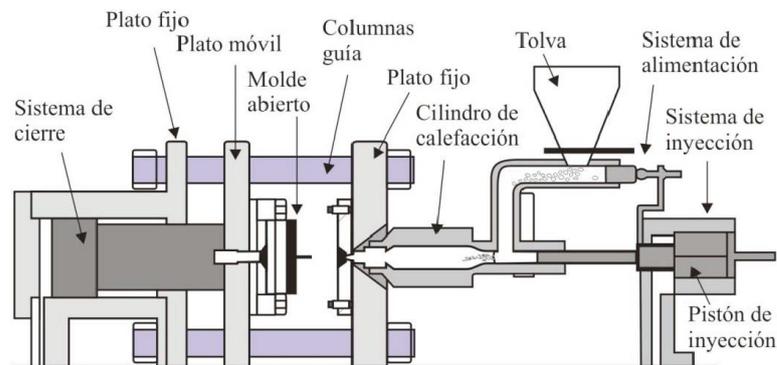


Figura 19: Esquema de una máquina de moldeo por inyección con pistón.

En el esquema anterior de la máquina consideramos los siguientes elementos:

- Un sistema de alimentación y dosificación compuesto principalmente por la tolva.
- Un pistón de inyección, que empuja al material dentro de la cámara de calefacción y le da presión para introducirlo en el molde.



- Una cámara de calefacción, que eleva la temperatura del material hasta su punto de fusión para permitir que fluya al ser sometido a la presión del pistón.
- El molde en el que se inyecta el material. Mecanizado con la forma final de la pieza y con la capacidad de abrirse para extraer la pieza tras la etapa de enfriamiento.
- Mecanismo de cierre que asegura la unión entre las partes del molde durante el ciclo de inyección
- Sistema de control para mantener el orden de actuación de los distintos mecanismos.

Este tipo de máquinas fueron muy utilizadas durante un largo periodo de tiempo. Hoy en día, siguen siendo utilizadas para pequeños lotes de producción o en laboratorios. La disminución de su uso va ligada a una serie de inconvenientes que se comentan a continuación.

- *La dosificación volumétrica de la granza.* En este tipo de máquinas la alimentación se realiza con un volumen de material sólido introducido a través de la tolva para así depositarse en la parte anterior del pistón de alimentación, solidario al de inyección. Cuando el tamaño y la forma de los gránulos de material plástico son muy irregulares, se ve afectada la densidad aparente del material y, por lo tanto, la cantidad de material alimentado en cada embolada. El deslizamiento entre los gránulos de material también afecta a la dosificación. Otra desventaja importante es que, aún consiguiendo una notable uniformidad del granulado de la materia prima, no es posible la reutilización de las mermas de producción, ya que dicha reutilización podría incidir negativamente en el flujo del material.
- *La deficiente transmisión de calor en el cilindro calefactado.* Debido a la baja conductividad térmica de los plásticos, resulta complicado elevar su temperatura de una manera rápida y uniforme. Además, los polímeros fundidos son extremadamente viscosos y es también complicado generar un movimiento turbulento que mejore la uniformidad de dicho calentamiento. Si a todos estos inconvenientes le añadimos la variable de limitación del tiempo que puede permanecer el material dentro del cilindro -por razones evidentes de producción- y en algunos casos, la baja estabilidad térmica de los polímeros, nos encontramos con unas limitaciones importantes difíciles de salvar. Resulta evidente pensar que el diseño más simple del cilindro de calefacción consista en un cilindro recto calentado exteriormente y

dentro del cual se aloja el material. Es por eso por lo que éste fue el diseño utilizado en las primeras máquinas de inyección de pistón, pero este diseño evolucionó debido a la necesidad de mejora de la transmisión de calor en la cámara. Para ello, la vía utilizada fue modificar la relación entre la superficie disponible para la transmisión de calor y el volumen de material para que alcanzara un valor más alto. Como solución de diseño, se introdujo el empleo de un *torpedo cilíndrico* colocado concéntricamente en el interior del cilindro de calefacción y sujeto al mismo mediante aletas laterales, obligando al material a circular en capas delgadas. Normalmente el torpedo está provisto de resistencias eléctricas permitiendo su calentamiento desde el interior de este.

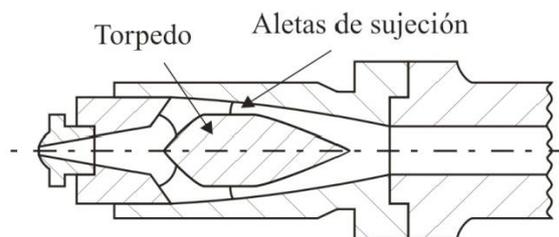


Figura 20: Cilindro de calefacción con torpedo

Previa a la imposición de esta solución se descartaron otras vías como el alargamiento de la cámara de calefacción reduciendo su diámetro pues esta vía implicaría unas pérdidas de presión considerables y un gran aumento de resistencia al flujo del polímero.

Como ya se ha señalado anteriormente, en las máquinas de pistón la unidad de inyección está formada por el cilindro donde también se realiza el calentamiento del material. Para que el proceso sea óptimo, es necesario que la presión sea suficientemente alta en las cavidades de moldeo por lo que es preciso reducir las pérdidas de presión a la mínima expresión posible y estas se deben fundamentalmente a la fricción existente entre los gránulos sólidos situados en la zona posterior al cilindro -ante el pistón de inyección- y a la fricción entre éstos y las paredes interiores del cilindro. Por tanto, se puede comprobar que la mayor pérdida de presión se produce en la superficie de ataque del torpedo donde los gránulos aún se encuentran en estado sólido y la superficie de paso se reduce, aumentando considerablemente los esfuerzos de fricción. Cuando el material avanza hacia la zona anular entre el torpedo y el cilindro, a pesar de que la sección de paso es aún menor, el polímero ya ha alcanzado su punto de fusión y las pérdidas causadas por el flujo son relativamente menores como se aprecia en el

siguiente esquema donde se muestra la evolución de la presión en una máquina de pistón.

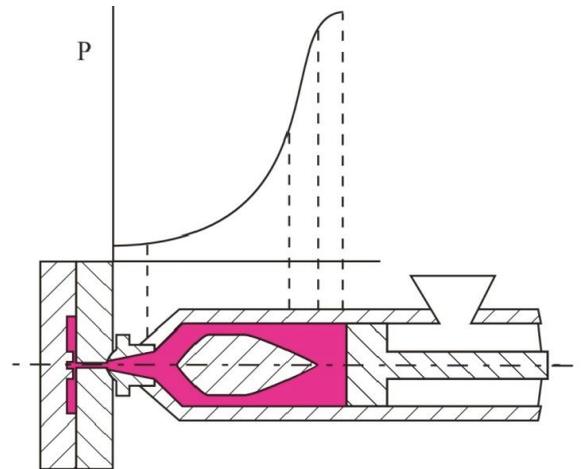


Figura 21: Evolución de la presión en una máquina de pistón

Considerando, como hasta ahora, el cilindro como un mecanismo de inyección sería conveniente alcanzar las mínimas pérdidas de presión. Para ello lo ideal sería eliminar cualquier tipo de obstáculo para el flujo en el interior del cilindro -como podría ser el torpedo- que dificulte el paso del material, se debería aumentar la sección hasta el máximo posible y acortar la longitud del cilindro en la medida en la que lo permitiera la construcción de la máquina. Pero estas medidas entran en conflicto con las impuestas anteriormente para mejorar la transmisión de calor por lo que la solución ideal supone la búsqueda de un compromiso entre ambas en el diseño.

- *La velocidad de inyección.* Debido a la construcción de este tipo de máquinas, a la presencia del torpedo, a la naturaleza del proceso de fundición del material y al diseño de la cámara de calefacción, la velocidad de inyección presenta grandes limitaciones en el proceso.

[Ref 4.]

3.2.2.2 Máquinas de pistón con preplastificación

Este tipo de máquinas de inyección son la sucesión lógica a las máquinas de pistón y han ido reemplazándolas progresivamente ya que con ellas se consiguen solucionar gran parte de las limitaciones que sus predecesoras presentaban.

La innovación que presentan este tipo de máquinas fundamentalmente es la de separar las etapas de fusión e inyección, de manera que se pueda hacer un diseño específico para cada cometido y conseguir que cada una de las partes sea más eficiente sin necesidad de buscar un compromiso para una función común. El planteamiento de la preplastificación consiste en calentar el material en una cámara o cilindro de calefacción para posteriormente trasladar el material ya caliente desde esta cámara, al cilindro de inyección.

Atendiendo a la etapa de inyección, podemos distinguir dos tipos de máquinas con preplastificación; de pistón y de husillo, según utilicen uno u otro elemento en la cámara de preplastificación. Además, se distingue entre máquinas en paralelo o en ángulo en función de la disposición relativa de los cilindros de plastificación e inyección.

En las máquinas de preplastificación y en ángulo -Figura 22- el material plastificado -material calentado- se transfiere al cilindro de inyección cuando éste está vacío. Durante el proceso de inyección en el molde, el propio cilindro a su avance actúa como válvula de cierre del cilindro de plastificación. Las máquinas de este tipo presentan el inconveniente de necesitar dos estructuras que absorban los esfuerzos originados en cada cámara.

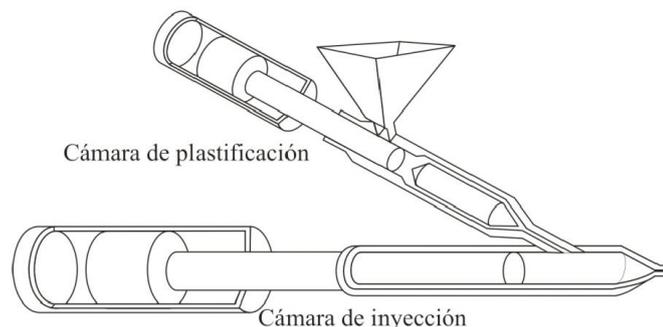


Figura 22: Máquina de inyección de preplastificación con pistón en ángulo

En las máquinas de preplastificación con pistón y en línea como la de la figura **, el cuerpo del cilindro de preplastificación actúa como pistón de inyección una vez que el cilindro se llena. A través de un taladro central en el émbolo de inyección, el material entra en el cilindro de inyección. En el orificio de del émbolo se instala una válvula antirretorno para evitar el flujo de material en la dirección opuesta a la inyección durante el proceso.

Las principales ventajas que presentan este tipo de máquinas son la simetría, la posibilidad de conformar máquinas compactas y una optimización de la economía de construcción en comparación con las máquinas de preplastificación en ángulo.

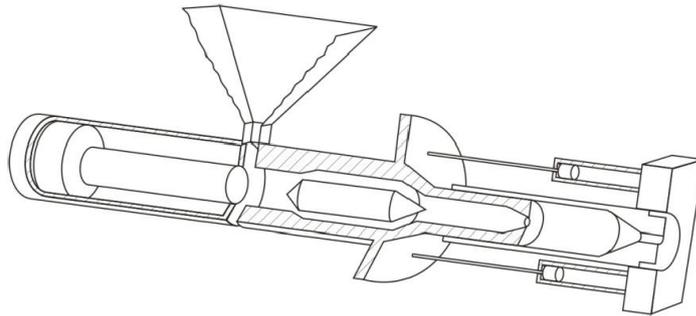


Figura 23: Máquina de inyección con pistón de preplastificación en línea.

El principal inconveniente que presenta este diseño es un problema relacionado con los flujos de material, ya que una vez fundido éste es frecuente que tienda a fluir hacia la cámara de plastificación durante la etapa de inyección o bien que exista una tendencia a salirse de la máquina. Para evitar estos fallos, tal y como ya se ha mencionado, se instalan válvulas antirretorno y es necesario un extra de atención para que este dispositivo tenga un diseño que evite cualquier tipo de atascos y produzca un estancamiento del material. Esto se podría traducir en problemas de flujo del polímero generando defectos en las piezas moldeadas. [Ref 4.]

3.2.2.3 Máquinas de husillo

En la actualidad, las máquinas de husillo son las más utilizadas con diferencia, así que de ahora en adelante en el momento en el que el texto se refiera a una máquina convencional de inyección, se referirá a ésta.

Las máquinas de husillo son capaces de proporcionar un calentamiento uniforme del material, así como un mezclado homogéneo del material. En este tipo de máquinas la inyección se realiza desde la cámara de plastificación, provista de un husillo de la misma forma que las máquinas de extrusión. El calentamiento del material se produce gracias a la transformación de la energía mecánica en energía calorífica por fricción por medio de la rotación del tornillo. Además, las paredes calientes del cilindro contribuyen a aumentar la temperatura por conducción. Mediante estos métodos de calentamiento, la eficiencia en la transmisión de calor de estas máquinas es muy elevada respecto a las máquinas con pistón.

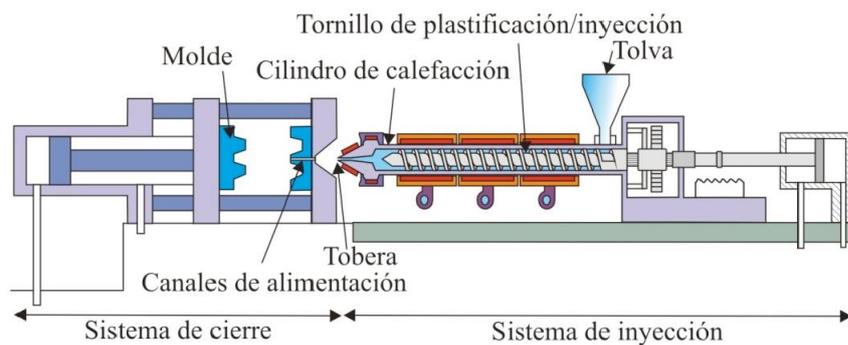


Figura 24: Máquina de inyección de tornillo

La secuencia de funcionamiento de estas máquinas es la siguiente; a medida que el tornillo gira, la máquina genera material fundido que se acumula en la parte anterior del husillo. Para poder alojar todo el material necesario que posteriormente se inyectará, el tornillo realiza un movimiento de retroceso simultáneo al giro. Una vez se haya acumulado la cantidad necesaria de material para inyectar, se detiene el giro y se realiza un movimiento axial hacia adelante a modo de pistón, aplicando al material fundido la presión necesaria para inyectar en las cavidades del molde.

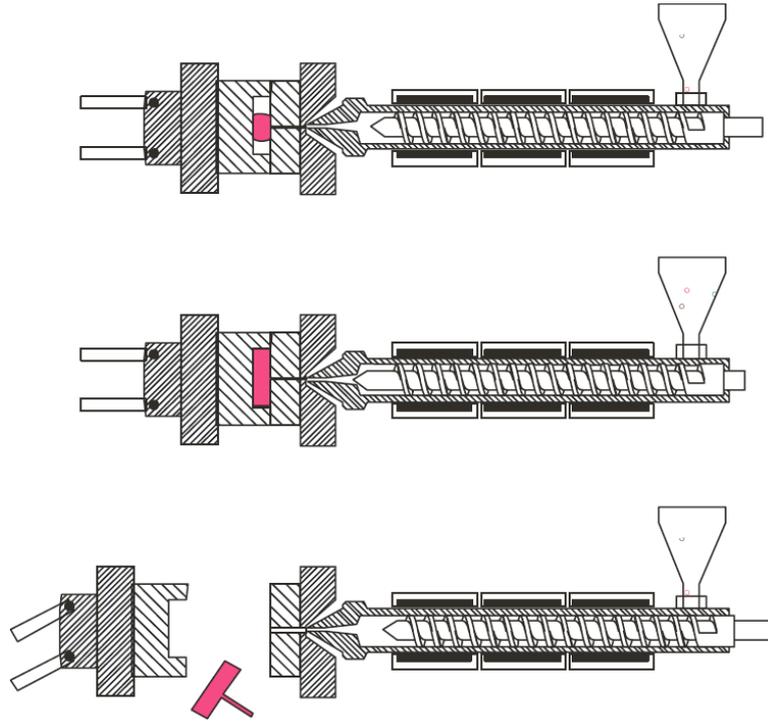


Figura 25: Secuencia de movimientos de una máquina de inyección convencional

En algunas ocasiones las máquinas de este tipo están compuestas por un tornillo de extrusión en la cámara de plastificación y un cilindro de inyección, como en la Figura 26

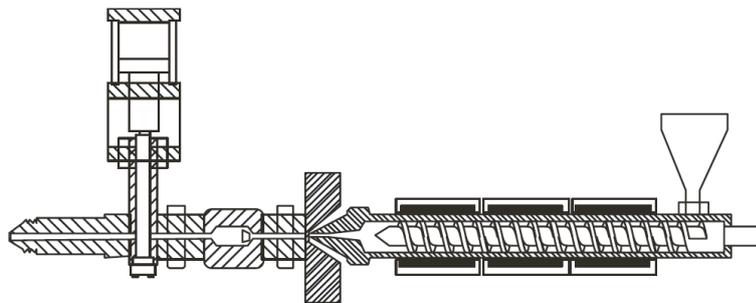


Figura 26: Máquina con tornillo preplastificador y pistón de inyección

[Ref 4.]

3.2.3 Moldes de inyección

Ahora que ya se han descrito las principales máquinas utilizadas en la actualidad y se han expuesto los diferentes componentes que las forman, se tratará con mayor detalle el molde de inyección, cuyo desarrollo está estrictamente ligado al diseño del producto y cuyo coste puede llegar a suponer una de las mayores partidas del proyecto.

Para comenzar, conviene definir algunas de las partes más importantes de los mismos para avanzar adecuadamente en el estudio.

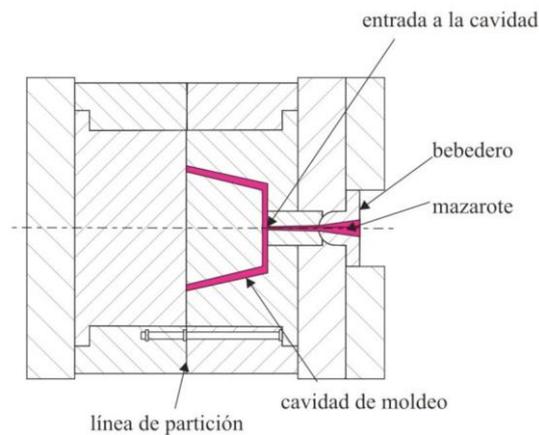


Figura 27: Representación esquemática de un molde de una sola cavidad

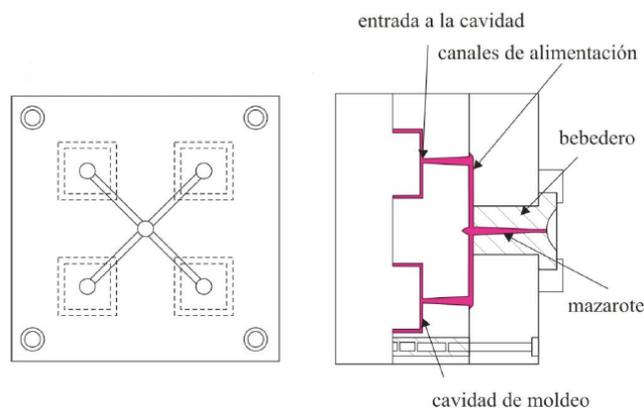


Figura 28: Representación esquemática del área transversal y un corte de un molde de cuatro cavidades

El **bebedero** es la parte del molde sobre la que se sitúa la tobera y el polímero fundido que ocupa el bebedero cuando termina el moldeo, es denominado **mazarota**, en la Figura 27 el bebedero se comunica directamente con la **cavidad de moldeo** pues, como se señala en la imagen, se trata de un molde con una sola cavidad. Mientras en la representación de la Figura 28 se puede observar como el bebedero, en este caso, se ramifica en varios canales de alimentación para llegar a las distintas cavidades de moldeo. El polímero que



rellena estas cavidades de moldeo tras cada ciclo de moldeo recibe el nombre de **ramificaciones**. Tanto la mazarota como las ramificaciones normalmente se encuentran unidos a las piezas moldeadas y se conocen como **recortes**, ya que han de ser separados de la pieza final mediante un proceso posterior de recorte.

La zona del canal de alimentación inmediatamente anterior a la cavidad de moldeo se llama entrada a la cavidad o **entrada (gate)**. La sección de esta zona es considerablemente menor que la del resto de la cavidad y dependiendo de las dimensiones de la pieza a moldear, la cavidad puede tener una o varias entradas convenientemente distribuidas en el volumen de la pieza. El concepto de cavidad de moldeo queda explicado a través de lo expuesto anteriormente y como observamos en la Figura 28 un molde puede estar compuesto por varias cavidades.

Un molde está constituido al menos por dos mitades, que juntas forman la cavidad de moldeo. Estas mitades se unen por presión cuando se cierra el molde. Apoyándose mutuamente en el **plano de partición** del molde. En la representación de una sección del molde, este plano queda reducido a una línea que recibe el nombre de **línea de partición**. El plano de partición siempre es perpendicular a la fuerza que actúa ejerciendo la presión necesaria para cerrar el molde.

Existen aplicaciones para las que se utilizan moldes en tres partes como el de la Figura 28 donde se aprecia que las cavidades de moldeo están en un plano completamente distinto al de los canales de alimentación. Estos moldes resultan más caros, aunque tienen la ventaja de que el llenado de las cavidades resulta más homogéneo y simétrico y eso se traduce en un aumento de calidad de las piezas en cuanto a propiedades mecánicas e incluso de acabado.

A medida que se introduce el polímero fundido en el molde cerrado, el aire presente en la cavidad debe abandonar el molde de alguna manera. Generalmente lo hace a través de la línea de partición o bien a través de la holgura presente entre el molde y las espigas extractores. Hay ocasiones en las que esta evacuación no es posible debido a la elevada presión que se ejerce para cerrar el molde por lo que el molde debe estar provisto de una serie de diminutos orificios practicados a lo largo del plano de partición a través de los cuales se permite la evacuación del aire, pero no la del polímero fundido. Los diámetros alrededor de los cuáles se suelen realizar este tipo de orificios rondan los 0,025mm.

Otra de las partes importantes del molde son los **canales de refrigeración** que tienen el cometido de mantener la temperatura de la pieza lo más uniforme posible durante el proceso de enfriamiento, previo a la extracción, mediante

una circulación generalmente, de agua. El diseño de los canales de refrigeración es un aspecto crítico cuando se habla de velocidades de enfriamiento y de uniformidad térmica.

La calidad y las propiedades mecánicas de las piezas moldeadas dependen también en gran medida de las condiciones físicas del polímero que llena la cavidad en el momento en el que solidifica la mazarota. Es por eso que en los moldes que disponen de múltiples cavidades, se busca que todas y cada una comiencen a llenarse al mismo tiempo y acaben simultáneamente. Una de las maneras más evidentes de conseguirlo, se trata de hacer que el material recorra siempre el mismo camino para llenar todas las cavidades. Este método se conoce como **flujo equilibrado** -Figura 29- y resulta eficaz, pero presenta los inconvenientes de la considerable pérdida de material en recortes y de que las dimensiones del molde crecen. Otra posibilidad es la de modificar el diámetro y la longitud de entrada a las cavidades para compensar las distintas caídas de presión debidas al flujo del material, esta opción es conocida como **flujo compensado** -Figura 30 y presenta la ventaja, frente al flujo equilibrado, de que al disponer las cavidades más próximas y un diseño de canales lo más corto posible, el desperdicio de material es menor.

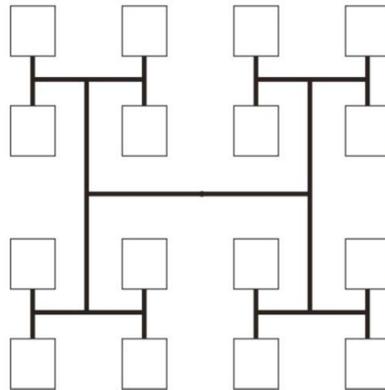


Figura 29: Esquema de diseño de flujo equilibrado

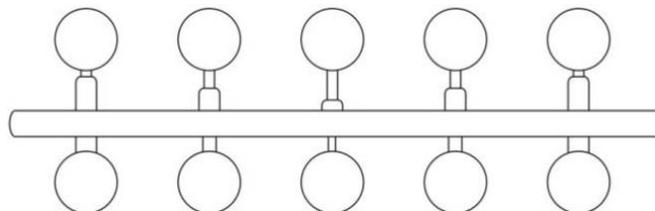


Figura 30: Esquema de diseño de flujo compensado

Tal y como se ha mencionado anteriormente en este mismo apartado, en los moldes convencionales, tras cada etapa de inyección, los canales de



alimentación acaban llenos de polímero solidificado que generalmente se extrae unido a las piezas y requiere de una operación de corte para separarlo de las mismas después de la extracción. Para evitar este desperdicio de material y de tiempo de postprocesado, existe una solución conocida como **el moldeo con canales calientes** que se realiza con un tipo de molde de inyección que incorpora un sistema capaz de mantener los canales de alimentación a una temperatura suficiente como para el polímero permanezca fundido mientras el resto de la pieza se enfría en las cavidades de moldeo. Mediante este sistema se evita la formación de recortes y la necesidad de una operación de acabado en las piezas extraídas y una operación de triturado para reutilizar los recortes. Estos moldes resultan sustancialmente más caros que los convencionales, por lo que para amortizarlos es necesaria una gran producción.

Existe una técnica más llamada **moldeo con canales aislados** que suprime los inconvenientes que presenta la de moldeo con canales calientes. Para llevar a cabo esta técnica se diseñan canales de gran diámetro -del orden de 12,5 mm- y cuando se inyecta el material plástico fundido, la capa en contacto con el metal frío solidifica. Esta capa actúa como aislante térmico por lo que el polímero fluye por el centro del canal permaneciendo fundido inyección tras inyección sin necesidad de un control exhaustivo de la temperatura, eliminando la necesidad de remover los recortes y economizando costes de construcción del molde. [Ref 4.]

4 DISEÑO Y PROTOTIPADO MEDIANTE IMPRESIÓN 3D

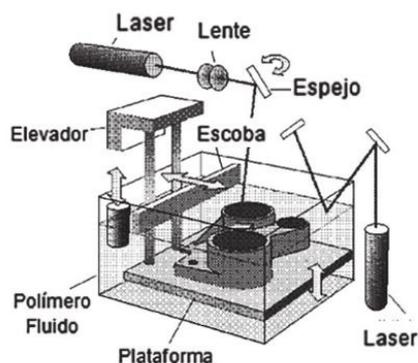
4.1 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D

El origen de la impresión 3D se remonta a 1976, cuando se inventó la impresora de inyección de tinta. Años más tarde, en 1984, algunas adaptaciones y avances sobre el concepto de la inyección de tinta evolucionaron y se transformaron hacia la impresión mediante otros materiales. Durante las últimas décadas, se han sucedido una enorme variedad de aplicaciones ligadas a la impresión 3D desarrolladas por múltiples industrias.

Dichas aplicaciones van desde la impresión de juguetes hasta hogares, pasando por aplicaciones tan sorprendentes como ropa, comida o prótesis médicas.

A grandes rasgos, las impresoras 3D tienen el mismo principio de funcionamiento que las de inyección de tinta, pero en lugar de inyectar tinta, depositan el material elegido en capas sucesivas conformando el modelo a imprimir.

En 1986 Chuck Hull, un ingeniero físico estadounidense, introdujo el término “estereolitografía” para referirse a la creación de sólidos anteriormente diseñados mediante la impresión sucesiva de finas capas de material fundido que se endurece y solidifica por polimerización mediante la exposición a la luz ultravioleta. El objetivo era que los usuarios pudieran probar un modelo 3D antes de invertir en la fabricación del modelo definitivo.



El mismo Chuck Hull, más tarde, fue el cofundador de 3D Systems, empresa que en 1992 consiguió introducir la primera máquina de impresión 3D del tipo SLA (estereolitográfico) en el mercado. La máquina se componía principalmente de un láser UV con el que solidificar un líquido viscoso y de color amarillo translúcido, un fotopolímero, el cual se depositaba capa a capa conformando las partes correspondientes al total del modelo. A pesar de la imperfección, se consiguió demostrar que era posible reproducir geometrías de una alta complejidad.

En 1999 el primer órgano creado en laboratorio se implementó en un cuerpo humano. La operación consistía en un aumento de la vejiga urinaria utilizando un recubrimiento sintético que fue fabricado con sus propias células.

La tecnología que utilizaron los científicos del Instituto de Wake Forest de Medicina Regenerativa puso la semilla a partir de la cuál crecerían los estudios de estrategias para los órganos de la ingeniería, los cuales rápidamente se focalizaron en la impresión 3D como medio de creación. El hecho de que su creación partiera de células del propio paciente reduce el riesgo de rechazo con una enorme efectividad.



Años más tarde, en 2002, se diseña un riñón en miniatura completamente funcional y con la capacidad de filtrar sangre y producir orina diluida al ser implantado en un animal. El desarrollo de este órgano produjo una motivación extra en la investigación con el objetivo de imprimir órganos y tejidos mediante impresión 3D.

En 2005 se funda RepRap, una iniciativa de código abierto con el objetivo de construir una impresora 3D capaz de imprimir la mayoría de sus propios componentes. Con este horizonte se pretende democratizar la fabricación de unidades de distribución a bajo coste y acercar la creación de productos a todo tipo de usuarios a través de materiales como el ABS, PLA, etc.

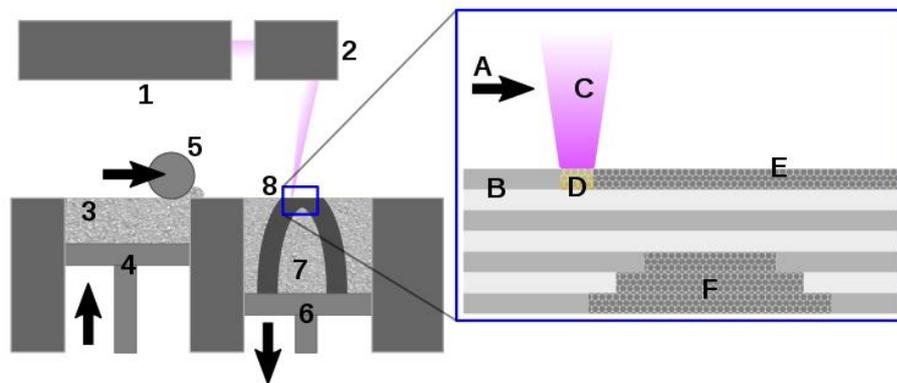
Un año más tarde aparece la primera máquina de Sinterización de Láser Selectivo (SLS) viable.

Para producir modelos mediante SLS se necesita un láser de alta potencia, que podría ser un láser de CO₂, para poder fusionar pequeñas partículas del material deseado, ya sea plástico, metal, cerámica o cristal con la geometría deseada.

Como su propio nombre indica, láser fusiona de forma selectiva material en forma de polvo en una cubeta mediante el barrido de finas capas transversales que van, así, generando el objeto tridimensional. La información dimensional de la pieza a imprimir proviene de un archivo digital generado mediante diseño CAD o bien escaneos tridimensionales. Una vez que la sección transversal, o capa, se va formando, la cubeta de polvo desciende una distancia equivalente al espesor de la capa formada, y una nueva capa de material base es añadida a la superficie. El proceso es así repetido tantas veces como capas se necesiten fundir hasta crear el objeto tridimensional por completo.

Las piezas terminadas tendrán una densidad que depende de la potencia pico del láser más que de su duración, los equipos SLS usan un láser de pulso. Para que la fusión del material sea más eficiente, rápida y sencilla, el equipo SLS precalienta el material polvo base en la cubeta a una temperatura ligeramente inferior a la de fusión de dicho material.

Al contrario que en otros procesos de fabricación por adición, como la estereolitografía (SLA) y deposición de hilo fundido (FDM), la sinterización selectiva por láser no necesita de soportes, ya que la parte sinterizada está todo el tiempo rodeada de polvo sin sinterizar que actúa de soporte. Lo cual supone una menor limitación en cuanto a diseño y geometría y la ausencia de necesidad de retirar los soportes y tratar la superficie tras la impresión.



1 Láser **2** Sistema de escaneo **3** Sistema de dispensación de polvo **4** Pistón de dispensación de polvo **5** Rodillo **6** Pistón de fabricación **7** Plataforma para polvo de fabricación **8** Objeto siendo fabricado (ver inserto)

A Dirección de escaneo del láser **B** Partículas de polvo sinterizadas (estado marrón) **C** Haz láser **D** Sinterizado por láser **E** Plataforma de polvo pre-posicionado (estado verde) **F** Material no sinterizado en capas anteriores.

Mientras tanto, tras tres años de desarrollo tras la fundación de RepRap, sale a la luz Darwin, la primera impresora 3D capaz de crear la mayor parte de componentes que la conforman con el objetivo de crear una réplica o generar repuestos de sus propios componentes.

También en 2008 aparecen, con Shapeways como pioneros, servicios de co-creación que fomentan la producción de obras y objetos físicos creados por artistas, arquitectos y diseñadores que de otra manera serían mucho más costosos y más complicados de producir.

A su vez, también en 2008 se marca un hito en el avance en cuanto a aplicaciones de la tecnología de impresión 3D y es que aparecieron las primeras prótesis completamente funcionales seguido, en el ámbito médico, de la bio-impresión que permite imprimir un vaso sanguíneo por primera vez en 2009 o el primer implante de prótesis de mandíbula impresa en 3D logrado en 2012.

También ha habido importantes hitos en el mundo de la ingeniería. En Southampton, ya en 2011, los ingenieros de la Universidad diseñaron y planearon el primer avión impreso en 3D. Se trataba de un avión no tripulado cuyo plazo de construcción era de siete días y el presupuesto necesario de unos 7000€. Gracias al proceso de producción, fue posible diseñar e imprimir, a un coste inusualmente reducido, las alas en forma elíptica, una característica que ayuda a mejorar sustancialmente la eficiencia aerodinámica y reduce al mínimo la resistencia inducida.



Al margen del mundo de la aeronáutica, de la mano de Kor Ecologic, se presentó el primer prototipo de coche cuya carrocería fue 100% impresa en 3D, contaba con un motor híbrido, tres ruedas y era capaz de alcanzar los 110kmh.

Estos son sólo algunos ejemplos de la rapidez con la que ha evolucionado el mundo de la impresión 3D. Tras la inclusión de los Kits de impresoras 3D DIY, el uso de estos medios se ha extendido a todo tipo de públicos lo que permite un continuo desarrollo de la tecnología, una mejora progresiva y adaptación de los softwares de diseño 3D, nuevos enfoques del lado de la producción permitiendo prototipar de manera rápida y económica y previendo posibles

fallos de producción, nuevas herramientas de educación y un importante apoyo para la creatividad y el ingenio de cualquier individuo.

Toda esta evolución será un importante pilar de este trabajo donde, mediante la tecnología de impresión 3D, se desarrollará un prototipo del producto ya presentado.



4.2 TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D

En este apartado se tratarán las principales tecnologías utilizadas hoy en día para producir mediante impresión 3D prototipos, modelos, patrones o piezas definitivas.

El objetivo será comprender el funcionamiento de cada uno de ellos y, en función de la disponibilidad, la viabilidad y las características de cada uno, seleccionar los más adecuados para producir el prototipo del producto diseñado.

Actualmente existen multitud de tecnologías de impresión 3D. A continuación, se presentan algunas de los más destacados. Éstas son:

- FDM – Modelado por deposición Fundida
- SLA – Estereolitografía
- DLP – Procesamiento Digital de Luz
- SLS – Sinterizado Selectivo por Láser
- SLM – Fusión Selectiva por Láser
- EBM – Fusión por haz de Electrones
- LOM – Fabricación mediante Laminado de Objetos

4.2.1 FDM – Modelado por deposición Fundida

Sus siglas provienen de su nombre en inglés Fusion Deposition Modeling. Este método de impresión fue inventado y patentado a finales de los años 80 por Scott Crump. Es la tecnología más popular entre los usuarios domésticos y la más extendida en el mercado en cuanto a Kits DIY, los cuales suponen un buen ejercicio para comprender el funcionamiento y acercar aún más la tecnología al usuario además de suponer una opción económicamente asequible para prácticamente cualquier persona.

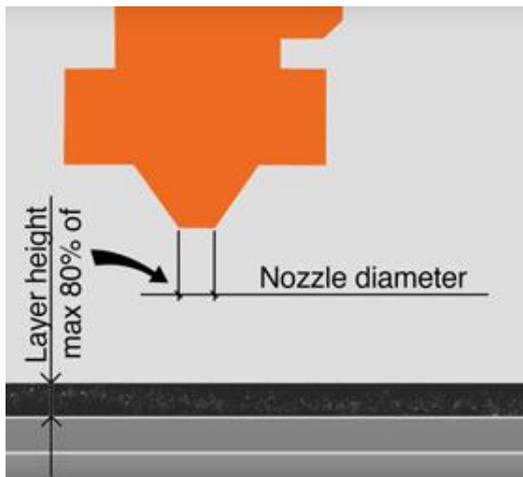


Figura 31: Relación de la boquilla de extrusión con la altura de capa

Los resultados pueden llegar a ser magníficos. Si hablamos de la resolución, ésta está directamente relacionada con el tamaño de la boquilla de extrusión y la precisión de los movimientos del extrusor (eje X/Y), por ello es de vital importancia calibrar correctamente la máquina cuando se requieren unos resultados óptimos. Muchas veces la calidad también varía en función de la máquina, en su precisión y suavidad de impresión, ya que el peso de las capas superiores puede desplazar las inferiores, reduciendo la calidad.

Actualmente podemos encontrar en el mercado impresoras cuyo grosor de capa oscila entre los 0.1 y 0.5 mm.

Esta tecnología se basa en la creación de los sólidos por capas comenzando por la parte inferior del modelo y generando una superficie en la base que se mantiene adherida durante todo el proceso de impresión. Quizá uno de los ejemplos más visuales es el siguiente: imaginad que queremos imprimir una manzana. Este trabajo se realizaría imprimiendo finas rodajas transversales desde la base hasta el raballo de la manzana. Cuanto más finas sean las rodajas, mejor será la calidad final de la impresión y será mayor el tiempo requerido. Decimos que esta tecnología utiliza una técnica aditiva de impresión.

El material de impresión en este caso se consume en forma de hilo, del cual existen varios diámetros disponibles en función del extrusor de la impresora, siendo los más frecuentes 1,75 y 2,85mm de diámetro.



El hilo de plástico pasa por el extrusor mencionado que es, en esencia, un dispositivo que calienta el material hasta el punto de fusión. Es en ese momento cuando el plástico se deposita de manera precisa en la posición correspondiente de la capa que se está imprimiendo. Tras ser depositado en su lugar el material se enfría y solidifica con o sin ayuda de un ventilador de capa, lo cual dependerá de diversos factores como el tipo de material utilizado o la velocidad de impresión. Cuando una capa es completada al 100% el extrusor se desplaza en el eje vertical la distancia configurada para la altura de capa y se continúa con la siguiente. Dependiendo de la naturaleza del modelo, cuando en éste existen voladizos con una pendiente inferior a los 45 grados, en ocasiones es necesario valorar la necesidad de crear soportes de impresión que soporten las capas superiores y una vez acabado el modelo se eliminan. La valoración de los soportes de impresión es un importante punto que considerar en el diseño de la pieza y también en el diseño de la construcción de la pieza por lo que se tratará en profundidad más adelante.

Hoy por hoy, el abanico de materiales de los cuales están compuestas las bobinas de hilo consumible para este tipo de impresión es considerablemente extenso. Existen algunas empresas nacionales dedicadas al desarrollo de este tipo de materiales y en sus catálogos podemos encontrar opciones como: PLA, ABS, PP, PETG, HIPS, fibra de carbono, materiales flexibles, hidrosolubles, etc.

También se pueden encontrar distintos colores y acabados como transparentes, madera, metálicos, cerámicos, etc. E incluso algunas empresas luchan por ofrecer distintas propiedades mecánicas y químicas con el objetivo de que los modelos se puedan utilizar en aplicaciones más exigentes como pueden ser las médicas, de contacto con alimentos o de esterilización. Un sinfín de opciones en continua evolución que incrementa día a día las posibilidades de creación ofrecidas por esta tecnología.



La elección del material definitivo tanto si la fabricación se realiza mediante inyección de plásticos como la elección de material para el prototipado fabricado mediante impresión 3D supondrá un punto de inflexión en el trabajo a partir del cual se desarrollarán el resto de las etapas ya que ésta, como veremos más adelante, condicionará en gran medida el diseño de la pieza.

4.2.2 SLA – Estereolitografía

Fue la primera técnica en utilizarse. Nació antes que la tecnología FDM.

La manera en la que se obtienen los modelos es la misma que cuando hablamos de modelado por deposición fundida, es decir, capa a capa.

Como con cualquier otra técnica de impresión 3D es necesario un archivo digital tridimensional que contenga la pieza que deseamos imprimir. Igual que en el caso de la tecnología FDM, se requiere el paso por un software intermedio que trate nuestro archivo, generalmente en formato .stl, y lo transforme en la composición de finas capas que necesita la impresora para realizar el proceso de impresión.

Una impresora 3D que utiliza la técnica de la estereolitografía está compuesta principalmente por una bandeja de resina, una plataforma móvil en el eje vertical (Z), un sistema de raspado que actúa en el eje X, un láser ultravioleta, una óptica de enfoque y un espejo galvanométrico que actúa en los ejes X e Y y será el encargado de dirigir el haz de luz. La mayoría de estos componentes no están presentes en las impresoras FDM por lo que se puede intuir que la diferencia radica en el proceso de producción de las capas.

El proceso consiste en la aplicación de un haz de luz ultravioleta a una resina líquida, situada en un recipiente, sensible a la luz o foto-curable. La luz UV solidifica la resina capa a capa a medida que la base que soporta la estructura se desplaza para que la luz vuelva a ejercer su acción sobre el nuevo baño, así hasta que se logra el volumen completo de la pieza.

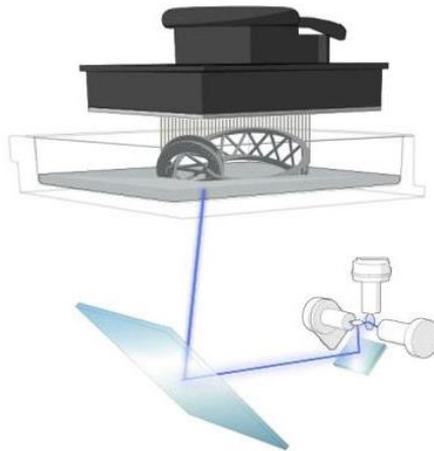
En algunos modelos de máquinas SLA (como en Formlabs, por ejemplo), la producción de la pieza se realiza de forma inversa; en el sentido del desplazamiento del eje Z. La plataforma se sumerge en la bandeja de resina después de cada capa solidificada y el láser actúa de abajo hacia arriba.

Tras finalizar la impresión, pasamos a la etapa de limpieza con un disolvente (lo más común es la utilización de alcohol isopropílico). Este proceso de acabado es necesario para eliminar el exceso de resina no solidificada adherida a la capa exterior de la pieza. A diferencia de otras técnicas tales como la sinterización selectiva por láser (SLS) o la Deposición de Material Fundido (FDM), se requiere un post-procesamiento, a parte de la limpieza ya descrita, para finalizar el proceso de fotopolimerización y conseguir las propiedades mecánicas y de acabado óptimas del material.

Otro aspecto común con la tecnología FDM es el uso de soportes para imprimir formas complejas. La naturaleza de los soportes es ligeramente diferente, ya que en el caso de la Form 2 (impresora que se utilizará en el desarrollo del

prototipado) funcionarán a tracción mientras en el caso de las impresoras FDM el objetivo es soportar los voladizos para que no se precipiten hacia la base. Los soportes se diseñan con el objetivo de ser eliminados con facilidad durante el postproceso de la impresión.

La tecnología de estereolitografía *ofrece un acabado superficial ligeramente vítreo*, pero generalmente es superior a los procesos FDM o SLS (con el mismo espesor de capa). No es raro que las diferentes capas de impresión sean apenas visibles. Sin embargo, a diferencia de las posibilidades de acabado en FDM, pocos colores están disponibles para las impresiones SLA.

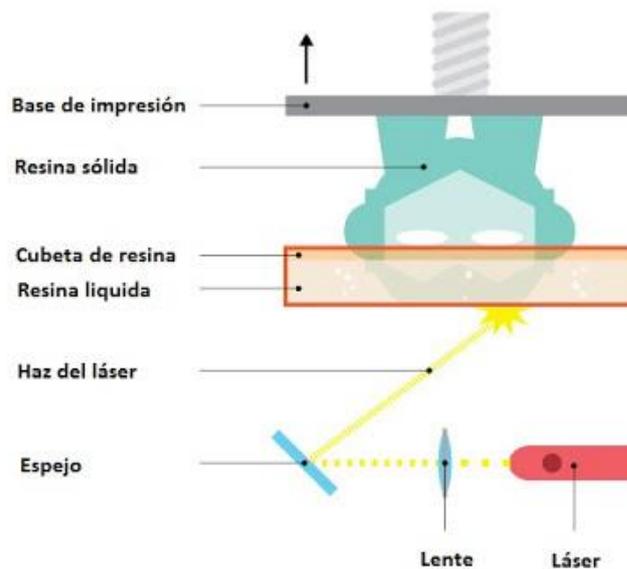


Por tanto, la calidad que se puede llegar a alcanzar mediante este método es altísima, aunque en función del soporte que necesite la geometría, la cantidad de material desperdiciado es considerable.

Algunos ejemplos de impresoras 3D que funcionan por estereolitografía son: Projet 1500, 1200 ó 3510 de 3D Systems.

4.2.3 DLP – Procesamiento Digital de Luz

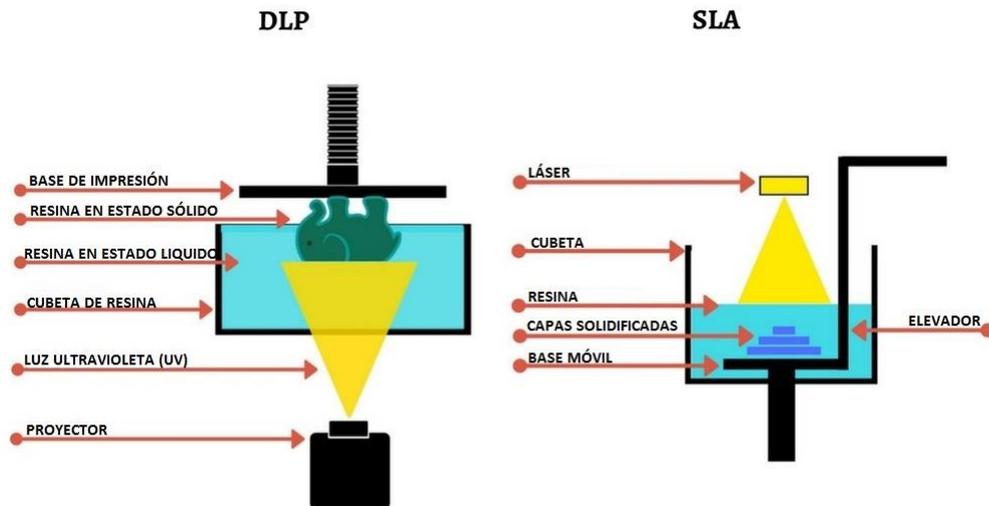
El principio de esta tecnología de impresión 3D tiene su origen en 1986 cuando se patenta la técnica de estereolitografía conocida por sus siglas SLA, cuyo principio es la fotopolimerización de una resina en estado líquido mediante la exposición a un láser.



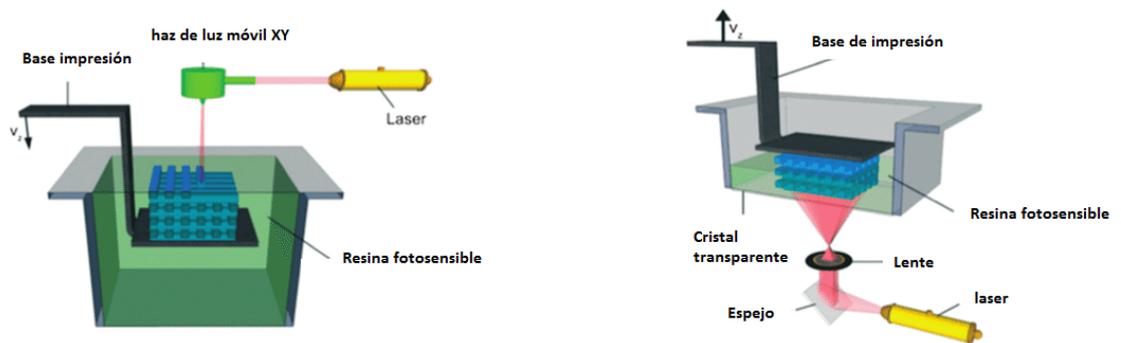
El DLP -Digital Light Processing- es una tecnología de procesamiento digital de la luz que se utiliza, además de la impresión 3D, en la proyección de películas y en teléfonos móviles.

Este proceso de impresión tiene muchas similitudes con la estereolitografía o SLA estudiada con anterioridad. La materia prima utilizada es una resina compuesta por fotopolímeros en estado líquido, igual que en el proceso de estereolitografía, y la creación del sólido también es común a ambos procesos. Por capas. Para ello el proceso químico que sufre la resina es la fotopolimerización, en el cual el líquido se endurece pasando a estado sólido debido a la acción de la luz. Seguidamente, la plataforma se desplaza una distancia equivalente a la altura de capa configurada con el fin de solidificar la siguiente hasta alcanzar la geometría definitiva.

La diferencia radica en el tratamiento de la luz. La exposición puede realizarse mediante láser o un punto de luz LED UV mediante un proyector. La tecnología SLA utiliza láser, y la tecnología DLP utiliza un proyector. El procesamiento digital de la luz permite reducir los tiempos de impresión en gran medida pudiendo crear capas en segundos.

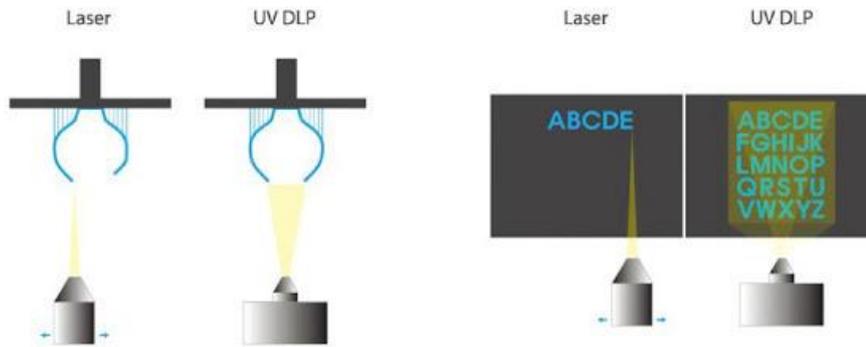


Cuando se utiliza un láser, éste se puede colocar en la parte superior o en la parte inferior para realizar la fotopolimeración.

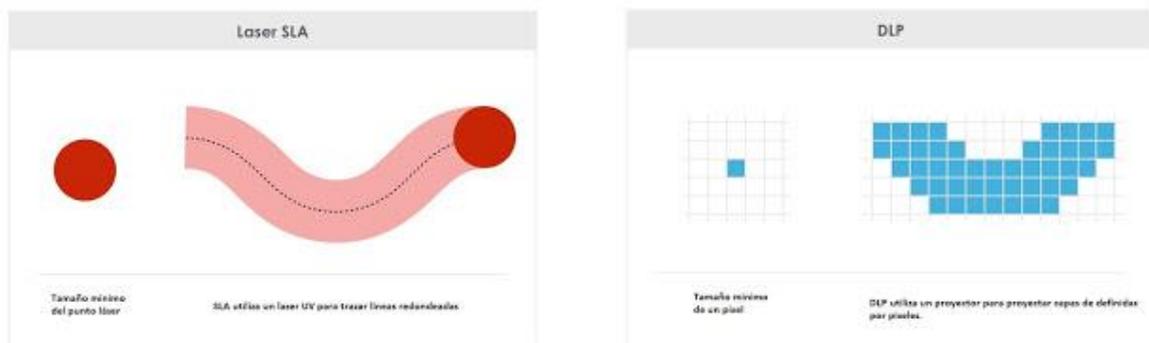


La principal y más evidente ventaja de la tecnología DLP, es el tiempo de impresión.

Mientras que el haz de luz del láser tiene que hacer un recorrido similar al cabezal del extrusor en la tecnología FDM, el proyector DLP es capaz de proyectar una capa entera sin necesidad de hacer recorridos en el plano XY.



Por el contra, una ventaja de utilizar una impresora con láser es que se pueden conseguir mejores acabados que con las que están provistas de un proyector DLP, ya que en estos casos el tamaño mínimo de luz es un pixel de pantalla.



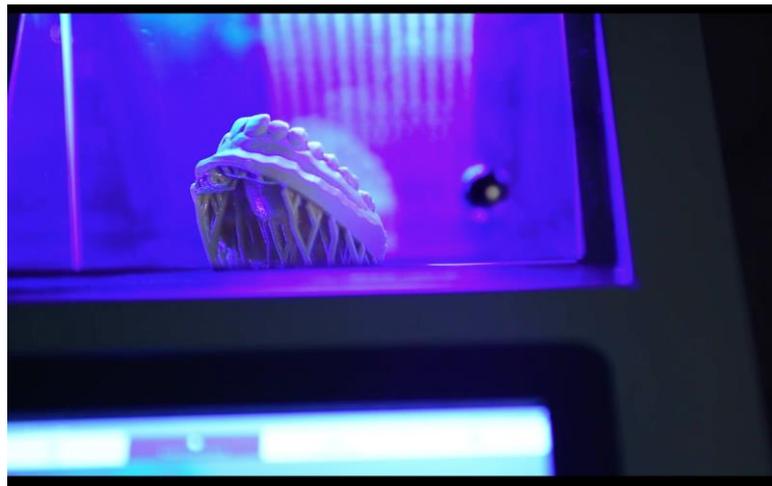
Como se observa en la imagen, la tecnología SLA obtiene un mejor acabado, ya que permite trazar formas redondeadas y continuas. Sobre el modelo impreso mediante DLP, se pueden apreciar las líneas correspondientes a las capas de impresión. A pesar de ello, ambas tecnologías logran una resolución muy superior a las impresoras que utilizan el moldeado por deposición fundida (FDM).

Una de las principales desventajas de la estereolitografía, tanto de la tecnología DLP como la SLA es el alto coste del material primario, la resina líquida. Este

material es costoso, el litro de resina tiene un precio de 100€ de media, frente a 1kg de PLA que oscila entre los 20€ y los 30€.

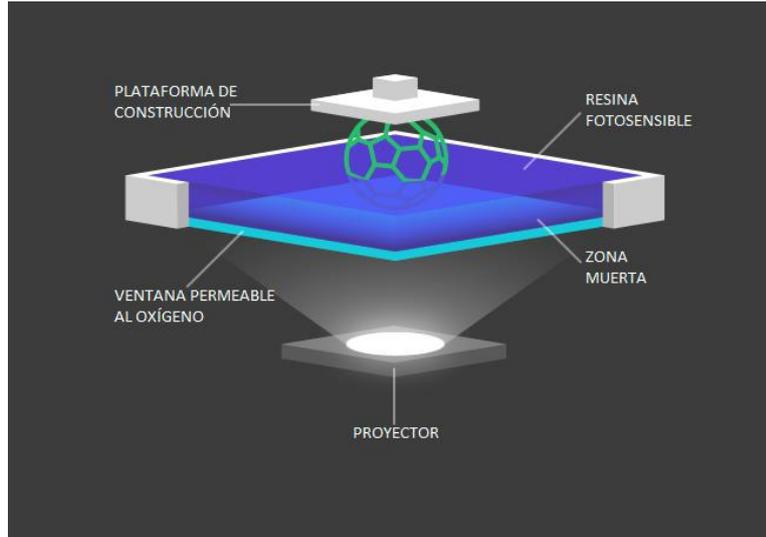
Otro inconveniente es el post-procesado de las piezas. El post-procesamiento de la pieza sigue estando presente en esta tecnología ya que los fotopolímeros son frágiles por naturaleza, aunque pueden ser lo suficientemente duros como para resistir el uso bajo condiciones y características mecánicas. Para ello, tras la impresión, las piezas requieren de ciertos tratamientos similares a los de la estereolitografía, siendo algunos de los más comunes el baño químico, la limpieza del material sobrante y el horneado, que deshidrata la pieza y refuerza las uniones. Normalmente a este último proceso se le denomina curado y se realiza mediante exposición de luz UV.

Esta tarea puede resultar tediosa, pues es conveniente mantener un elevado nivel limpieza y orden en el manejo de estos materiales, ya que la resina puede ser nociva.



Su uso aún está restringido al ámbito profesional debido a su elevado coste y a las aplicaciones para las que esta tecnología es utilizada, siendo su principal finalidad la fabricación de moldes de gran volumen y con acabados exigentes.

En el caso del desarrollo del prototipo que se va a realizar sobre este trabajo, la mayoría de las piezas que compondrán el conjunto se podrán fabricar mediante FDM ya que no requieren de un acabado muy exigente. Además, esta decisión permitirá reducir el presupuesto de una manera considerable.

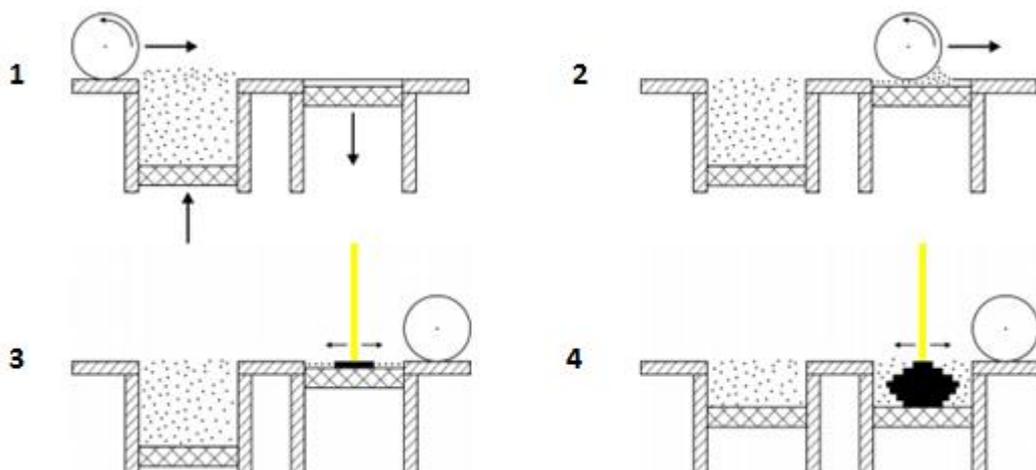


4.2.4 SLS – Sinterizado Selectivo por Láser

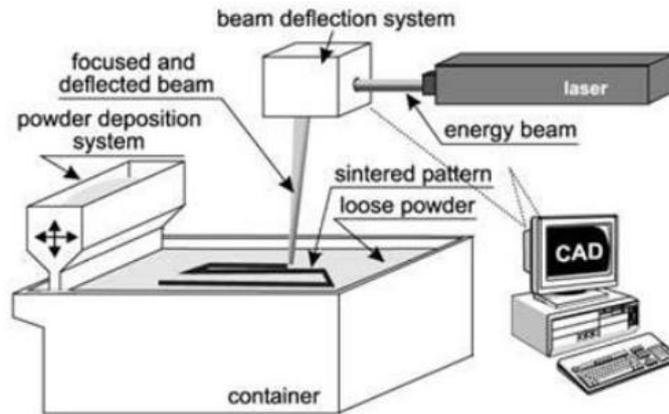
La sinterización selectiva por láser (SLS) es una avanzada tecnología universal de prototipado rápido (RP) altamente flexible que puede utilizar una amplia gama de materiales en polvo para generar geometrías complejas de alta calidad directamente desde modelos digitales. El proceso SLS utiliza un láser para sinterizar áreas seleccionadas de materiales en polvo para producir objetos sólidos capa por capa.

El SLS se ha utilizado ampliamente como una técnica de fabricación aditiva en lugar de solo como una tecnología de creación rápida de prototipos, a pesar del número limitado de polímeros aplicables actualmente presentes. Las investigaciones realizadas hasta el momento sugieren que el SLS puede contribuir en gran medida a los campos clínicos y biomédicos al aumentar la precisión y reducir los costos y el tiempo a largo plazo.

Esta técnica utiliza un potente rayo láser de CO₂ para fabricar modelos de forma selectiva. De manera similar a la estereolitografía por láser o el modelado por deposición fundida, se genera, partiendo de un diseño digital, un archivo con datos de corte en dos dimensiones que es leído por la máquina y se trata del mapa que dirige la trayectoria de exposición del láser. El rayo láser traza el recorrido que conforma cada capa en la superficie del polvo y lo calienta hasta la temperatura de sinterización consiguiendo de esta forma la unión selectiva de las zonas en las que incide el rayo. Tras la fusión de cada capa, la bandeja de construcción, donde se encuentra el material consumible, se mueve hacia abajo, y se deposita y sinteriza una nueva capa de polvo inmediatamente encima de la anterior a una distancia variable que dependerá de la configuración de la impresión y de la calidad deseada. Este proceso se repite hasta que el objeto alcanza su volumen final. Una de las principales ventajas de este proceso es que el polvo no fundido en cada capa sirve como estructura de soporte.



La contracción y la deformación debidas a la sinterización y el enfriamiento pueden considerarse como desafíos en este proceso que se pueden reducir al elegir partículas de polvo de tamaño pequeño y la temperatura del flujo de aire dentro de la ventana de temperatura de sinterización. Los productos fabricados por SLS pueden reutilizarse triturándolos hasta convertirlos en polvo.



SLS utiliza una amplia gama de materiales para la producción de modelos. Los esfuerzos de desarrollo material sugieren que cualquier material se puede combinar con un material de bajo punto de fusión que servirá como pegamento.

Hay una serie de materiales como la cera, el cermet, materiales cerámicos, compuestos de nailon y vidrio, polvos de metal-polímero, gran variedad de metales, aleaciones o aceros, polímeros, el nylon y algunos carbonatos que hacen que el sinterizado selectivo por láser sea superior a otras técnicas. A pesar de ello, El más común es poliamida (PA 12), conocido comúnmente como Nylon 12.

La obtención de una alta precisión es un desafío importante para el desarrollo de esta técnica, ya que otras técnicas de fabricación aditiva, como la inyección de polietileno y la estereolitografía, ofrecen una mayor precisión. Esto podría resolverse aplicando al láser unos parámetros adecuados y jugando con el tamaño de partícula del polvo. Tanto el software mediante el cual se crean los archivos de corte en dos dimensiones como el software de lectura de estos también juegan un papel crucial en el resultado final. Esto se debe a que el software permite la aplicación de ajustes avanzados de los parámetros tecnológicos del proceso y, por lo tanto, puede proporcionar diferentes resultados al proceso.

Se espera que la fabricación aditiva, ese marco que engloba a todas las técnicas de impresión en tres dimensiones estudiadas hasta ahora en este trabajo, juegue un papel importante en la tendencia hacia la medicina personalizada. Junto con la segmentación de imágenes médicas, el diseño

asistido por computadora y la simulación computacional, se espera una continua evolución y expansión de los dispositivos, sistemas e implantes médicos existentes. Se prevé que el uso de la tecnología SLS para aplicaciones médicas continúe creciendo en escala y creatividad a medida que el concepto y la aceptación de medicamentos específicos para pacientes y los beneficios de la tecnología sean realizados por hospitales, universidades e industrias. Para ello, es de vital importancia la realización de investigaciones adicionales con el objetivo de crear y mejorar los materiales biocompatibles. Las mejoras y la validación para mejorar la precisión, la longevidad y la durabilidad de los implantes beneficiarían enormemente la aceptación de la técnica de producción en este sector tan prometedor.

Inicialmente, los principales usos de esta tecnología se han asociado al prototipado, pero a medida que los materiales evolucionan y son, cada día y gracias a la investigación, más resistentes y se han abaratado los precios de las impresoras 3D SLS, por lo que se habla finalmente del desarrollo de piezas finales utilizando el Sinterizado Selectivo por Láser. [Ref 5.]

4.2.5 SLM – Fusión Selectiva por Láser

SLM (Selective Laser Melting o Fusión Selectiva por Láser) es un método de fabricación aditiva específicamente desarrollado para la impresión 3D de aleaciones metálicas. La primera patente, la publicó en 1995 el Instituto Fraunhofer ILT en Alemania. Genera piezas de forma aditiva fundiendo las partículas de polvo de metal en un proceso de fusión integral. La tecnología SLM funde totalmente el polvo, por lo tanto, necesita alcanzar temperaturas elevadas. Con el objetivo de lograr unas condiciones idóneas para la fundición, la cabina está rellena de un gas inerte, que generalmente es argón o nitrógeno con niveles de oxígeno inferiores a 500 partes por millón.

El proceso de fusión completa permite que el metal conforme un bloque homogéneo con una gran resistencia. Se adapta perfectamente a los metales puros como el titanio o el aluminio.



Debido a las altas temperaturas que se alcanzan en este proceso para fundir completamente el material, hay que tener en cuenta que, inherente al proceso, existe un tiempo de enfriamiento necesario.

Los pasos del proceso SLM son los mismos que los de otras tecnologías aditivas basadas en láser; en primer lugar, se aplica un rodillo a una capa de polvo de metal, a continuación, el láser sintetiza el polvo de acuerdo con el archivo generado a partir del modelo tridimensional y la plataforma desciende antes de aplicar una nueva capa de polvo. El proceso se repetirá las veces que

sea necesario hasta que finalice el proceso de creación. Una vez terminada la impresión, tras el proceso de enfriamiento, se podrá extraer la pieza.

El proceso de Fusión Selectiva por Láser (SLM) utiliza elementos de apoyo con el fin de reforzar los pequeños ángulos y salientes de las piezas, pero también para pegar el diseño a la bandeja. Estos elementos de apoyo se pueden retirar manualmente después del enfriamiento. Habitualmente se utilizan diversas técnicas de acabado, tales como el fresado o el tratamiento térmico, después de la impresión con el fin de alcanzar los requerimientos mecánicos, funcionales y de acabado de la pieza.

Este proceso está dirigido para todos aquellos que necesitan generar piezas metálicas para la creación de prototipos o para su producción inmediata. La tecnología SLM permite crear diseños complejos y con un detalle asombroso cuya producción mediante otros métodos de producción tradicionales sería impensable. Además, permite integrar múltiples componentes como pernos, pasadores y otros elementos de montaje en un solo objeto, reduciendo de esta manera los costes de montaje y mano de obra, así como los plazos de entrega.

Gracias a nuestro servicio SLM online, puedes tener acceso a impresoras 3D SLM profesionales para producir tus piezas de forma remota y sin tener que preocuparte del funcionamiento de las máquinas. En solo unos días, recibirás tus piezas metálicas impresas en 3D, totalmente funcionales y listas para ser utilizadas o integradas en un objeto de mayor tamaño.

Centrándonos en las aplicaciones de la tecnología SLM, el aluminio y las aleaciones metálicas utilizadas son capaces de soportar condiciones de presión elevada y de alta temperatura de gases, lo que le confiere grandes opciones de aplicación en los sectores de la ingeniería mecánica y la ingeniería química siendo el medio de obtención de productos más ligeros, un proceso de elevado rendimiento y una importante reducción de costes son metas que se suelen alcanzar gracias a la tecnología SLM.

La industria aeroespacial y la aeronáutica figuran entre las mayores beneficiarias de esta tecnología. Las piezas creadas mediante el proceso SLM se utilizan para generar herramientas, accesorios, piezas de motor, como rotores e impulsores, canales de refrigeración, etc. Otros sectores que suelen utilizar la tecnología SLM son la automoción, la investigación, la odontología y la ingeniería sanitaria.

A priori, ninguna de las piezas desarrolladas para el prototipado del piloto requiere de las características tan exigentes como las que la Fusión Selectiva por Láser es capaz de ofrecer por lo que se desestimará el uso de este proceso para su fabricación.

4.2.6 EBM – Fusión por haz de Electrones

La fusión por haz de electrones, o en inglés, Electron Beam Melting (EBM) permite fabricar piezas metálicas prácticamente con la misma libertad de expresión que lo hace la técnica de Fusión Selectiva por Láser.

Es un proceso particularmente interesante para la producción de piezas de marcado carácter técnico con la limitación de tamaño medio (ya que las impresoras del mercado no disponen de grandes capacidades volumétricas) y dirigido a pequeñas producciones o incluso una producción reducida a la unidad. Por esta razón, los principales usuarios son la industria biomédica que se sirve de este proceso para fabricar prótesis, la industria aeronáutica o incluso la industria del deporte automóvil.

La industria automóvil para el público general sigue atentamente la evolución de esta tecnología, sin embargo, no se ha normalizado aún su integración en sus cadenas de producción.

El funcionamiento de la fusión por haz de electrones es semejante al de la fusión selectiva por láser, de hecho, la principal diferencia entre los procesos con láser es que la fuente de energía, como el nombre del proceso lo indica, no es un rayo láser sino un haz de electrones. Mientras que un filamento de tungsteno se calienta al vacío, este libera electrones que son partículas elementales cargadas eléctricamente. Estas partículas son aceleradas y dirigidas por electroimanes con el fin de ser proyectadas a alta velocidad sobre la superficie del polvo. Estas proyecciones tienen por efecto el calentamiento de las partículas de polvo hasta alcanzar su punto de fusión.



Para asegurar el correcto funcionamiento de la proyección del haz de electrones, todo el proceso se realiza al vacío. Esto también permite evitar que el polvo se oxide durante el calentamiento, de esta forma, al final de la fabricación, una gran parte del polvo no fundido es reutilizable casi

directamente. Es notorio el interés que despiertan todas estas cualidades sobre la industria, en especial para el sector aeronáutico donde frecuentemente sólo un quinto de la materia prima utilizada en el proceso es la que conforma la pieza final, el resto es retirado por medio de maquinado y enviado a reciclaje.

Una vez la fabricación terminada, el operador retira la pieza de la máquina y luego expulsa el polvo no fundido con la ayuda de una sopladora o un cepillo. Luego, se deben retirar los soportes de fabricación si los hay, despegar la pieza del plato de fabricación y finalmente pasar a los procesos de terminación (maquinado de superficies en contacto con otras piezas, pulido, etc). En algunos casos, puede ser necesario calentar la pieza en un horno durante algunas horas para liberar los esfuerzos inducidos por el proceso.

Como se explica al inicio del apartado, el proceso de fusión por haz de electrones se basa sobre el principio de cargas eléctricas, por lo cual los materiales utilizados deben ser imperativamente conductores. Sin el material no fuera conductor, ninguna interacción se produciría entre el haz de electrones y el polvo. Por eso la fabricación de piezas con otro tipo de materia prima como pueden ser los polímeros o los materiales cerámicos es técnicamente imposible.

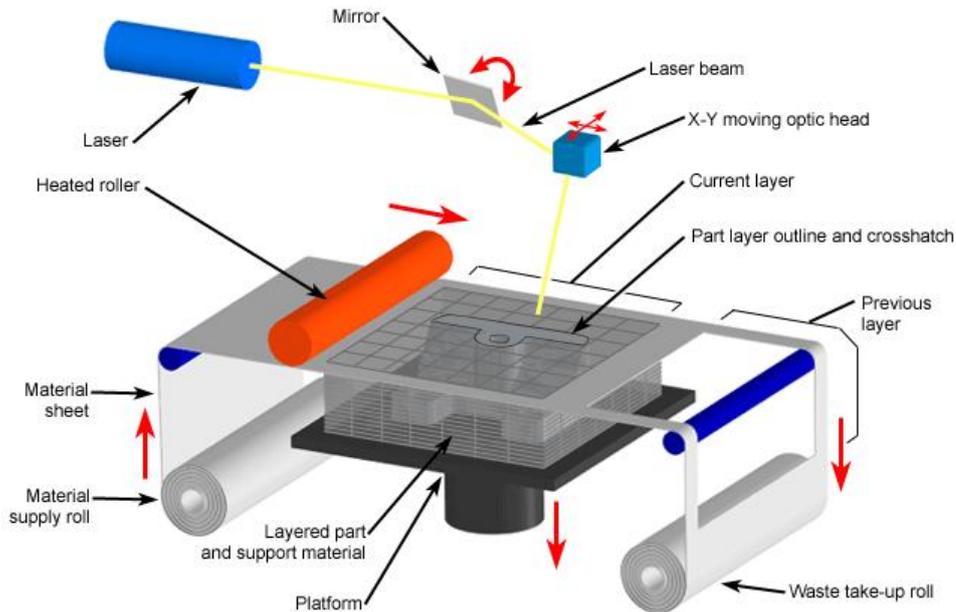
Si hubiera que elegir entre láser y haz de electrones, la respuesta nunca va a ser unánime y dependerá de las necesidades de cada proyecto y de cada pieza a fabricar.

Las principales ventajas del haz de electrones frente al láser son la velocidad de fabricación, ya que el haz de electrones se puede separar para calentar el polvo en diversos lugares en el mismo instante, lo que permite acelerar el proceso de fusión.

Pero si lo que se busca es una definición precisa, hay que ser consciente de que, con respecto al polvo, el haz de electrones es algo más grande que el láser lo que limita la precisión poniendo en primer lugar al método de Fusión Selectiva por Láser.

Puesto que el prototipo será fabricado en materiales plásticos no conductores, esta tecnología no es válida para el propósito.

4.2.7 LOM – Fabricación mediante Laminado de Objetos



El principio de funcionamiento de este proceso es sencillo, se basa en la construcción del modelo por capas donde el espesor de la capa viene dado por el consumible, que en principio podría ser cualquier material en lámina con adhesivo, sin embargo, el más usado es el papel Kraft con un polietileno termo-sellable, por su disponibilidad y rentabilidad. Dicho consumible, siempre en forma de lámina transversal, se posiciona automáticamente sobre una plataforma, donde son cortados mediante tecnología laser con la forma deseada de cada capa, anteriormente definida en el diseño del archivo CAD elegido. Una vez finalizado el corte de la sección, la plataforma baja y así comienza el proceso nuevamente con una nueva sección hasta conseguir el volumen final. Finalmente, el material es separado de la base.

Esta tecnología es usada en diversas industrias y se puede utilizar con una gran variedad de materiales, controlando algunas de sus características como por ejemplo el grosor de las láminas, podemos variar las características del producto final hasta cumplir con los requerimientos. Si hablamos de la precisión del método, además de no presentar ningún problema de contracción y no sufrir deformación o tensiones residuales internas, la precisión dimensional es muy alta, aunque ligeramente inferior a la de la estereolitografía o la sinterización selectiva por láser. Como contrapunto positivo ante estas otras tecnologías, no es necesaria la etapa de molienda del consumible y el volumen disponible es relativamente mayor.

Este método presenta algunas limitaciones específicas;

La intensidad del láser debe ser controlada para que, aun cumpliendo su función, las láminas previamente cortadas no sean dañadas. También hay que tener en cuenta que la resistencia de la pieza final estará íntimamente relacionada con la unión que proporciona el adhesivo entre cada lámina, consideración importante, si el objetivo es la creación de una pieza con importantes requerimientos mecánicos.

Otra importante recomendación es evitar el uso de láminas con espesores mínimos ya que el proceso de producción es exigente y dichas láminas pueden resultar demasiado endebles como para soportarlo. Adicionalmente, es digno de mención el proceso final de eliminación de soportes, siendo la etapa más tediosa y delicada.

Como conclusión enfocada a este trabajo, para la producción del prototipo diseñado, no es la tecnología idónea puesto que no necesitamos piezas de gran tamaño y podemos alcanzar los resultados deseados con otras tecnologías disponibles como FDM o SLA, más extendidas entre los usuarios domésticos.

4.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS IMPRESORAS DISPONIBLES

Ahora que ya se ha hecho un estudio de las principales técnicas disponibles hoy en día, a continuación, se presentan las máquinas que se utilizarán en el desarrollo del prototipo y sus correspondientes características.

4.3.1 Prusa i3 MK3

En este Trabajo Fin de Grado se va a llevar a cabo la construcción de un prototipo, utilizando la tecnología de impresión 3D, e imprimiendo cada una de las piezas que lo componen por separado. Una impresora 3D es capaz de reproducir diseños a partir de un archivo digital realizado mediante una herramienta software, en nuestro caso CATIA V5. La impresora, como hemos señalado anteriormente, desarrolla el modelo en capas que se irán superponiendo hasta completar el objeto diseñado, utilizando una técnica aditiva de impresión. En el caso de la Prusa i3 MK3 la tecnología de impresión utilizada es la de *Modelado por Deposición Fundida*, descrita con anterioridad.

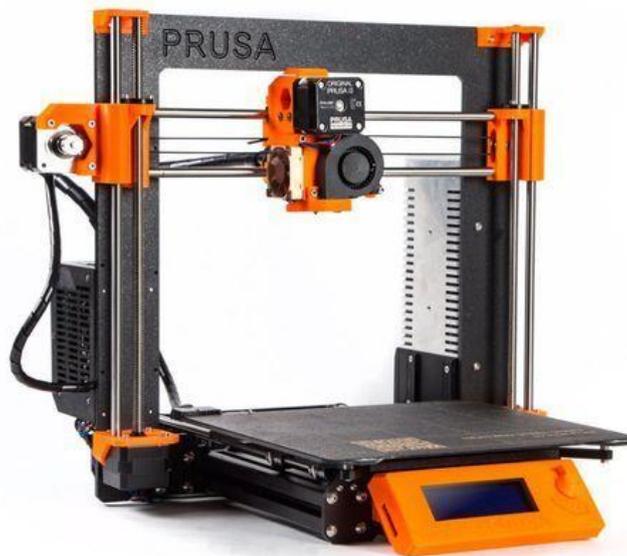


Figura 32: Prusa i3 MK3

Es una de las impresoras que se comercializa en formato KIT DIY más populares en el mercado debido a sus buenos resultados, un buen soporte técnico y al uso de un software libre en constante evolución.

Una de las etapas de este trabajo ha consistido en el montaje de la misma, lo cual ha resultado muy interesante, ayudando a comprender mejor el funcionamiento y la utilidad de cada uno de sus componentes.



Esta versión cuenta con las siguientes características:

- Sensor de filamento.
- Power Panic.
- Ventiladores Noctua que permiten controlar las RPM y enfriamiento más silencioso.
- Termistor para la temperatura ambiente y termistor en la sonda P.I.N.D.A 2.
- Placa base EINSY RAMBo.
- Controladores Trinamic2130 con detector de desplazamiento de capa.
- Extrusor Bondtech.
- Cama caliente magnética MK52.
- Lámina de impresión de acero recubierta de PEI.
- Preparada para instalar OctoPrint.



Figura 33: Sensor de Filamento y ventiladores de capa



Figura 34: Cama caliente magnética y extrusor Bondtech



Figura 35: Sonda P.I.N.D.A 2 y pantalla en modo Pánico

Además de contar con estos importantes avances tecnológicos, cabe destacar que una gran parte de la impresora está construida a partir de piezas impresas por la misma pudiendo imprimir repuestos con los que poder reparar una futura avería.

El sensor de filamento utiliza un codificador óptico para detectar la presencia y el movimiento del filamento, lo que permite anticipar el momento en el que se termina la bobina. La Original Prusa i3 MK3 hace una pausa en la impresión 3D y advierte al usuario de que inserte una nueva. Esta también es capaz de detectar cuando el filamento se queda atascado y recomendar una “tracción en frío” para limpiar el cabezal y continuar con la impresión. En otros modelos que carecen de esta característica, la impresora continúa ejecutando su trayectoria y accionando el extrusor tal y como señala el archivo introducido pero con el inconveniente de no expulsar material para continuar con la impresión desperdiciando, de esta manera, el progreso realizado hasta el fin de la bobina o bien hasta un hipotético corte de corriente o un atasco del filamento.

Otra de las características que lo diferencian del resto es el “Modo Pánico” o “Power Panic”, que permite recuperar y reanudar un trabajo de impresión

después de un fallo eléctrico. Así mismo, cuenta con una nueva placa base EINSY RAMBo, que es la placa de impresora 3D más avanzada actualmente disponible. Gracias a estas mejoras se puede controlar la alimentación eléctrica y detectar los fusibles quemados. La original Prusa i3 MK3 también está equipada con controladores Trinamic extremadamente rápidos y silenciosos instalados con el objetivo de detectar y corregir, en la medida de lo posible, cualquier desplazamiento de capa durante el proceso de impresión.

La Original Prusa i3 MK3 contiene un extrusor de engranajes de accionamiento Bondtech optimizado respecto a versiones anteriores. Este sujeta el filamento por ambos lados para, mediante el aumento de la fricción, incrementar la fuerza de empuje del filamento y convertir la extrusión en un proceso de mayor estabilidad y continuidad (especialmente para filamentos flexibles, donde este aspecto es clave para evitar los atascos de filamento).

Uno de las características más destacadas y cómodas de este modelo es la cama caliente magnética MK52 sobre la que se pueden colocar láminas extraíbles recubiertas de PEI. Este aspecto aporta un extra de comodidad en el momento de extraer la pieza de la base ya que tienen un carácter flexible que, a medida que se enfría permite despegar con facilidad las piezas impresas.
[Ref 17.]

4.3.2 Form 2

Una de las impresoras con las que se cuenta para construir el prototipo es Form 2 de FormLabs (Figura 3). En este caso, la tecnología en la que basa su funcionamiento es la estereolitografía, la primera técnica que se conoce y otro de los modelos más populares junto al modelado por deposición fundida. Son las principales técnicas aditivas de impresión

Las características de la impresión son en gran parte extrapolables y de la misma forma que se ha explicado con anterioridad; la impresión se realiza por capas y la calidad de dicha impresión está directamente ligada al espesor de las mismas. Cuanto más finas sean estas capas, más resolución y detalle se podrá conseguir en el diseño y mayor cantidad de tiempo necesitaremos para completar la impresión.



Figura 36: Impresora 3D Form 2

Se trata de una impresora de resina líquida de estereolitografía y está formada por un tanque donde se deposita la resina, cuenta con un sistema de auto llenado cuando detecta que el nivel de resina en el tanque es bajo; en dicho tanque se sumerge la placa de impresión que es la base o plataforma móvil que nos soporta la estructura, y esta placa se desplaza a lo largo del eje Z de la impresora a medida que se completa cada capa. Entre cada desplazamiento vertical, un haz de luz ultravioleta, proveniente de un láser, incide sobre la resina líquida fotosensible generando un endurecimiento y solidificación fruto de un entrecruzamiento covalente de las cadenas poliméricas precursoras haciendo que se pueda generar, de esta manera, el diseño “capa por capa” con gran rapidez y fiabilidad en la impresión evitando problemas que se encuentran

en las impresoras FDM como son los atascos del filamento en el extrusor, discontinuidades en las capas debido a pequeñas variaciones en el diámetro del filamento o defectos en forma de hilos por una incorrecta configuración de los parámetros de impresión entre otros muchos inconvenientes.

El funcionamiento de la impresora se resume en tres etapas que describiremos a continuación.

1.- El láser, situado en la base de la impresora, emite un haz de luz ultravioleta de longitud de onda 405 nm.

2.-Un sistema de reflexión del haz del láser, basado en tres espejos de pequeñas dimensiones y uno de mayor tamaño (Figura 4), hacen llegar el haz del láser a la base del tanque de resina. La impresora utiliza los galvos correspondientes al eje X y al eje Y, de manera que producen una orientación diferente en el espejo galvánico, que se adecúa para permitir que los haces de luz incidan en el punto preciso de la placa de impresión. Esto provoca que las reflexiones posteriores produzcan la solidificación de la resina en la placa de impresión en la coordenada deseada.

3.-El haz de luz incide sobre la resina líquida del tanque, produciendo las reacciones fotoquímicas de entrecruzamiento de las cadenas del prepolímero en las posiciones predeterminadas, lo que permite la solidificación de la resina en la placa de impresión. En el eje Z existe un motor que irá haciendo que la placa de impresión ascienda a medida que se completan las distintas capas de la pieza, generando estructuras fiables con la forma del diseño previamente realizado (Figura 5).

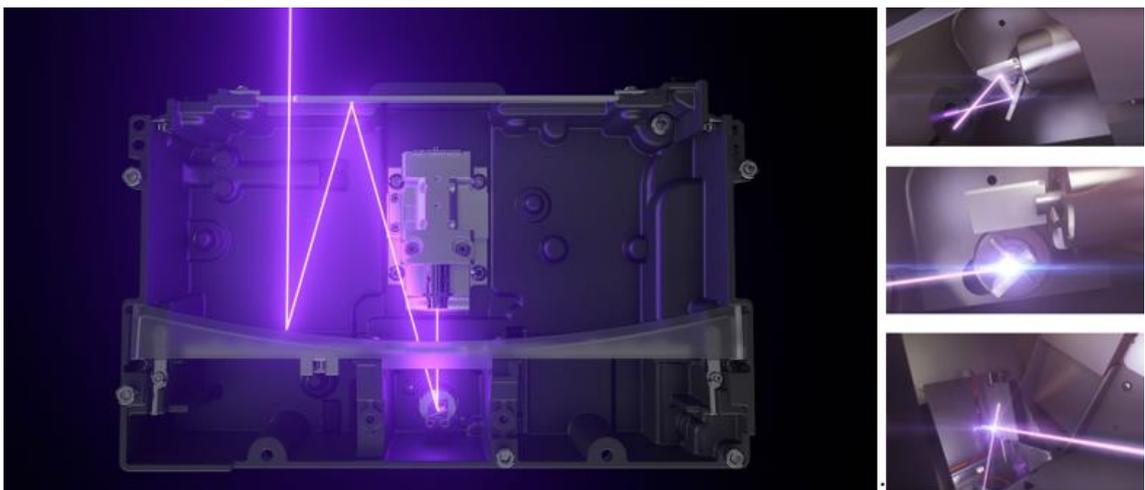


Figura 37: Sistema de reflexión del haz del láser mediante espejos



Figura 38: Solidificación de la resina en la placa de impresión y esquema de funcionamiento de la Form2

La impresora Form 2, mostrada en la *Figura 36*: Impresora 3D Form 2, tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Características físicas:

- Temperatura de funcionamiento: consta de un tanque de resina auto calefactada cuya temperatura óptima de impresión es de 31°C.
- Especificaciones del Láser:
 - Laser Ultravioleta 405nm

En cuanto a sus características de impresión:

- Tecnología de impresión: Estereolitografía (SLA)
- Proceso de limpiado: proceso deslizante con “limpiaparabrisas”
- Sistema de relleno de resina automático
- Espesor de capa: 25, 50, 100 micrómetros.
- Soportes del diseño generados automáticamente.

[Ref 18.]

4.4 DISEÑO DEL MODELO

A pesar de haber determinado como objetivo la maquetación del producto final mediante impresión 3D, anteriormente se ha expresado y explicado que el proceso de producción adecuado para que un producto de las características pueda aparecer en el mercado a un precio razonable es el moldeo por inyección de plásticos. Es por esta razón por la que se diseñará el modelo teniendo en cuenta las limitaciones que presenta el moldeo por inyección.

A continuación, se muestran importantes consideraciones que hemos de tener en cuenta para que el resultado de la pieza sea adecuado.

4.4.1 Consideraciones inherentes al moldeo por inyección

Como en cualquier proceso de fabricación, el moldeo por inyección posee su propio conjunto de normas de diseño, y los ingenieros que conozcan estas buenas prácticas tendrán mayores posibilidades de crear piezas y productos de estructura sólida y aspecto atractivo. Existen, por tanto, importantes premisas que pueden afectar negativamente al resultado final de la pieza o bien al coste del proceso. A continuación, se enumeran los errores más comunes y se centrará la atención en aquellos que están directamente relacionadas con el diseño de la pieza, describiendo a su vez la manera de evitarlos. [Ref 19.]

4.4.1.1 Negativos

Los negativos conforman una de las principales limitaciones de diseño para este tipo de piezas. El concepto es sencillo. Se presenta un ejemplo a continuación;

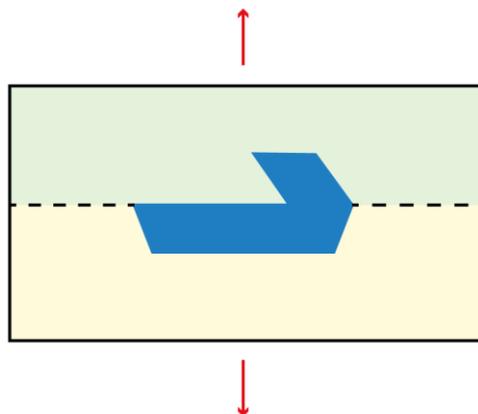


Figura 39: Ejemplo de negativo.

En la *Figura 39* se representa una hipotética sección transversal simplificada de un molde con dos partes, la superior -verde- y la inferior -amarilla-. En azul

se muestra la cavidad, donde reside el material que conformará la pieza que se desea moldear. También se representa mediante una línea discontinua, la partición, donde se unen los dos moldes y mediante flechas rojas, las direcciones de desmoldeo definidas para cada parte del molde.

Tal y como se muestra en la imagen, lo más probable es que al separarse los moldes para extraer la pieza, ésta se rompa.

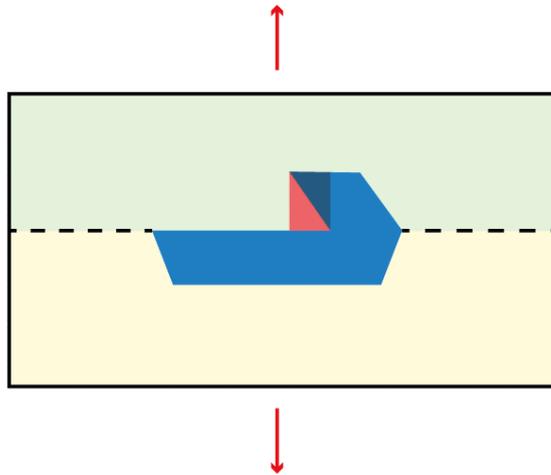


Figura 40: Ejemplo de negativo explicación.

El material del molde señalado en rojo en la [Figura 40](#) arrastraría en dirección vertical, la parte de la pieza sombreada.

Para solucionar este problema, se pueden adoptar varias vías.

- Modificar el diseño
- Modificar los parámetros del proceso, como direcciones de desmoldeo y línea de partaje.
- Añadir más elementos al molde, como puede ser una corredera. Solución que implica la adición de un elemento móvil extra al molde e incrementa considerablemente el coste y complejidad del proceso como consecuencia.

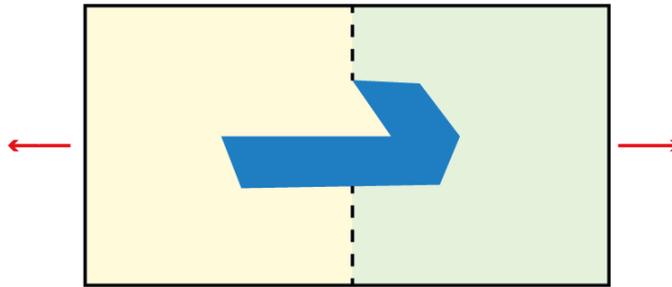


Figura 41: Solución mediante una leve modificación de diseño y el cambio de las direcciones de desmoldeo y la situación del plano de partición.

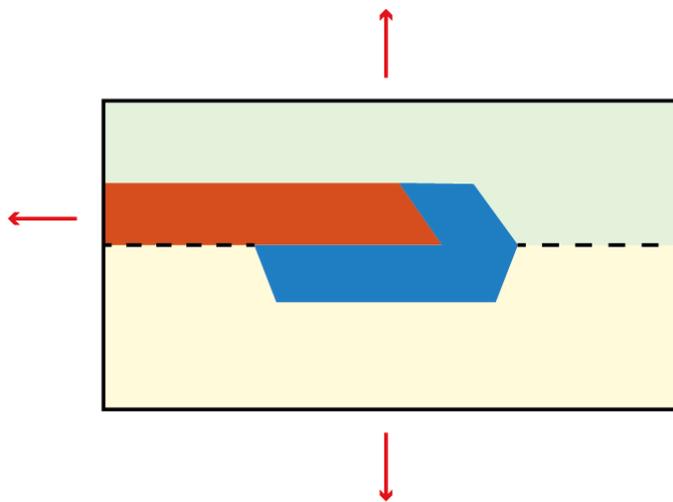


Figura 42: Solución mediante la adición de una corredera

4.4.1.2 Hundimiento o rechupes

El hundimiento, comúnmente conocido como rechupe, se manifiesta como una depresión de poca profundidad en la superficie de una pieza moldeada. Comúnmente se debe al diseño de secciones transversales más gruesas de lo normal, a un diseño no uniforme de la pieza o a una mala colocación del canal. Algunos plásticos, como el polipropileno, son muy propensos al hundimiento, mientras que otros materiales rellenos de fibra y de vidrio son menos propensos a sufrir hundimientos.

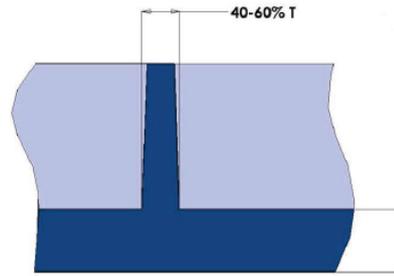


Figura 43: Espesor recomendado para nervios y refuerzos.

Existen recomendaciones sobre el grosor de la pared en función del material y en este sector se conoce una norma no escrita que recomienda no diseñar paredes transversales -como nervios- con un espesor fuera del intervalo 40-60% del grosor de las superficies adyacentes. También es una buena práctica disponer el flujo de material de manera que éste recorra en primera instancia las cavidades de mayor grosor terminando por las más estrechas por lo que es importante tener en cuenta la colocación del canal para que éste no se sitúe en una superficie de estilo donde podría dejar marcas inadmisibles a nivel estético. [Ref 6.]

4.4.1.3 Alabeo

Cuando un diseño contiene paredes con un espesor considerablemente inferior al espesor general de la pieza, o excesivamente pequeño en comparación con el recomendado para el material elegido, es frecuente que se genere en dichas superficies un curvado no deseado. Esta curva generada es lo que se denomina alabeo y es fácilmente corregible si se toman las mismas precauciones que se han señalado anteriormente en el caso del hundimiento. Antes se ha señalado que las piezas compuestas de materiales rellenos de vidrio presentan una gran resistencia frente al hundimiento. Curiosamente cuando se habla de alabeo estas mismas piezas son más propensas a sufrirlo. Existe una explicación lógica y es que las fibras de vidrio tienden a alinearse según el llenado creando fuertes tensiones internas. Finalmente, cabe señalar que piezas con estructuras internas como escuadras de refuerzo para paredes gruesas o nervaduras para superficies planas extensas, tienen un buen comportamiento frente al alabeo. [Ref 6.]

4.4.1.4 Rebabas

Si se observa atentamente una junta tórica de goma, normalmente, será posible apreciar una línea final de material en su periferia externa. Es una línea de apertura, situada en el plano de unión entre las dos mitades del molde, lo

que en el diseño se define como *línea de partaje*. En el caso de los materiales que fluyen libremente, pueden rebosar una pequeña rebaba por esta unión y suele ser necesario recortarla una vez que la pieza haya enfriado. En algunas ocasiones, son pocas posibilidades para la colocación de la línea de partaje, pero muchas piezas con formas ortogonales tienen aristas vivas y agudas que son idóneas para una unión limpia y definida en la que el molde puede separarse. Con rebaba o sin ella, debe esperarse una línea de apertura en la mayoría de los productos moldeados, se trata de un compromiso entre el diseñador y el moldista elegir la ubicación de la línea de partaje.

4.4.1.5 Recomendaciones de diseño

Las piezas pueden seguir diferentes recorridos antes de llegar al moldeo por inyección. En algunos casos, como en el desarrollo de este proyecto se crea primero el prototipo mediante impresión 3D, en que tienen escasa importancia las cuestiones de moldeabilidad. En otros casos, se sigue un proceso más tradicional de mecanizado, que permite realizar iteraciones con resinas de ingeniería similares a las utilizadas en el moldeo. Y, en muchos casos, se pasa directamente al moldeo por inyección.

Gracias a la experiencia, a pesar de que para el proceso de impresión 3D del prototipo, las cuestiones de moldeabilidad tengan un impacto insignificante, no tener en cuenta estas premisas, si de antemano se ha elegido este método de producción, es un gasto de recursos, tiempo y dinero; pues habría que corregirlo y podría llegar a suponer un mayor trabajo del que supone tenerlo en cuenta desde el principio.

En la [Figura 44](#) se puede observar cómo a través de un buen diseño se pueden corregir errores como el hundimiento y el alabeo.

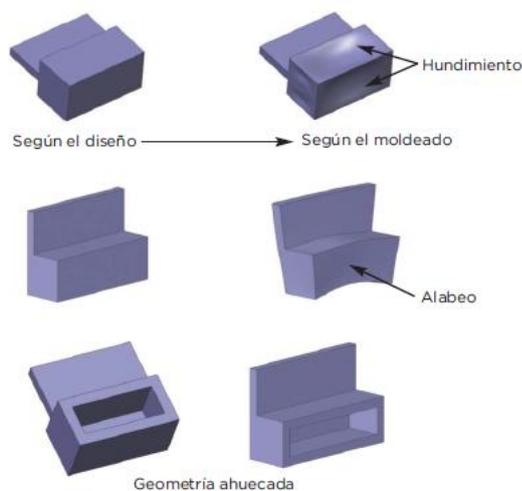


Figura 44: Ejemplos gráficos de defectos de hundimiento y alabeo debidos a un diseño deficiente.

Presentando estos dos defectos se alcanza una de las máximas en el diseño de piezas para moldeado por inyección y es que *uno de los requisitos de diseño más importantes para obtener piezas moldeadas es mantener un grosor constante de las paredes atendiendo a los espesores recomendados para cada material utilizado.*

Un buen diseño de una pieza moldeada por inyección reside en el grosor consistente de la pared, para reducir la posibilidad de que las piezas se alabeen o se deformen.

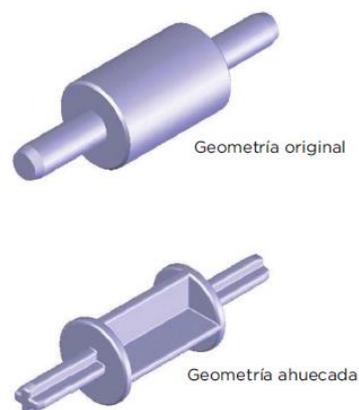


Figura 45: Ejemplo de una pieza ahuecada para eliminar paredes gruesas

Se consigue la misma funcionalidad en una pieza bien moldeada. Además de ahorrar material, un grosor innecesario puede echar a perder las dimensiones de la pieza, reducir la consistencia y generar la necesidad de un mecanizado posterior al proceso. A continuación, en la [Tabla 4](#): Intervalo de espesor recomendado en función del material seleccionado.

Resina	Grosor de resina recomendado para las paredes (en mm).
ABS	1.14 - 3.50
Acetal	0.64 - 3.05
Acrílico	0.64 - 3.81
Polímero de cristal líquido	0.76 - 3.05
Plásticos reforzados por fibra larga	1.90 - 2.54
Nailon	0.76 - 2.92
Policarbonato	0.11 - 3.81
Poliéster	0.64 - 3.17
Polietileno	0.76 - 5.08
Polisulfuro de fenileno	0.51 - 4.57
Polipropileno	0.64 - 3.81
Poliestireno	0.89 - 3.81

Tabla 4: Intervalo de espesor recomendado en función del material seleccionado

[Ref 6.] [Ref 7.]

Otro de los pilares del diseño es la liberación de tensiones innecesarias que debilitan las piezas. Las aristas vivas -Figura 47- y las transiciones bruscas entre secciones de distinto espesor -Figura 46- se postulan como una de las principales causas. Provocan tensión de moldeo del flujo del polímero y forman un incremento de tensión en la aplicación. Por lo que se recomienda, en medida de lo posible, radiar las geometrías. El radio mínimo dependerá de la herramienta de mecanizado con la que se defina la cavidad de moldeo y, como norma general, el radio exterior tendrá el valor del inferior más el espesor general de la pieza, con el objetivo de mantener el espesor constante.

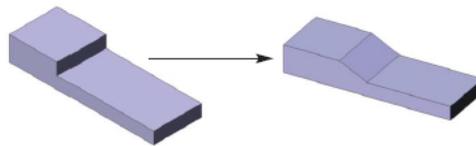


Figura 46: Impacto negativo de las transiciones de sección bruscas

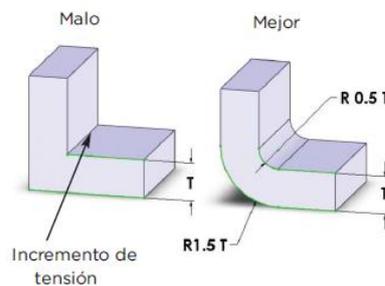


Figura 47: Impacto negativo de las aristas vivas.

Es frecuente en el diseño de piezas de este tipo, la necesidad de utilizar diferentes fijaciones entre piezas del conjunto. En el caso de utilizar tornillos, normalmente se diseñan previamente secciones cilíndricas que los alberguen. Se trata de una mala práctica el diseño de secciones gruesas. Es posible crear una fijación con la misma robustez, e incluso mayor, apoyando la cavidad del tornillo mediante nervaduras y superficies finas que contrarresten el par de apriete, tal y como se muestra en la Figura 48.



Figura 48: Diseño de las torretas de apriete

Tras haber interiorizado los conceptos básicos del moldeo por inyección, cualquier lector a estas alturas del texto es capaz de imaginar el proceso de inyección y extracción de una pieza sencilla. Para que este proceso se efectúe sin riesgos, se introduce en este punto un concepto básico de diseño; se trata de los ángulos de inclinación, comúnmente conocidos como ángulos de desmoldeo.

Para diseñar correctamente una pieza destinada a ser inyectada, es fundamental la aplicación de ángulos de inclinación y radios. El ángulo de inclinación ayuda a sacar la pieza del molde, reduciendo el rozamiento de la superficie de la pieza, ya que el material se contrae sobre el núcleo del molde. Un ángulo de inclinación insuficiente provoca una presión importante en el sistema de expulsión, pudiendo llegar a dañar las piezas e, incluso, el molde.

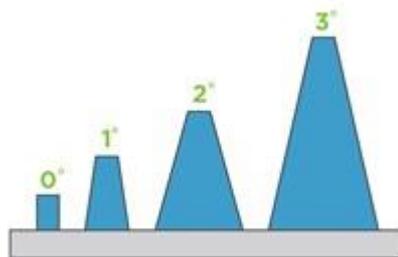


Figura 49: Diferentes ángulos de desmoldeo

Como norma general, se aconseja prever un ángulo de inclinación de 1 grado por cada 25 mm de profundidad de la cavidad, aunque puede ser insuficiente en algunos casos dependiendo del material seleccionado y del acabado superficial.

En el desarrollo de este proyecto se tratará de cumplir con las siguientes directrices generales:

- Se recomienda encarecidamente 0,5 grados en todas las caras verticales.
- De 1 a 2 grados se adaptan muy bien a la mayoría de las situaciones.
- 3 grados es el mínimo para un cierre (metal que se desliza sobre metal).
- Se precisan 3 grados para el granallado ligero.
- Se precisan 5 grados o más para el granallado grueso.

Profundidad de la geometría	Espesor / ángulo de desmoldeo mínimo			
6,35mm	<1mm / 0,5°			
13mm	<1mm / 1°	1,5mm / 0,5°		
19mm	<1mm / 2°	1,5mm / 1°	2mm / 0,5°	
25mm		1,5mm / 2°	2mm / 1°	2,5mm / 0,5°
38mm			2mm / 2°	2,5mm / 1°
51mm				2,5mm / 2°

Tabla 5: Recomendaciones de ángulo de desmoldeo en función de la profundidad de la forma diseñada.

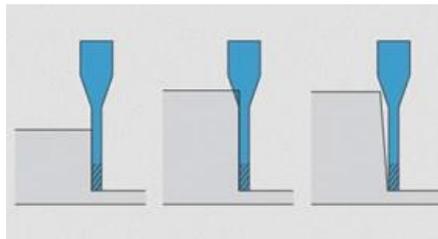


Figura 50: Posibles efectos de una pared sin ángulo de desmoldeo.

En la [Figura 50](#) se puede observar otro de los posibles efectos negativos de la ausencia de ángulos de desmoldeo en el diseño de las piezas. En la imagen se muestra, de derecha a izquierda, una pared sin ángulo de desmoldeo con el espacio adecuado para la herramienta (izquierda), una pared alta sin ángulo de desmoldeo y sin el espacio necesario para la herramienta (centro) y una pared con ángulo de desmoldeo que ofrece el espacio adecuado para la fresadora radial (derecha).

Es recomendable, por todas las particularidades señaladas, inclinar las paredes en el sentido de la dirección de desmoldeo -dirección en la que se extrae el molde- todo lo posible, ya que esta medida facilitará la expulsión de las piezas sin crear marcas de arrastre, o las marcas de empuje de los eyectores. Gracias a esta premisa se pueden obtener piezas de mejor calidad y de manera más rápida y eficiente.

Existen otros muchos defectos frecuentes asociados a este proceso de producción, pero cumpliendo con las premisas ya señaladas es posible obtener muy buenos resultados, eludiendo muchos de estos errores. [Ref 19.]

4.4.2 Diseño de piezas

En este apartado se presenta un estudio de cada pieza a diseñar, con su correspondiente propuesta de mejora, atendiendo a las premisas anteriormente descritas.

Se utilizará el soporte de fijación de la carcasa como ejemplo para explicar la metodología utilizada y las herramientas más importantes para su desarrollo y, posteriormente, se presentará la evolución del resto de piezas durante la etapa del diseño.

En la siguiente figura se puede observar el conjunto “explotado”, donde se muestra cada una de las piezas.

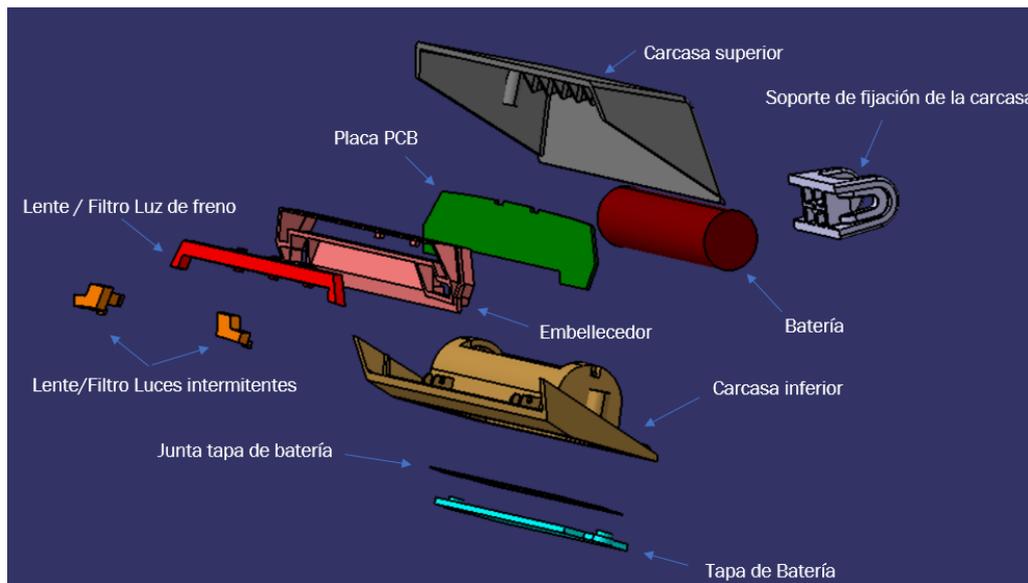


Figura 51: Despiece final del piloto.

4.4.2.1 Soporte y fijación de la carcasa

Como se ha detallado en la fase de concepción, esta pieza será el punto de unión entre la carcasa y el soporte de la tija.

Se tomará como punto de partida el primer modelo presentado en la etapa de concepción -Figura 2-, ya que posee unas características adecuadas. Para analizar con mayor detenimiento el primero de los modelos, se realiza un

despiece completo, como el que se muestra en las [Figura 52](#) y [Figura 53](#).



Figura 52: Despiece del modo de sujeción 1 perteneciente al primer modelo



Figura 53: Despiece del modo de sujeción 2 perteneciente al primer modelo

Como se puede observar, hay una parte común - [Figura 54](#)- a los dos modos, y es la que realiza la función de ajuste angular del piloto. Está compuesta por dos piezas y se requieren 5 tornillos y una tuerca para su montaje y funcionamiento.



Figura 54: Conjunto de ajuste angular

El resto de los componentes son particulares para cada modo de fijación, ya que el primero está destinado a colocar el piloto en la tija del sillín y el otro se trata de una fijación preparada para situarse en las barras estructurales del propio sillín.

En la [Figura 55](#) se puede observar a los elementos a los que nos referimos en el párrafo anterior.



Figura 55: Diferentes situaciones para las fijaciones del primer modelo.



Figura 56: Análisis de desmoldeo de una de las piezas del conjunto de sujeción del primer modelo.

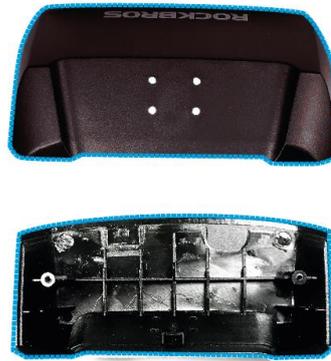


Figura 57: Análisis de desmoldeo de una de las piezas de la carcasa del primer modelo.

Tras analizar el modelo comercial anterior, se tratará de conseguir las mismas funciones, optimizando el sistema tanto ergonómica como económicamente mediante las consideraciones anteriormente expuestas.

Estudiando el problema con detenimiento, existiría una remota posibilidad de unir las dos piezas sin perder la funcionalidad. Habría que rediseñar ambas y sería necesario añadir una corredera que nos permitiría crear el orificio pasante para el sistema de fijación, ya que este es prácticamente perpendicular a la dirección de desmoldeo. Es una opción viable, pero habría que estudiar el impacto económico de la misma. Puede que la inclusión de la corredera encarezca el proceso hasta el punto de no merecer la pena. La otra solución planteada ha sido la de sustituir los cuatro tornillos por uno solo, añadiendo nervios centradores al diseño para evitar la rotación sobre el eje de giro del tornillo.

Antes de mostrar el diseño final, a continuación, se incluyen unas capturas sobre la metodología de trabajo utilizada, que se ha tratado de optimizar para este tipo de diseños y se ha utilizado para el diseño de todas las piezas del proyecto. Por lo que, a través de la evolución de esta pieza a lo largo de la fase de diseño, se explicará con detalle cada punto duro del proyecto y la manera de solucionarlo, así como las herramientas específicas utilizadas. Servirá, por tanto, de ejemplo para el resto de las piezas, para las que únicamente se mostrará la evolución del diseño tras cada problema encontrado.



Figura 58: Ordenación de las operaciones en el árbol de CATIA V5

Aunque a priori pueda parecer algo insignificante, se comienza esta sección dando la importancia que merece al orden del árbol de CATIA, que para los que no conozcan el software, es un índice de operaciones y elementos interrelacionados, que va creciendo con cada operación realizada y cuya función es la de registrar cada acción y ofrecer la posibilidad de modificarla en todo momento. En la imagen se aprecia el árbol tras media hora de trabajo. Uno de los elementos que aparecen nombrados, es esa línea denominada “*Main Tooling Dlrrection*”. Se trata de la dirección de desmoldeo y, llegados a este punto, todo lector de este trabajo puede intuir su gran importancia y utilidad en el diseño.

Quizá la imagen elegida como ejemplo es una buena elección para mostrar un inicio de un proyecto, pero no muestra la magnitud de importancia de lo que se está exponiendo. A continuación, se muestra el mismo árbol, en el mismo punto del proyecto, pero expandido al máximo, es decir, donde se muestran todas las operaciones y todos los elementos.



Figura 59: Árbol de CATIA V5 expandido

En pantalla sólo se puede mostrar una pequeña parte del árbol correspondiente, en este caso, a las operaciones entre sólidos que en la [Figura 58](#) se escondían dentro de ese PartBody con un engranaje verde como icono.

El segundo apunte para realizar, según el orden que ha aparecido en el proceso de creación, es una cuestión relacionada con una de esas consideraciones de diseño que se han presentado en el apartado [4.4.1](#). Si se remiten al texto, se menciona la importancia de respetar un ángulo de desmoldeo que depende de diferentes factores como el material de la pieza o el acabado superficial. En este caso, puesto que la pieza mostrada en la [Figura 59](#) se prevé que se fabrique en ABS, se ha definido un ángulo general de desmoldeo, respecto a la dirección principal, de 3° .

Pero ¿cómo se trata esto a la hora de diseñar?

Existen diversas herramientas, aunque lo principal antes de saber cuáles son, es definir la dirección de desmoldeo de la pieza. Dirección sobre la cual se construirá la geometría. Con la dirección definida, podemos comprobar en todo momento la existencia de negativos, aplicar operaciones de [Draft](#) en el caso de estar trabajando con sólidos, o generar superficies con dirección de desmoldeo a través de un [Sweep](#). A continuación, se muestra una secuencia de imágenes donde se resuelve el problema del ángulo de desmoldeo en dos situaciones diferentes.

La primera de las situaciones surge tras la creación de la geometría principal.

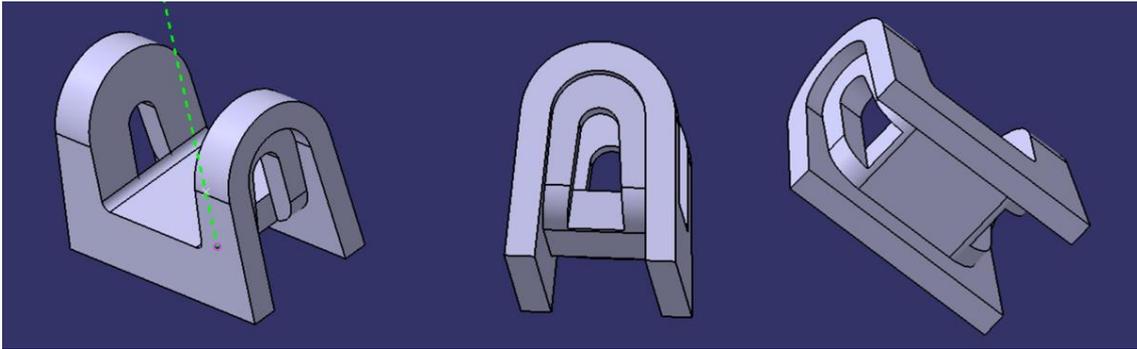


Figura 60: Geometría general de la pieza 1 de fijación.

Una vez definida, existe la necesidad de añadir un sistema de unión al resto de piezas de conjunto que conforman el producto final. La funcionalidad de la pieza es principalmente la de servir como punto de unión entre el piloto y la bicicleta, por lo que deberá ir unida a ambas partes. Como se ha explicado anteriormente, en el modelo de mercado estudiado, el cual inspira esta fijación, esta pieza se une a la carcasa del piloto mediante cuatro pequeños tirafondos. Como medida de mejora, se ha propuesto sustituir tres de ellos por unos nervios capaces de impedir la rotación y un solo tornillo.

A continuación, se muestra el proceso de creación de los nervios, que servirá de ejemplo para ilustrar uno de los principales problemas en el diseño de piezas de moldeo por inyección.

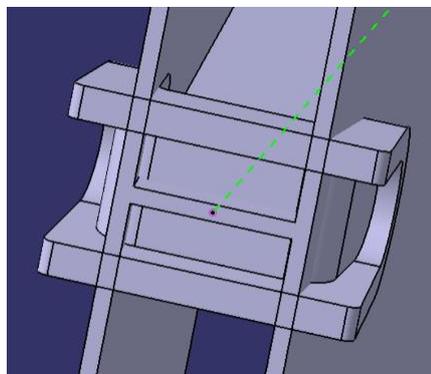


Figura 61: Creación de nervios centradores

En la [Figura 61](#) se muestra la primera propuesta de los nervios centradores que, posteriormente, mediante una operación booleana, se unirían a la geometría principal.

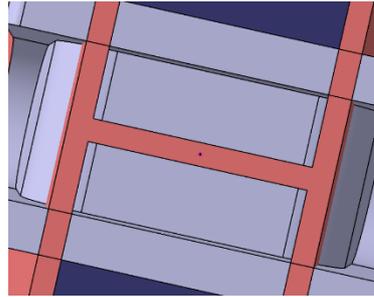


Figura 62: Vista de los nervios desde la dirección de desmoldeo

En la [Figura 62](#) los nervios aparecen en un color coral, para lograr un mayor contraste. Además, se ha situado la vista precisamente en la dirección de desmoldeo con el objetivo de apreciar los problemas existentes de un vistazo que se explican y muestran con mayor detalle en la [Figura 63](#)

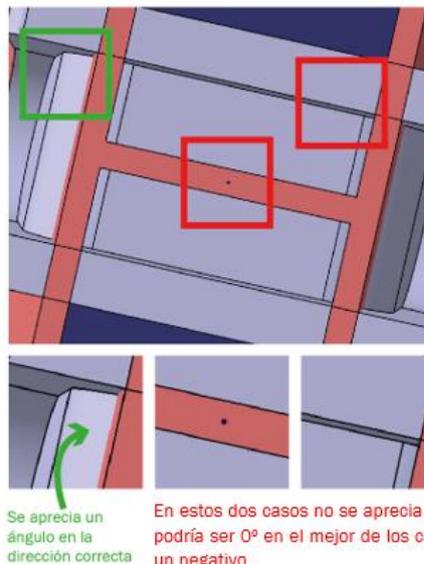


Figura 63: Análisis visual de los ángulos de desmoldeo

En este caso, se muestra una geometría sólida que no cumple con una regla de diseño tan importante como la del ángulo de desmoldeo, pero forma parte del proceso. A continuación, se muestran las operaciones utilizadas para solucionar este problema.

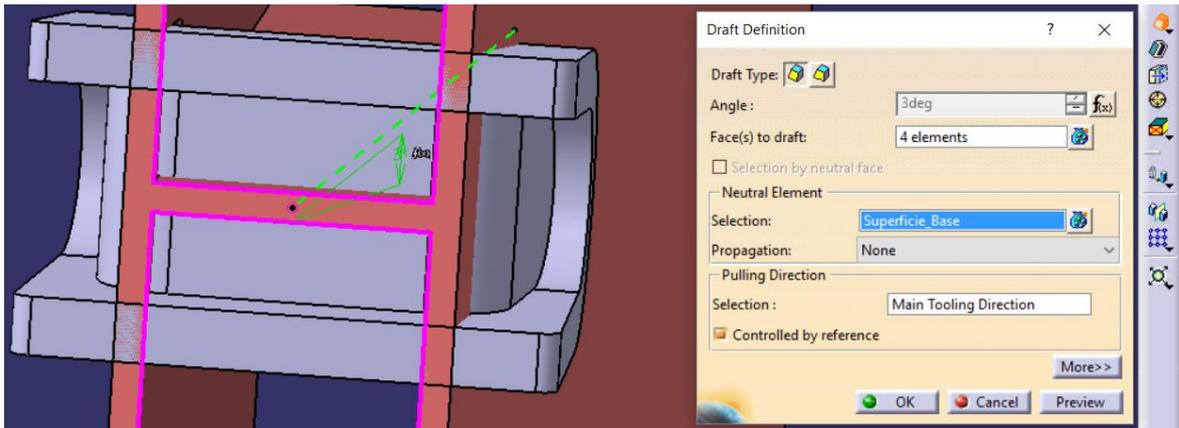


Figura 64: Uso de la operación Draft para ajustar los ángulos de desmoldeo.

En la *Figura 64* se puede observar cómo en la barra de herramientas derecha se ha seleccionado la operación *Draft*-resaltada en naranja- y el cuadro de diálogo correspondiente. En cuanto a los parámetros seleccionados, antes de explicar el caso concreto, conviene conocer, a grandes rasgos, el funcionamiento de la herramienta. En los anexos se adjunta una pequeña guía práctica de las principales herramientas relacionadas específicamente con este trabajo.

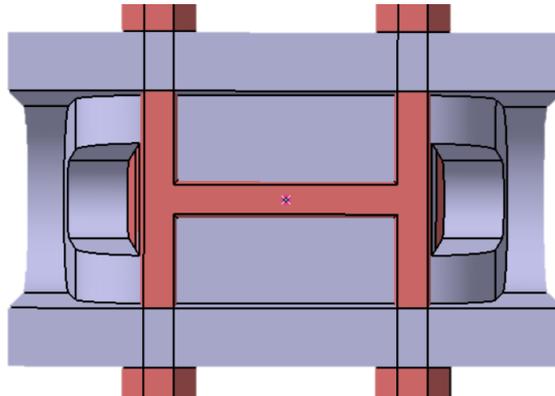


Figura 65: Efectos de la aplicación del Draft

En la imagen anterior, se observan los efectos de la aplicación. Situados en la dirección de desmoldeo, ahora podemos observar cómo no existe ningún negativo en la geometría de los nervios.

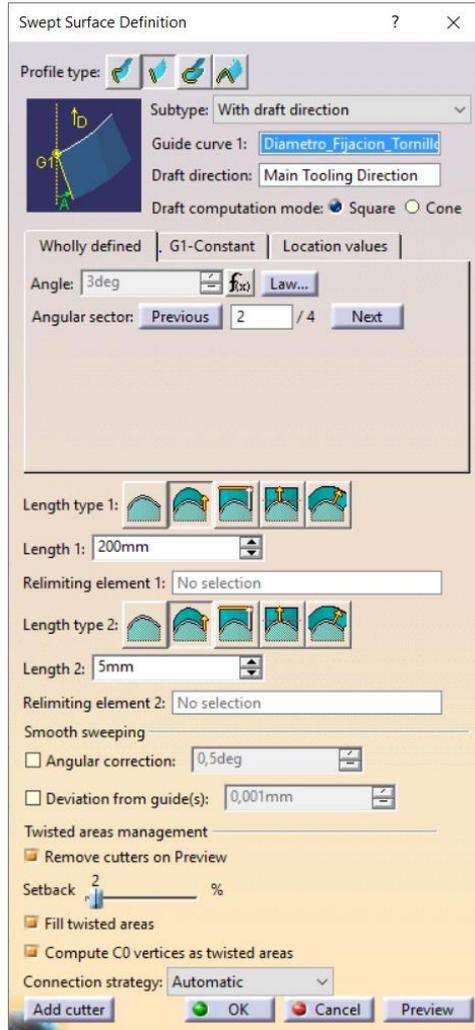
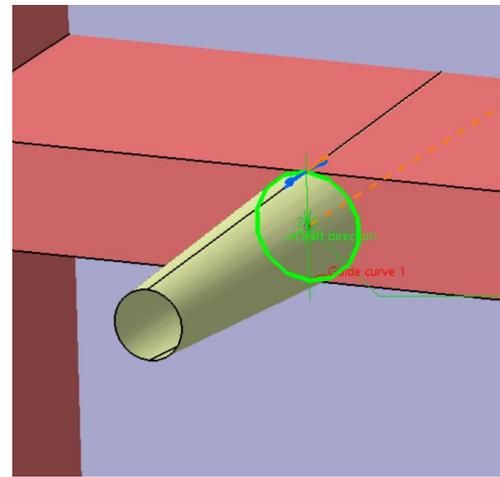


Figura 66: Generación de una superficie con ángulo de desmoldeo

En esta imagen, se hace uso de uno de los diversos módulos de superficies de los que dispone el Software para resolver también, mediante otro método, el problema anteriormente planteado. En este caso el sólido se genera a partir de una superficie que ya presenta un ángulo adecuado.



De esta forma, en múltiples ocasiones, se puede ahorrar la operación de *Draft* que, en ocasiones, es difícil de actualizar. El resultado es el mismo, una geometría óptima para el proceso.

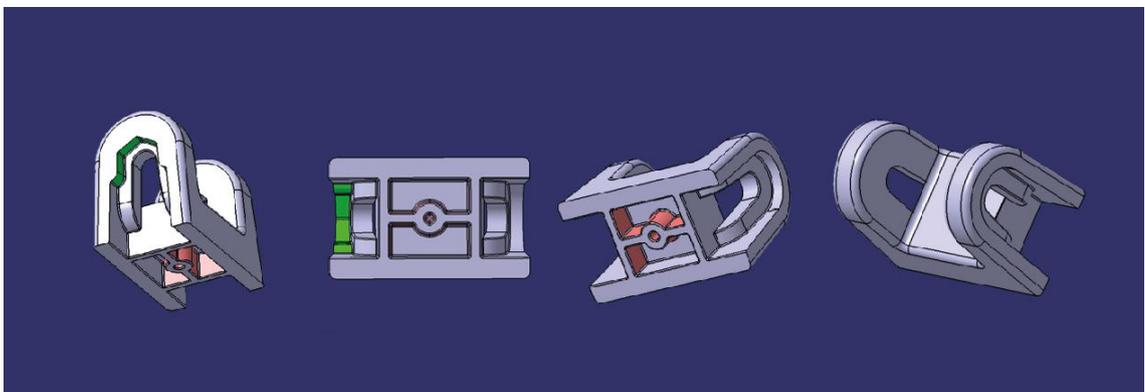


Figura 67: Resultado final de la primera propuesta del soporte para la carcasa.

Una vez finalizada la pieza, e idealmente también durante el proceso de diseño, se realizan una serie de comprobaciones que se listan a continuación.

- Ángulos de desmoldeo y presencia de negativos.
- Interferencias con el resto de las piezas del producto.
- Espesor constante y adecuado.

Al ser el moldeo por inyección un proceso tan utilizado, y el CATIA V5 uno de los programas ingenieriles de diseño por excelencia, resulta normal pensar que para hacer estas comprobaciones existen herramientas que lo agilizan dentro del propio software. A continuación, se presentan los métodos utilizados para completar la checklist mencionada.

1. Ángulos de desmoldeo y presencia de negativos

Se realiza a través de la operación Draft Analysis, presente en, al menos, los módulos Part Design y Generative Shape Design, con los que se ha trabajado principalmente durante la elaboración del presente trabajo.

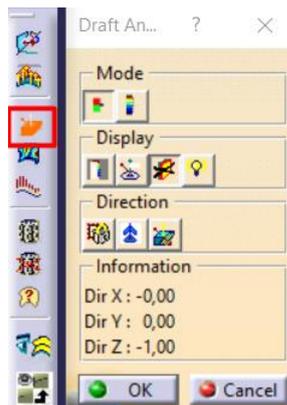


Figura 68: Parámetros de la herramienta Draft Analysis.

Esta herramienta permite analizar de un vistazo el aspecto general de la pieza en cuanto a ángulos relativos a la dirección de desmoldeo con un simple código de colores que responde a un rango de ángulos a ajustar por el usuario.

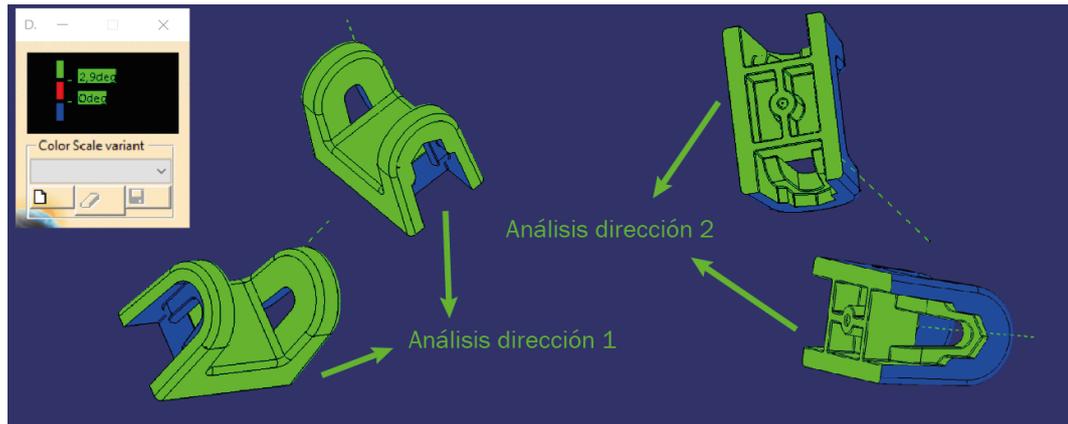


Figura 69: Análisis de la pieza a tratar en sus dos sentidos de desmoldeo.

La ausencia de color rojo nos indica que toda la superficie se encuentra por encima de los $2,9^\circ$ de desmoldeo definidos en el código de colores mostrado. Si la configuración del umbral superior fuera igual a 5° , el resultado sería el siguiente.

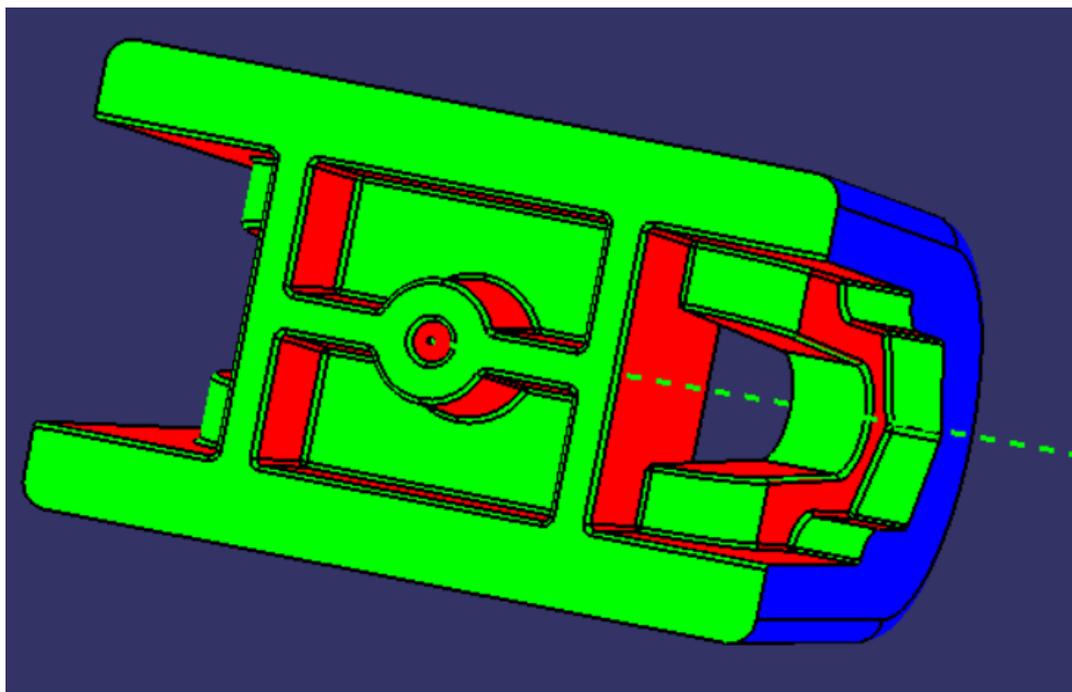


Figura 70: Análisis de desmoldeo. Modificación de parámetros

Mediante los dos análisis anteriores se puede deducir que las superficies rojas en el segundo de ellos tienen una inclinación de entre $2,9^\circ$ y 5° , pero, además, se puede determinar el ángulo exacto de estas superficies. A continuación, se muestra un ejemplo de cómo calcularlo.

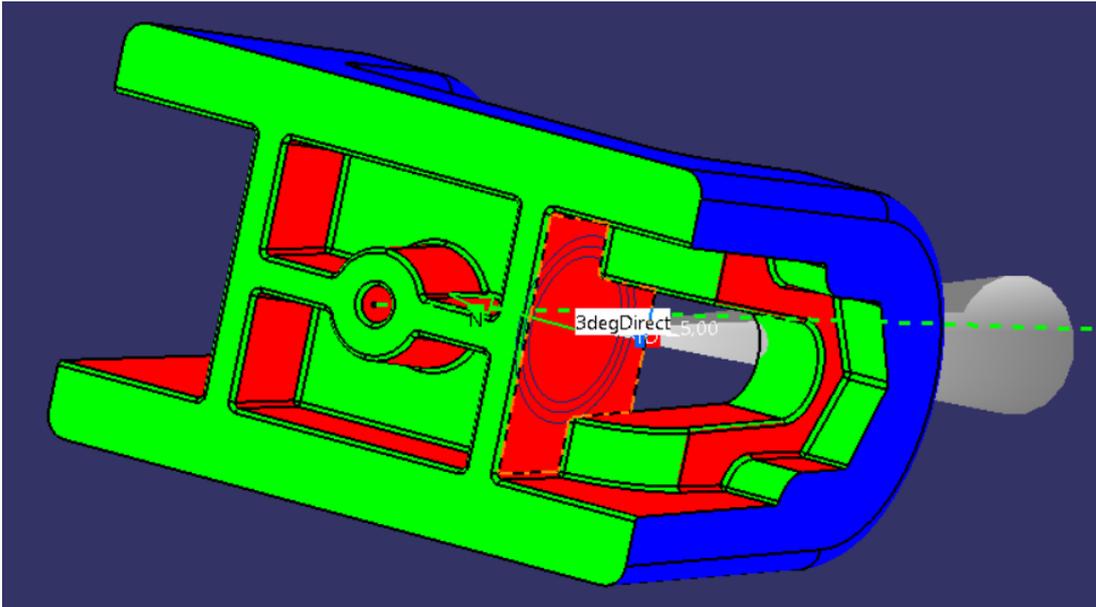


Figura 71: Visualización del ángulo de desmoldeo.

2. Interferencias con el resto de las piezas del producto

La comprobación de interferencias o colisiones entre las piezas que conforman el conjunto es de gran ayuda para evitar posibles problemas de montaje cuando el modelo ya esté fabricado, ya que al imprimir o moldear las piezas por separado, es complicado prever este tipo de fallos si no es gracias al análisis 3D mediante el módulo de Assembly Design de CATIA.

Durante el proceso de diseño de este proyecto, debido a una ausencia de análisis previo a la impresión 3D, para comprobar el acople entre la PCB y el embellecedor, se perdió una gran cantidad de tiempo intentando averiguar el origen del problema hasta que mediante el 3D se observó que una pequeña interferencia en el conjunto estaba impidiendo el correcto montaje de los componentes.

La operación analiza los contactos e interferencias entre todos los elementos visibles en el momento de la ejecución, así que si lo hacemos con el conjunto final al completo el resultado es el siguiente;

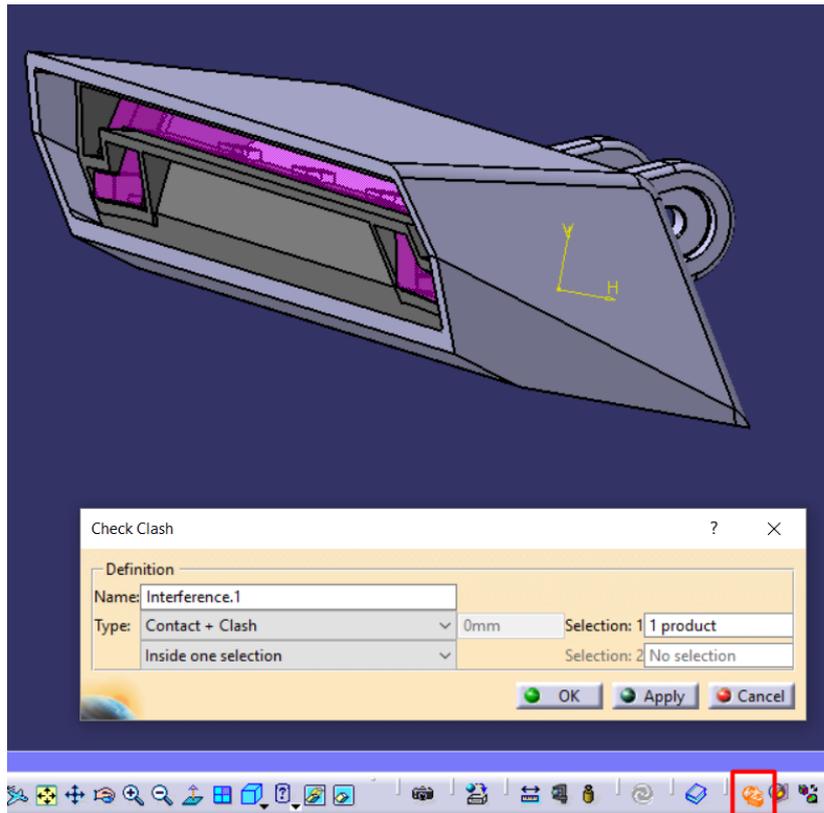


Figura 72: Análisis de interferencias

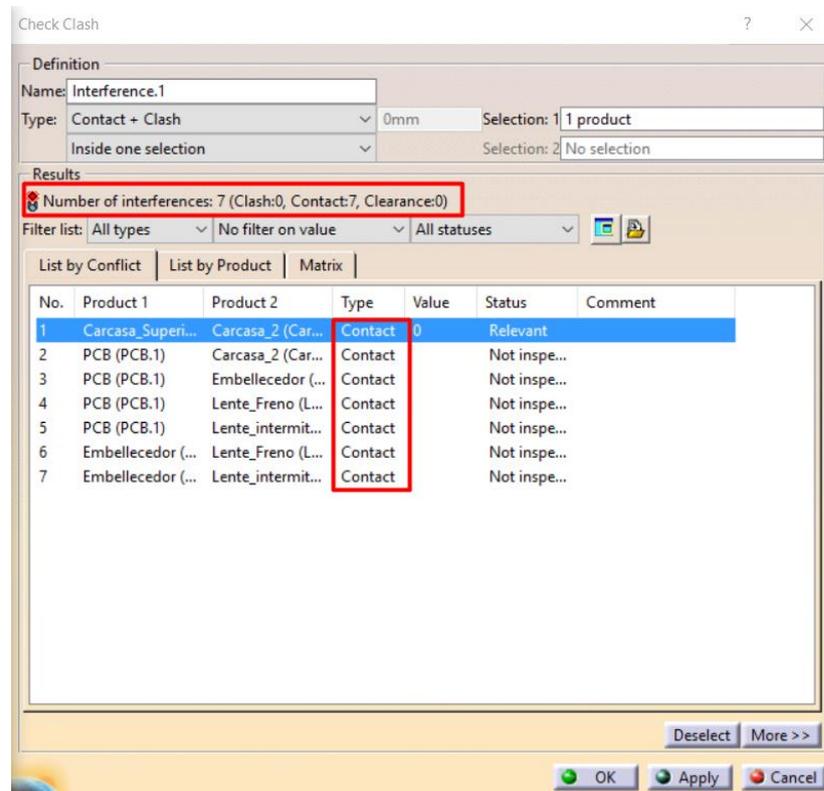


Figura 73: Ventana de ejecución de la comprobación de colisiones

En la Figura 73 se observan los resultados de ejecución. En este caso, se trata del conjunto final y afortunadamente no hay ninguna interferencia.

Sin embargo, si se realiza el análisis de la siguiente situación:

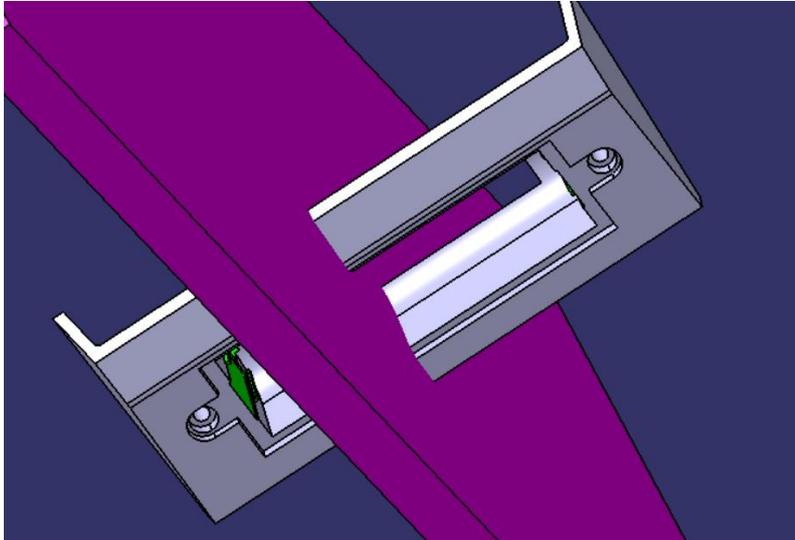


Figura 74: Ejemplo de colisión

El resultado es distinto, nos alerta de una colisión, con el valor de la interferencia como se puede apreciar en la Figura 75.

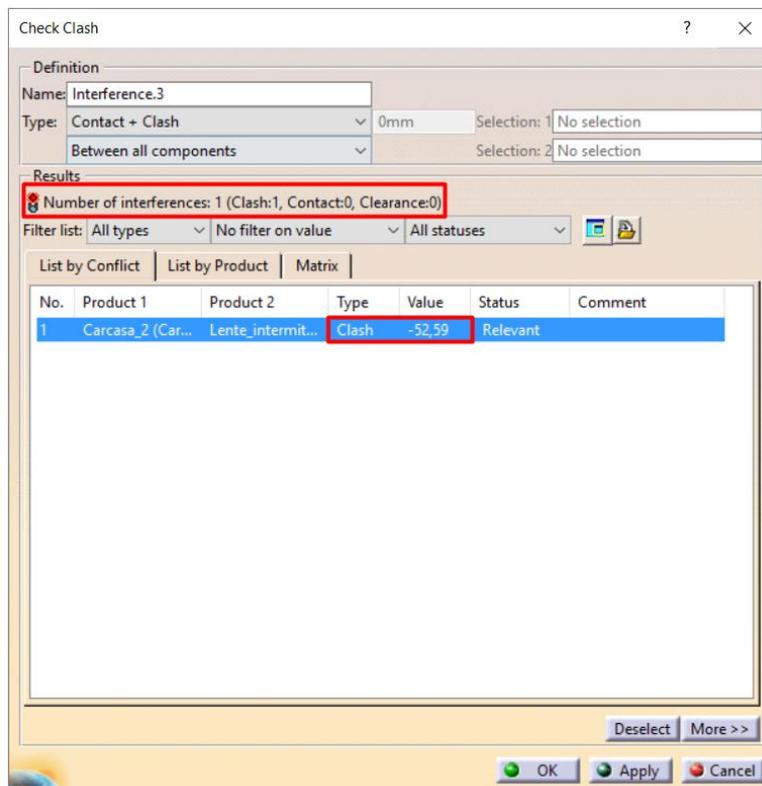
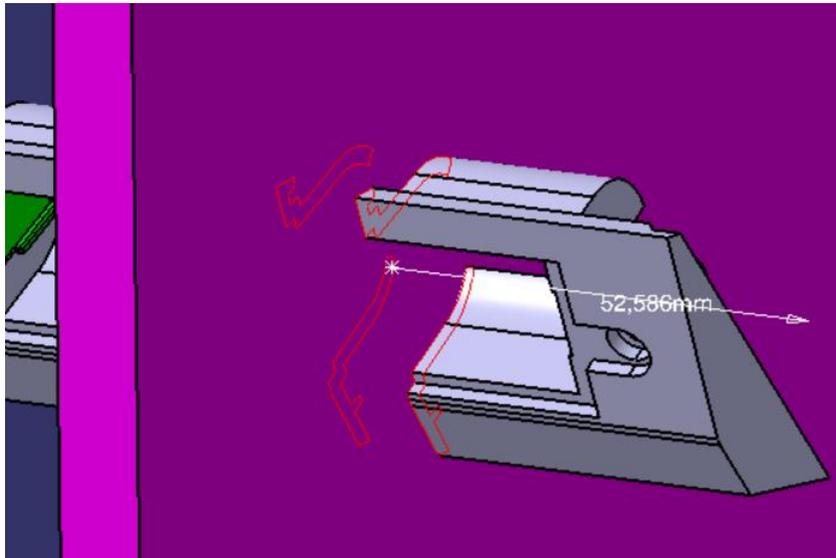


Figura 75: Alerta de colisión

Además, aparece otra ventana emergente donde se resalta el lugar de la colisión y la dirección del valor de la colisión.



3. Espesor constante y adecuado.

Esta comprobación está dirigida a cada pieza por separado y existen Softwares como el 3D Analyzer que permiten hacer un estudio exhaustivo de este aspecto. EL objetivo principal del análisis es el de evitar defectos anteriormente definidos como los rechupes. Si no se dispone del software específico una forma de hacerlo es visualmente a través de CATIA, seccionando los elementos.

Tras realizar el análisis pertinente, se genera el primer modelo en 3D impreso en la Prusa i3 Mk3. El filamento utilizado para esta maqueta ha sido el PLA Ivory White, y el resultado fue el siguiente:

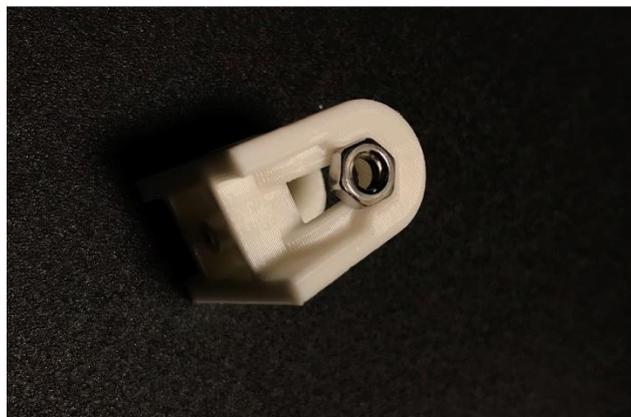


Figura 76: Resultado primera maqueta del soporte a la carcasa

Cabe señalar que, para evaluar correctamente los resultados de la pieza, puesto que está íntimamente relacionada con la carcasa, fue necesario la impresión de ambas piezas para esta validación; aunque de la carcasa, para agilizar la prueba, sólo se imprimió la parte que va en contacto con esta pieza.



Figura 77:Resultado primera maqueta del soporte a la carcasa fijación carcasa

Gracias a esta prueba se alcanzan unas conclusiones que permiten avanzar en el proyecto. Se resumen en la [Tabla 6](#): Evolución del soporte y fijación de la carcasa

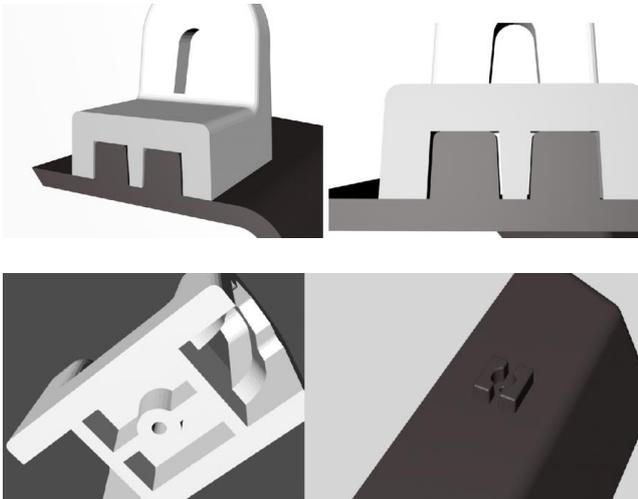
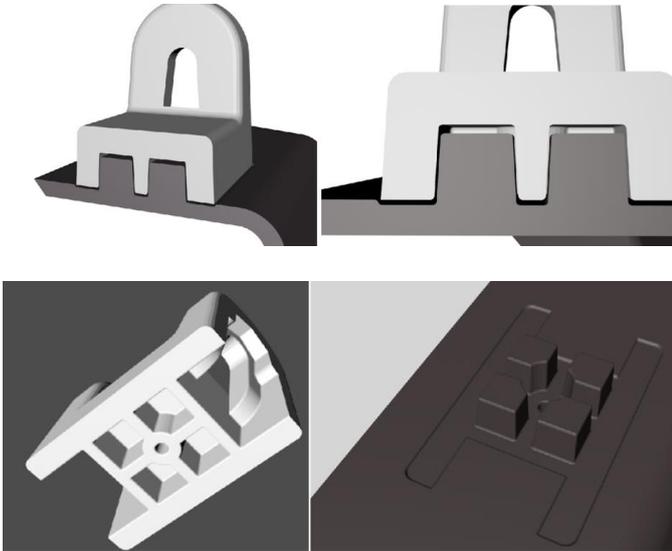
Reflexiones sobre los resultados de la primera maqueta
Ajuste ligeramente holgado. Permite un pequeño giro no deseado
Las dimensiones son correctas.
Sistema antigiro para la tuerca se ajusta perfectamente a las necesidades
El ajuste con la carcasa no llega a ser plano-plano por un problema de diseño

Soluciones aplicadas para la segunda maqueta
Evitar el contacto en dirección vertical para que el ajuste sea mayor
Crear un pequeño cajeado con el objetivo de reforzar el ajuste y evitar el giro
Añadir un nervio antigiro extra para evitar el movimiento rotacional.

Reflexiones sobre los resultados de la segunda maqueta
Pieza OK

Tabla 6: Evolución del soporte y fijación de la carcasa

El resultado tras tomar las medidas expuestas se muestra a continuación.



Figura 78: Resultado de la segunda maqueta del soporte a la carcasa fijación carcasa

4.4.2.2 Carcasa

La carcasa es la parte del piloto encargada de albergar al resto de componentes. Su diseño se dividirá en tres partes.

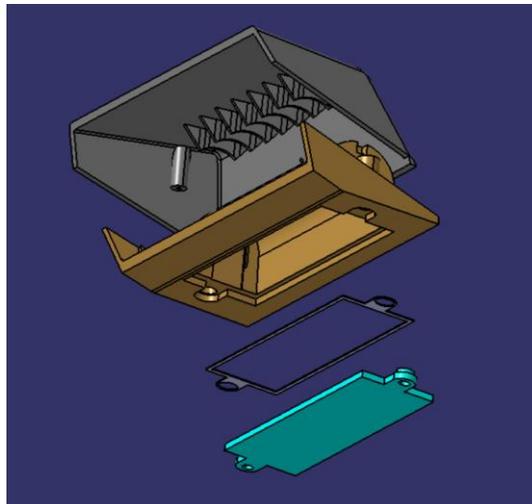


Figura 79: Piezas de la carcasa

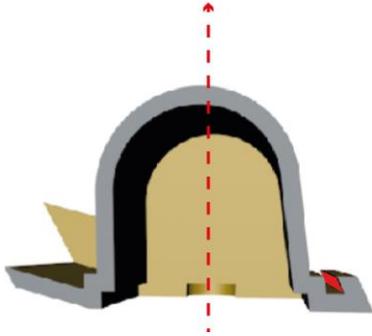
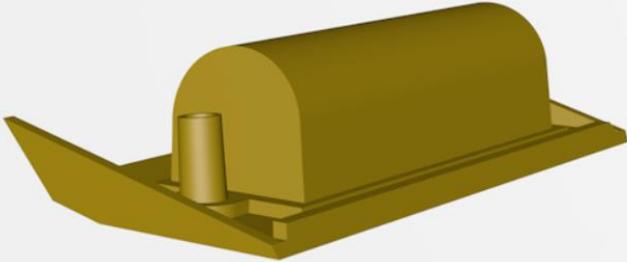
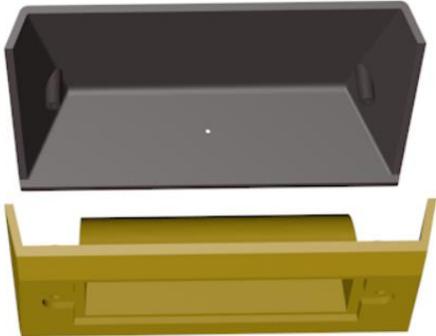
En la Figura 79 se observa un despiece con las piezas de la carcasa resaltadas en distintos tonos. En la parte superior de la imagen, en un tono gris oscuro se encuentra la parte superior de la carcasa. En color ocre, se identifica la parte inferior y debajo de la misma podemos ver una pieza azul. Se trata de la tapa de la batería, a la que añade una pieza intermedia que hace las funciones de

junta de estanqueidad Estas serán las piezas de las cuales se definirá la evolución en este apartado.

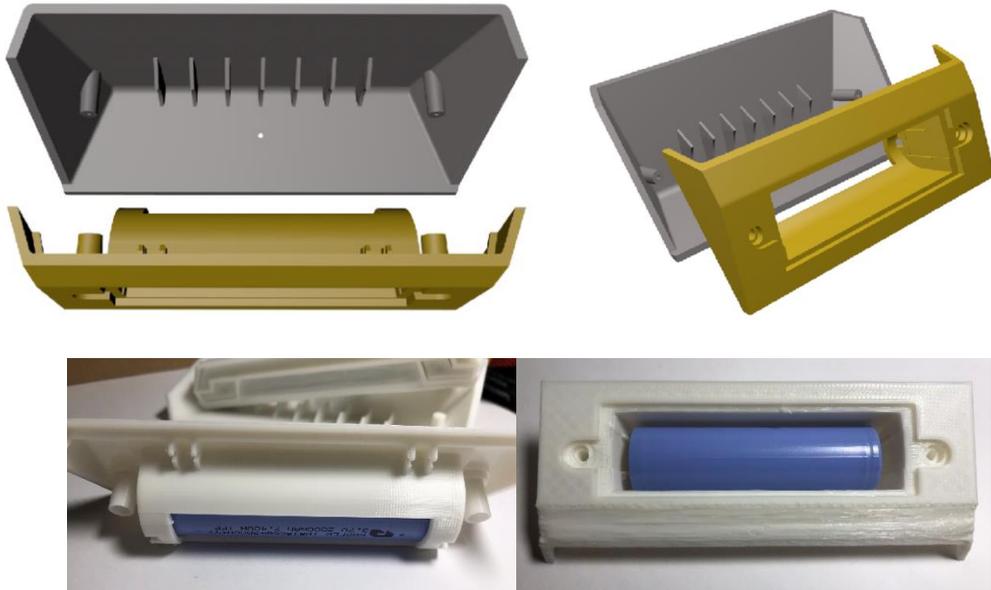
Para presentar el proceso de diseño de la fijación en el apartado anterior ha sido necesario incluir la contraparte situada en la carcasa superior, que casa con la geometría definida, pues ambas piezas están relacionadas. En la primera prueba de impresión, la carcasa superior únicamente incluía la función ya presentada de sujeción y unas torretas de fijación a la carcasa inferior, a través de las cuales se unirían la tapa de la batería y la carcasa inferior, cerrando así el conjunto.

La carcasa superior, al poseer una geometría relativamente sencilla no ha resultado problemática.

En cuanto a la carcasa inferior, sí se han presentado distintos problemas. Si comenzamos con la primera prueba de impresión de dicha pieza, En la Tabla 7 se resumen los resultados analizados.

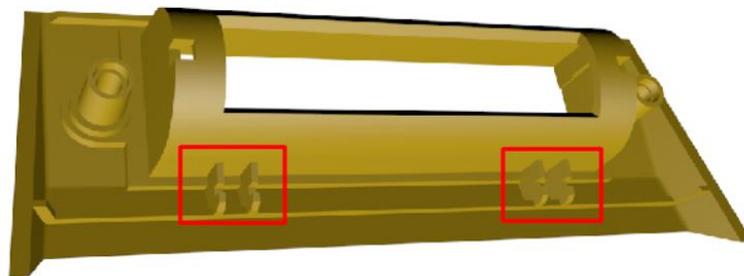
Reflexiones sobre los resultados de la primera maqueta	
Nervio trasero de la carcasa inferior con negativo	
	
Mal acabado debido al soporte y a la velocidad de impresión	
Alojamiento para batería material desaprovechado	
	
Necesidad de añadir centradores para la PCB	
Nervio fuga de luz para el embellecedor	
Orificios necesarios para el contacto con batería	
Diseñar un preajuste con la tapa de la batería	
Incluir una junta de estanqueidad como interfase entre la carcasa inferior y la tapa de la batería	
Tapa de batería OK	
Ajuste de fijación entre las dos partes principales OK	
	
Soluciones aplicadas para la segunda maqueta	

Eliminación de material del alojamiento de la batería y adición de nervios centradores a la carcasa superior para compensarlo. Ahorrando material tanto de pieza como de soporte en la impresión 3D.

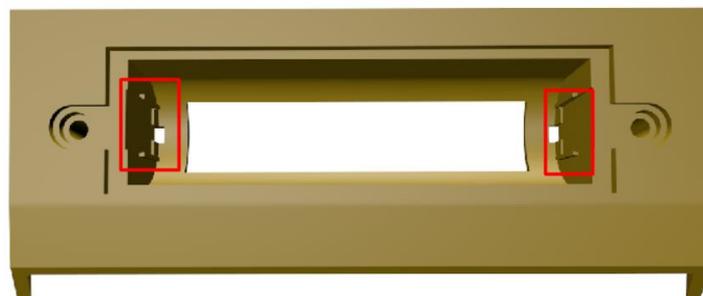


Adición de orificios centradores para colocar la tapa de la batería antes de atornillar

Creación de los centradores para posicionar la PCB



Orificios y guías para las piezas de contacto con la batería



Nervio de fuga de luz



Reflexiones sobre los resultados de la segunda maqueta

Piezas OK

Tabla 7: Evolución del diseño de la carcasa

4.4.2.3 Embellecedor

Es la pieza encargada de dar estilo al piloto, oculta la PCB, la protege y soporta los filtros.

Reflexiones sobre los resultados de la primera maqueta

La geometría no se ajusta correctamente a la PCB

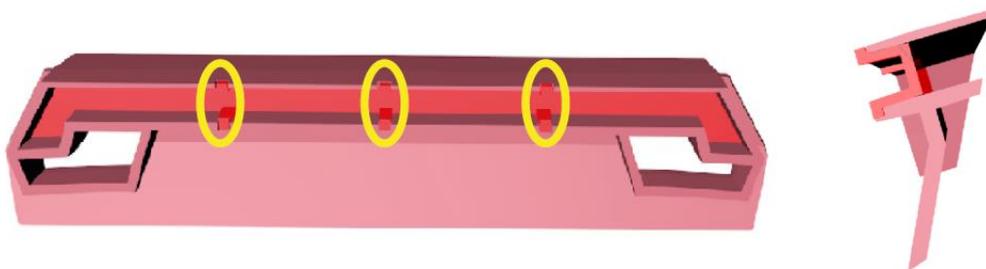
Añadir un marco para evitar fugas de luz y para proteger los componentes de la PCB.

Añadir sistema de clipaje para la luz de freno



Soluciones aplicadas para la segunda maqueta

Adición de sistema de clipaje para los filtros de la luz de freno



Adición del marco protector

Cambio de geometría para ajustar a la PCB

Reflexiones sobre los resultados de la segunda maqueta

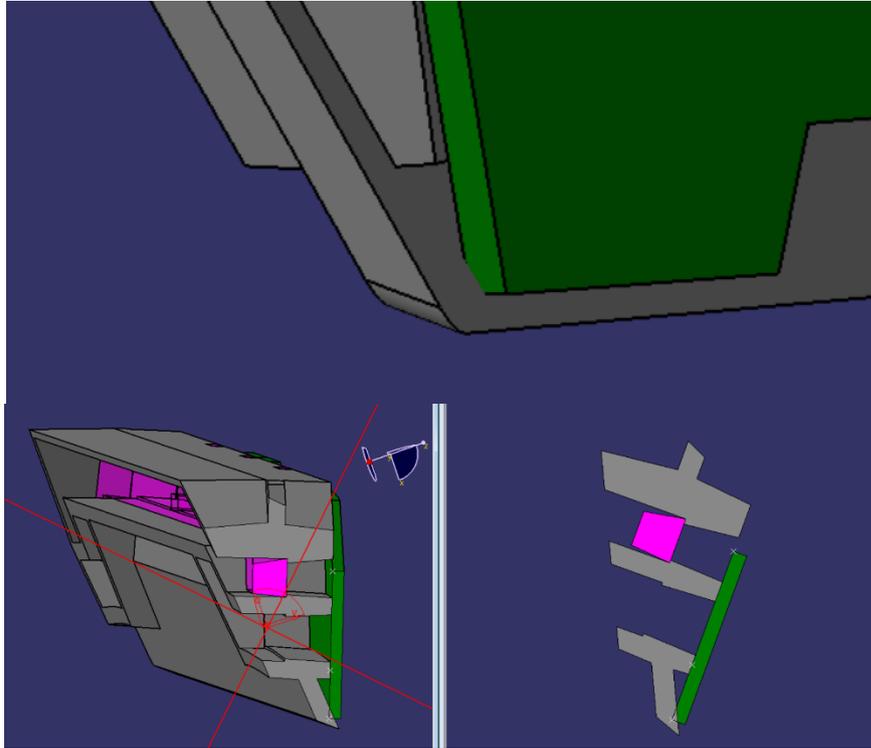


Necesidad de añadir un sistema de premontaje para posicionar la PCB

Sistema de clipaje con el filtro de la luz de freno demasiado endeble

Necesidad de un sistema de clipaje para los filtros de los intermitentes

La geometría no asienta correctamente con la PCB, se ha detectado una interferencia en el diseño.

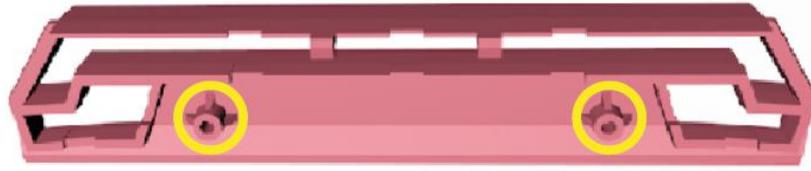


Mal acabado superficial

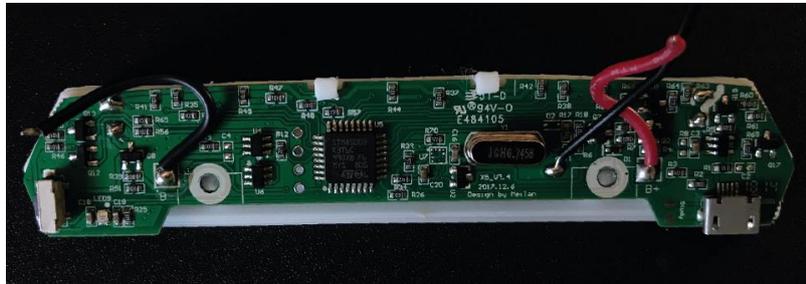
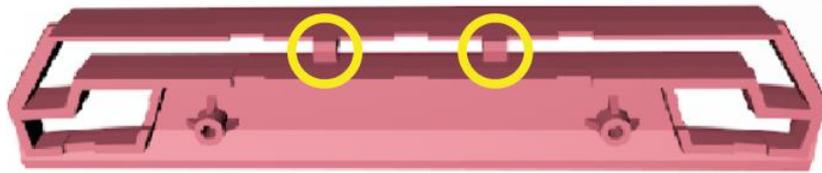
Necesidad de torretas de fijación para atornillar la PCB

Soluciones aplicadas para la tercera maqueta

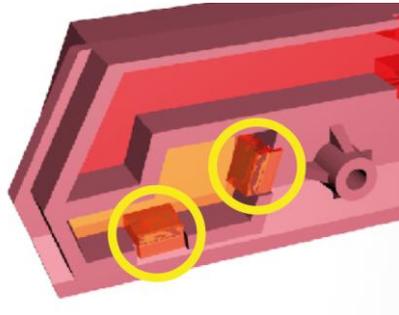
Adición de torretas para la fijación con la PCB



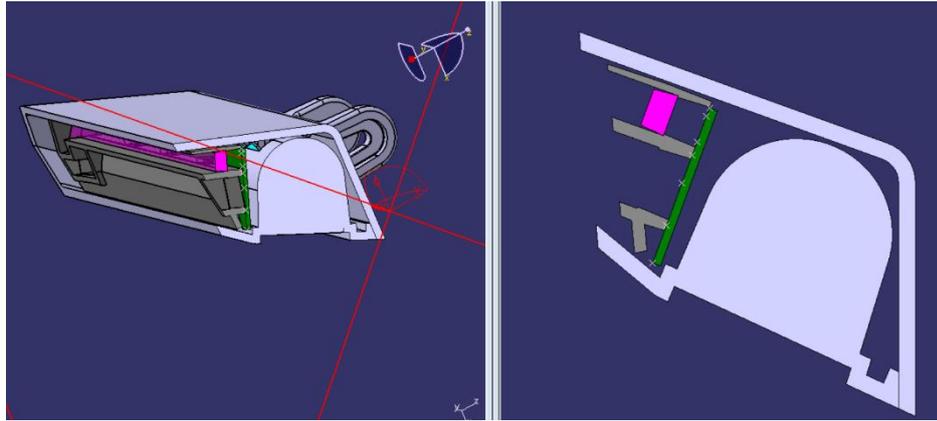
Adición del sistema de premontaje con la PCB



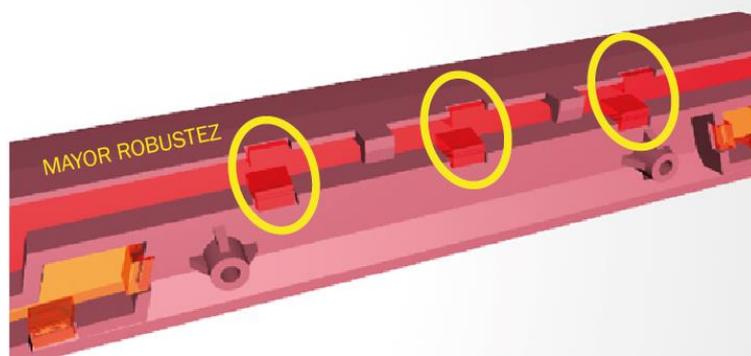
Adición de un sistema de clipaje para los filtros de las luces intermitentes



Eliminación de la interferencia con la PCB



Cambio del diseño del sistema de clipaje con los filtros



Reflexiones sobre los resultados de la tercera maqueta

Montaje de los filtros complicado, debido a la escasa tolerancia con la que se ha diseñado

Mejora en la robustez del clipaje de los filtros

Mal acabado superficial

Soluciones aplicadas para la cuarta maqueta

Mejora en el montaje de los filtros

Cambio en los parámetros de impresión para lograr un mejor acabado

Reflexiones sobre los resultados de la cuarta maqueta

Mal acabado superficial

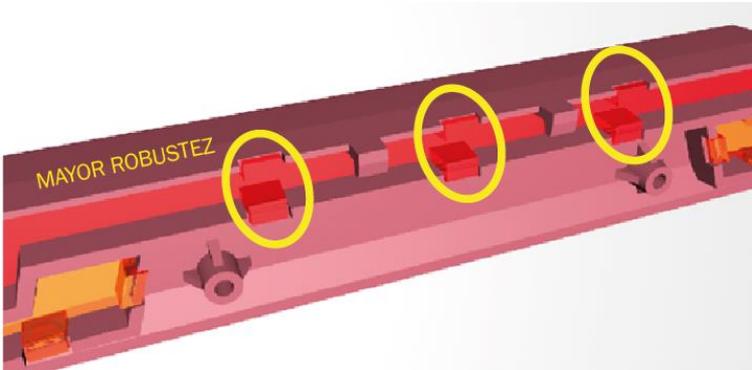
Clipaje de los filtros OK



Soluciones aplicadas para la quinta maqueta
Cambio en la estructura de apoyo con el fin de mejorar el acabado superficial
Reflexiones sobre los resultados de la quinta maqueta
Mejora considerable del acabado


4.4.2.4 Filtros y Lentes

Son las piezas a través de las cuáles pasa la luz. Cubren los LEDs y tienen un aspecto translúcido.

Reflexiones sobre los resultados de la primera maqueta
Sistema de clipaje demasiado endeble
Los filtros de las luces intermitentes son difíciles de montar
Soluciones aplicadas para la segunda maqueta
Cambio en la geometría de los clipajes y el espesor de los filtros

Cambio en la geometría exterior de los filtros de las luces intermitentes
Reflexiones sobre los resultados de la segunda maqueta
Piezas OK

4.4.2.5 Conjunto

EL conjunto ensamblado de todas las piezas descritas anteriormente tiene el siguiente aspecto.

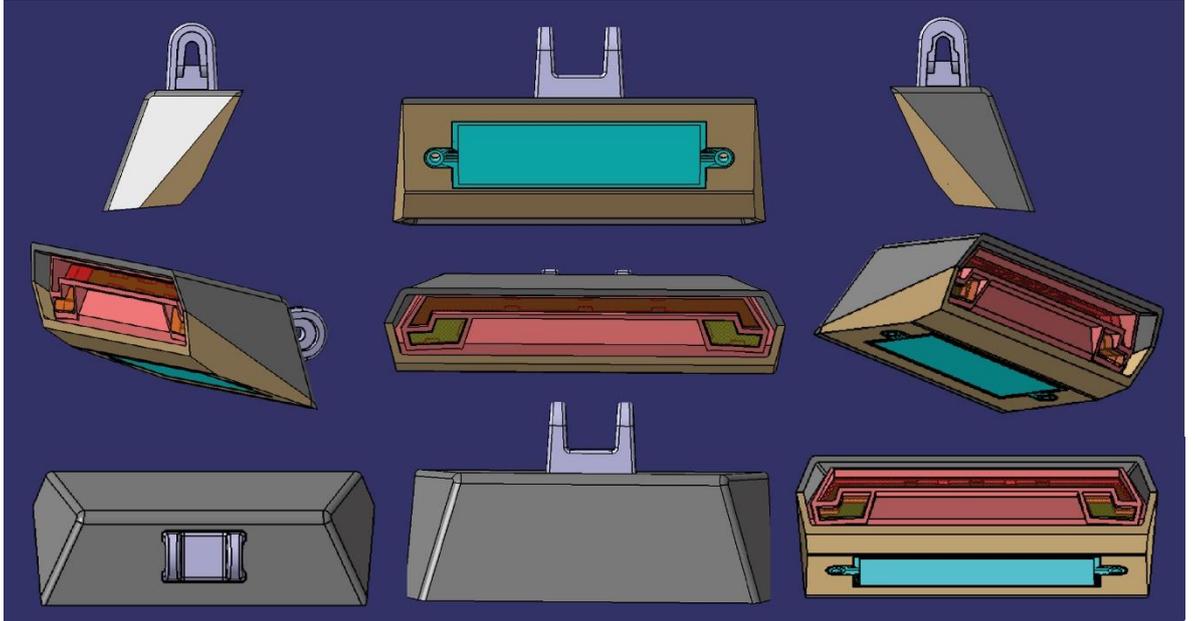


Figura 80: Diferentes vistas del piloto ensamblado



4.5 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA IMPRESIÓN 3D

Puesto que, en este caso, el cometido de la impresión 3D es la creación de un prototipo, donde verificaremos aspectos de diseño como. fijaciones, ensamblaje, clipajes o dimensiones, no resultarán determinantes las propiedades físicas, termo-mecánicas, electroquímicas u otras propiedades que resultaron clave en el momento de elegir el polímero idóneo para cada pieza del conjunto. Para el proceso de prototipado se tratará de buscar un material que nos permita cumplir con su cometido

En la actualidad existen infinidad de materiales disponibles para la impresión 3D mediante el método FDM. A continuación, se presenta una lista de los más utilizados actualmente señalando las ventajas, inconvenientes y aplicaciones de cada uno.

PLA (Poliácido Láctico)	<ul style="list-style-type: none"> ● Facilidad de impresión ● No necesita cama caliente ● Muy estable ● Velocidad de impresión relativamente rápida. ● Biodegradable bajo condiciones adecuadas. ● Se obtiene de recursos renovables ● Los gases procedentes del proceso no son nocivos. ● Material reciclable
	<ul style="list-style-type: none"> ● Poca resistencia térmica (se vuelve endeble a partir de los 60 °C). ● Material más frágil que otros materiales (poca resistencia mecánica). ● Sensible a la humedad (conservarlo al vacío o lejos de zonas húmedas).
	Especialmente para elementos decorativos, figuras, maquetas, prototipos etc.

ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)	<ul style="list-style-type: none"> ● Muy estable a altas temperaturas (Apróx. 80 °C – 90 °C). ● Conserva la tenacidad a temperaturas extremas (-40 °C hasta 90 °C). La mayoría de los plásticos no tienen esta capacidad. ● Alta capacidad de mecanizado: se puede lijar, perfora, etc. ● Resistente a ataques químicos. ● Muy resistente a los impactos.
	<ul style="list-style-type: none"> ● Es necesaria cierta experiencia en impresión 3D ● Dificultad de impresión media. ● Necesidad de ventilación por el carácter nocivo de los vapores generados. ● Contracción entre capas más rápida que el PLA, pudiendo resquebrajarse la pieza si las condiciones del entorno son demasiadas frías.



	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden producirse el efecto Warping fácilmente
	Elementos mecánicos, piezas de automoción, piezas industriales en general, entre otros. Como no, también se puede utilizar para elementos decorativos y muchas más aplicaciones.

<p>PET (Tereftalato de Polietileno)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta alta transparencia, incluso siendo el filamento de color. • Alta resistencia al desgaste y corrosión. • Buena resistencia química y térmica. • Resistente a impactos. • Es impermeable. • Resiste a esfuerzos permanentes (flexibilidad). • Baja absorción de humedad. • En el uso doméstico, permite "cocción en microondas". • Alta capacidad de mecanizado. • Resistente a ácidos, bases y grasas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Levemente tóxico. • No es biodegradable. • Se vuelve endeble a partir de 70 °C aproximadamente.
	Cualquier tipo de objeto y envases de uso alimenticio que esté en contacto humano, como vasos, cucharas o cepillos, elementos decorativos que aporten transparencia, entre los más importantes.

Tabla 8: Características y aplicaciones del PET. Tereftalato de polietileno.

El PETG es una variante del PET que se ha combinado con glicol para conseguir una serie de efectos deseables para la impresión 3D, como la alta transparencia. Además, los materiales de impresión PETG 3D pueden imprimirse a temperaturas más bajas que el PET, a la vez que se puede aumentar su velocidad de flujo (hasta 100mm/s), lo que a su vez se traduce en impresiones más rápidas. Los componentes impresos en PETG son resistentes a la intemperie. Es por eso su habitual uso en equipos de jardinería.

<p>HIPS (Poliestireno de alto impacto)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ofrece una resistencia elevada, incluso a bajas temperaturas. • Material reciclable. • No necesita cama caliente • Excelente estabilidad térmica. • Resistente a ácidos y bases. • Alta capacidad de mecanizado. • Inexistencia de Warping y de grietas entre capas. • No desprende gases nocivos. • Resistente al agua. • Buen aislante térmico.
	<ul style="list-style-type: none"> • No se puede utilizar para fabricar piezas destinadas a estar a la intemperie. • Temperatura a la cual empieza a deformarse: 80 °C.

	<p>Este material se usa con bastante frecuencia como envases alimenticios.</p> <p>Fabricación de cubiertos y vajillas.</p> <p>Fabricación de juguetes, calzado, separadores de frutas, entre otros y muchos más.</p>
--	--

Tabla 9: Características y aplicaciones del HIPS. Poliestero de alto impacto.

El HIPS se presenta en la [Tabla 9](#) como un material muy resistente a impactos. Pero lo cierto es que presenta otro uso, hoy en día muy extendido y es que se utiliza a menudo como material de apoyo y soporte en la impresión FDM y SLA. Para ello se debe utilizar una impresora con doble extrusor, uno para el material del modelo y otro para el HIPS. Se disuelve en Limoneno, un químico irritante para la piel. Debido a que ambos comparten propiedades similares, el HIPS funciona mejor cuando se usa en conjunto con ABS.

Flexible (Elastómero termoplástico o TPE)	<ul style="list-style-type: none"> • Amortiguan muy bien los impactos • Gran resistencia a rotura del material por fatiga. • Capacidad de estiramiento moderados y recuperación de su forma una vez que se deje de estirar. • Material reciclable. • Material muy suave.
	<ul style="list-style-type: none"> • Poca resistencia a agentes químicos y al calor. • Pérdida de elasticidad si se funden a una temperatura por encima de los establecido. • Con el paso del tiempo, pierden la capacidad elástica conforme su uso.
	<p>Partes táctiles suaves de herramientas, elementos protectores, pulseras, collares, elementos decorativos, juguetes flexibles, elementos antideslizantes, etc..</p>

Tabla 10: Propiedades lo los elastómeros disponibles para la impresión 3D

Fibra de Carbono	<ul style="list-style-type: none"> • Ofrece una gran resistencia mecánica y gran ligereza. • Gran adhesión y un gran refuerzo entre capas por las fibras que contiene. • Buen aislante térmico. • Material muy estable a altas temperaturas. • Fácil de imprimir. • Grandes acabados con aspecto fibroso. • Gran resistencia al impacto.
	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas de impresión elevadas. • Material muy abrasivo “cuidado con los extrusores”.
	<p>Es muy usado en todas las ramas de la industria y en muchos otros campos. Este material se puede aplicar para la fabricación de piezas de: bicicletas, motocicletas, vehículos en general, aerodelismo, modelismo, etc.</p>

Tabla 11: Propiedades lo los filamenteos de fibra de carbono.

[Ref 21.]

Existen muchos más materiales disponibles con asombrosas características. Para muestra de ello, el extenso catálogo que ofrecen los jienenses de **Smart Materials 3D**, de donde se han elegido precisamente los filamentos necesarios para materializar el prototipo.

Debido a su facilidad de uso, a su amplia gama de colores y a sus propiedades aceptables, es el **PLA True Black** de Smart Materials el elegido para imprimir la carcasa, el embellecedor y el soporte en su fase final. También se han adquirido para el desarrollo del prototipo el **FLEX negro**, para tener la posibilidad de probar patrones antideslizantes y juntas de estanqueidad y el **Smart Fil Glacé**, que tiene un carácter transparente, para probar con la Lente y el Filtro.

En las primeras fases de pruebas se ha utilizado un PLA Ivory White con los mismos parámetros de impresión que el PLA True Black por motivos de disponibilidad. [Ref 18.]

4.6 PREPARACIÓN DE ARCHIVOS Y CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA IMPRESIÓN

En este apartado se mostrarán las configuraciones elegidas para obtener un resultado óptimo en el proceso de impresión en función de la tecnología de impresión, del material utilizado y del diseño de la pieza en cuestión.

Se han realizado todas las pruebas y modelos en escala 1:1 del piloto para comprobar el correcto funcionamiento y ensamblaje del mismo a la vez que se comprueba el correcto ajuste de las piezas que se han reciclado del modelo comercial señalado anteriormente como son la PCB, la batería y el ajuste universal a la tija en forma cilíndrica, para el cual no se ha propuesto ninguna mejora.

El software utilizado para generar los archivos de extensión **.GCODE**, legibles por la impresora es el Slic3r. Este programa toma como inputs los modelos 3D diseñados y presenta opciones de edición rápidas como corte, escalado, rotación, posicionamiento etc. Todo ello referido a una superficie de impresión previamente definida y acorde a la impresora utilizada.

El formato de entrada al software es .STL, Los archivos de CATIA tienen un formato CATPart, como se observa en la Figura 81: Formato de archivos. Este formato no es reconocido por el software, por lo que será necesario una transformación previa a .STL para poder trabajar con ellos.

 Bateria.CATPart	09/07/2019 19:44	CATIA Part	138 KB
 Carcasa_1.CATPart	09/07/2019 19:44	CATIA Part	2.168 KB
 Carcasa_2.CATPart	09/07/2019 19:44	CATIA Part	3.731 KB
 Embellecedor.CATPart	09/07/2019 19:44	CATIA Part	4.776 KB
 Junta_Tapa_Bateria.CATPart	09/07/2019 19:44	CATIA Part	125 KB
 Lente_Freno.CATPart	09/07/2019 19:44	CATIA Part	203 KB
 Lente_intermitente_derecho.CATPart	06/07/2019 23:01	CATIA Part	41 KB
 Lente_intermitente_izquierdo.CATPart	09/07/2019 19:44	CATIA Part	351 KB
 PCB.CATPart	09/07/2019 19:44	CATIA Part	981 KB
 Piloto Trasero Universal para Bicicleta.CA...	09/07/2019 19:44	CATIA Product	60 KB
 Soporte_Fixation - Memoria.CATPart	07/07/2019 14:18	CATIA Part	2.780 KB
 Soporte_Fixation.CATPart	09/07/2019 19:44	CATIA Part	2.780 KB
 Tapa_Bateria.CATPart	09/07/2019 19:44	CATIA Part	223 KB

Figura 81: Formato de archivos

La transformación se puede realizar a través del módulo de mecanizado de CATIA.-Figura 82- donde a través de la operación Tessellation, eligiendo la superficie de la pieza deseada, ajustaremos los parámetros para conseguir un mallado de la pieza con la definición requerida -Figura 83-. Una vez obtenido el mallado, procedemos a exportarlo en formato .STL -Figura 84-.

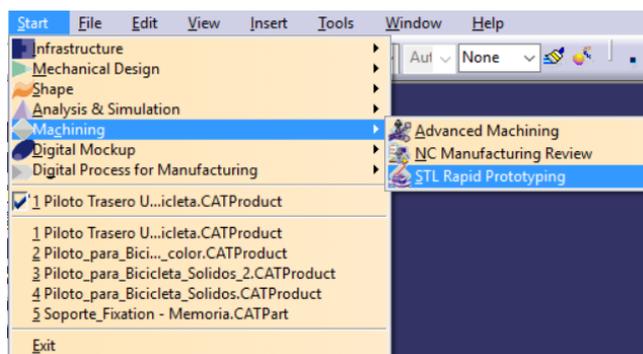


Figura 82: Selección de módulo de mecanizado.

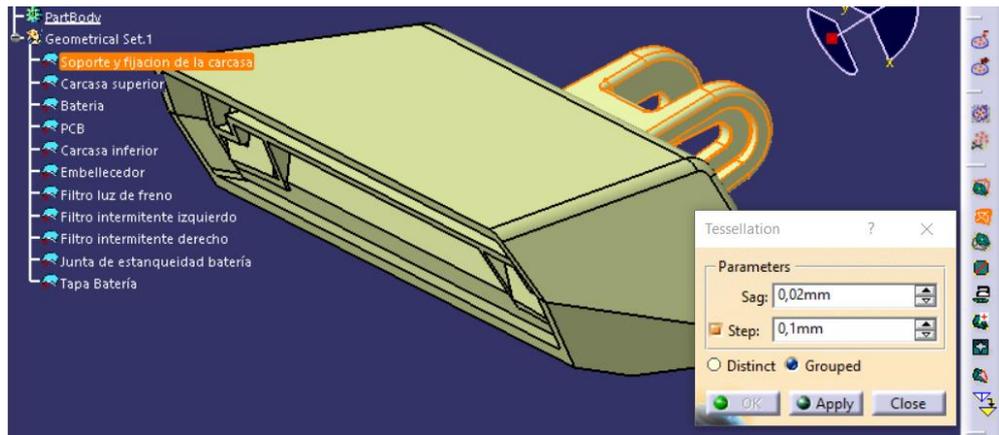


Figura 83: Operación Tessellation

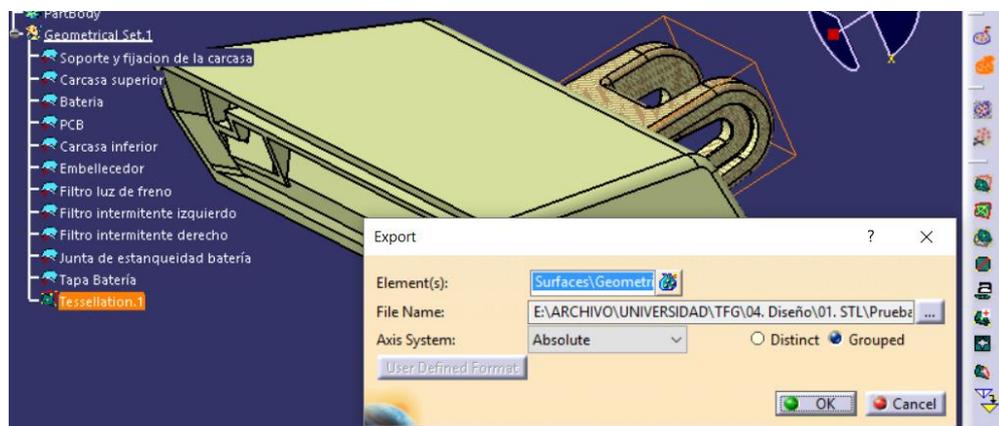


Figura 84: Exportación de mallado a .STL

Con las piezas en formato .STL se puede comenzar a importar las piezas a Slic3r para generar el .GCODE que nos permitirá imprimirlas.

A continuación, se muestra una secuencia de imágenes donde se ha importado la carcasa superior y la fijación en su primera fase de diseño con el objetivo de comprobar la calidad del mecanismo de fijación. Se observa sobre la Figura 85 cómo mediante el propio software se elimina parte de la carcasa que no es necesaria para dicha comprobación, se puede apreciar también el efecto de la selección de generación automática de soportes para poder imprimir voladizos de la pieza -Figura 86- y por último se muestran unas pantallas donde aparecen parámetros importantes a configurar en función de cada material y la definición deseada, entre las que se encuentran; la altura de capa, el número de capas sólidas en el perímetro, la densidad de relleno de la pieza, el patrón de relleno del interior de la pieza y de las capas exteriores, velocidades de impresión, temperatura del extrusor, temperatura de la cama caliente, densidad del material y coste del mismo.

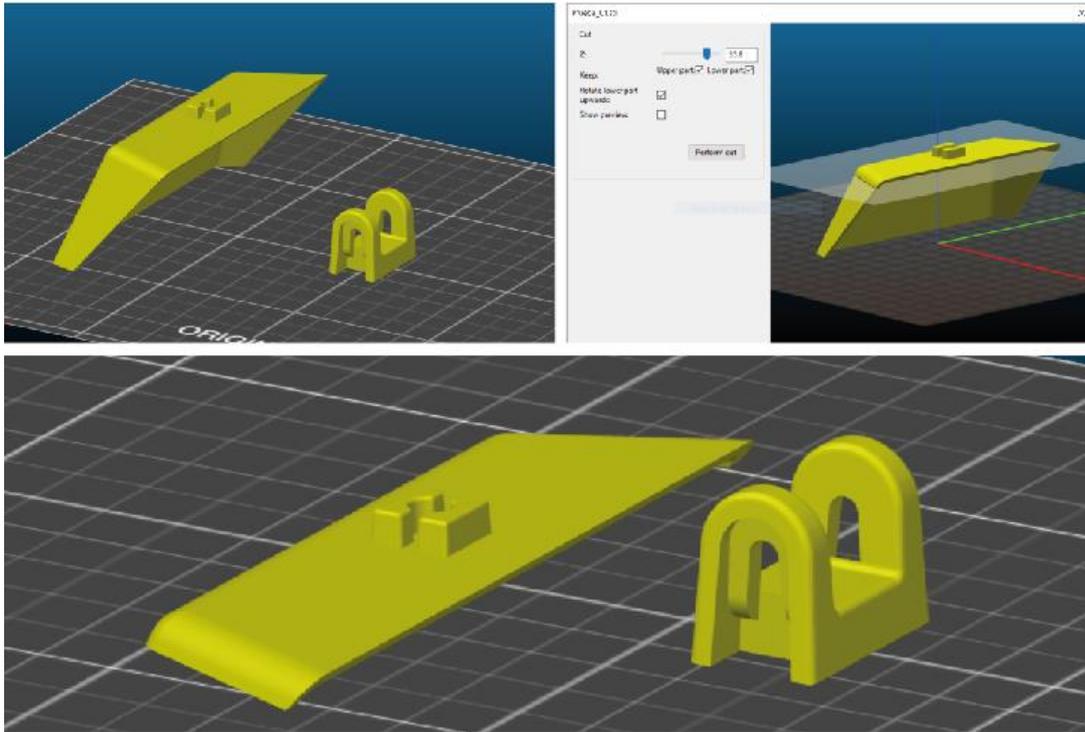


Figura 85: Importación de piezas y operación de corte sobre una de ellas.

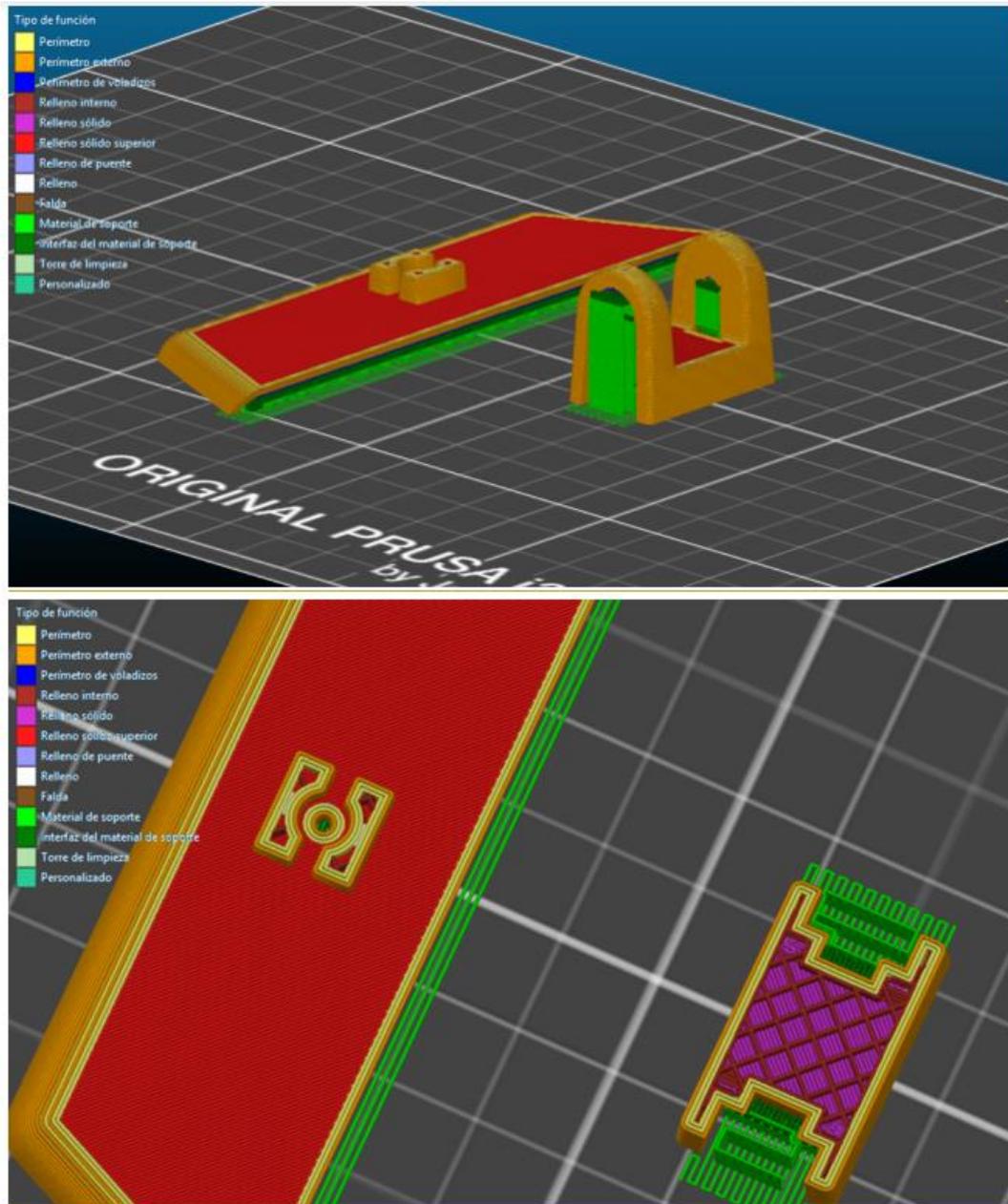


Figura 86: Soportes de impresión y patrón de relleno

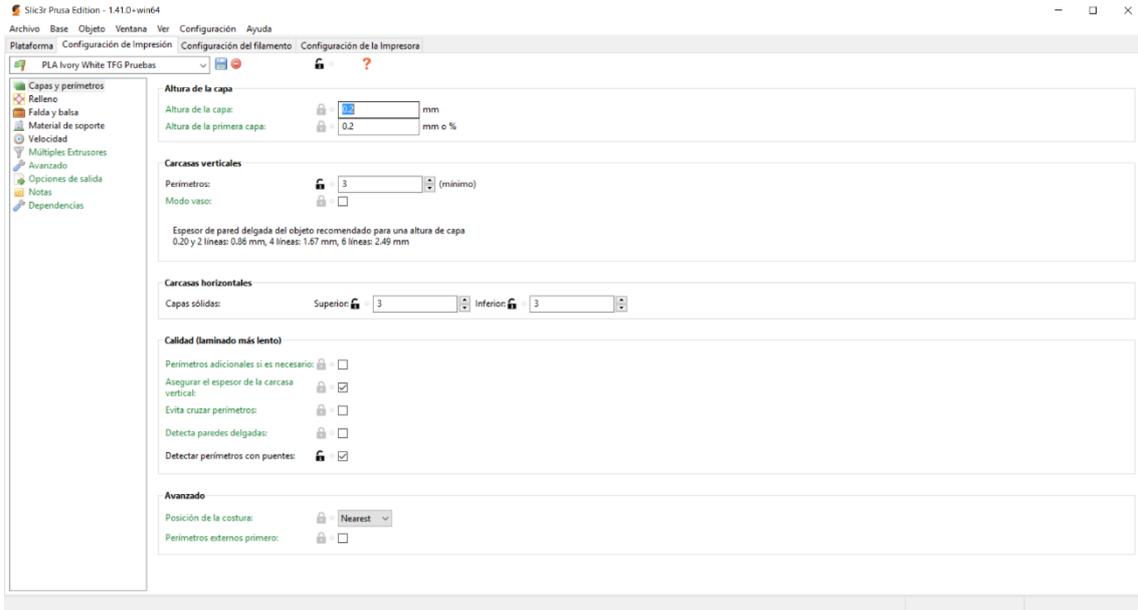


Figura 87: Configuración de parámetros de impresión 1

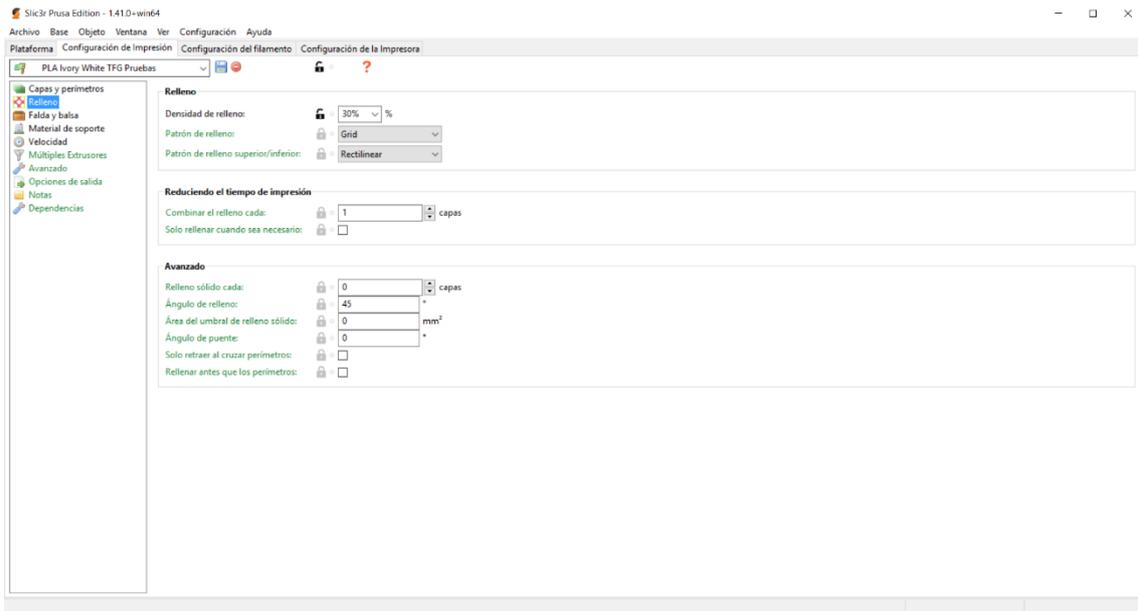


Figura 88: Configuración de parámetros de impresión 2

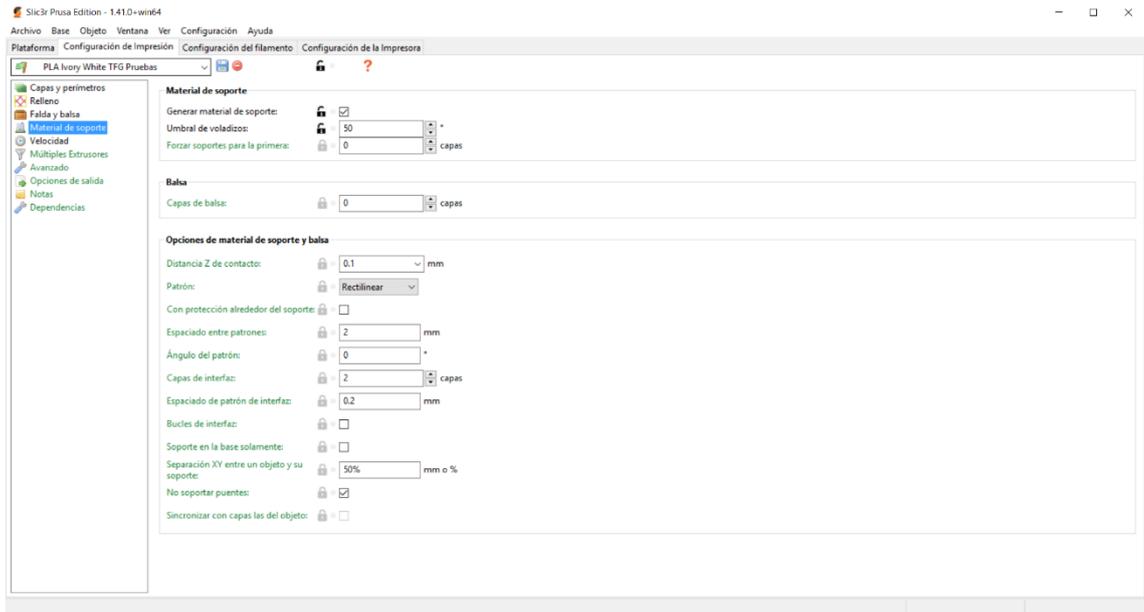


Figura 89: Configuración de parámetros de impresión 3

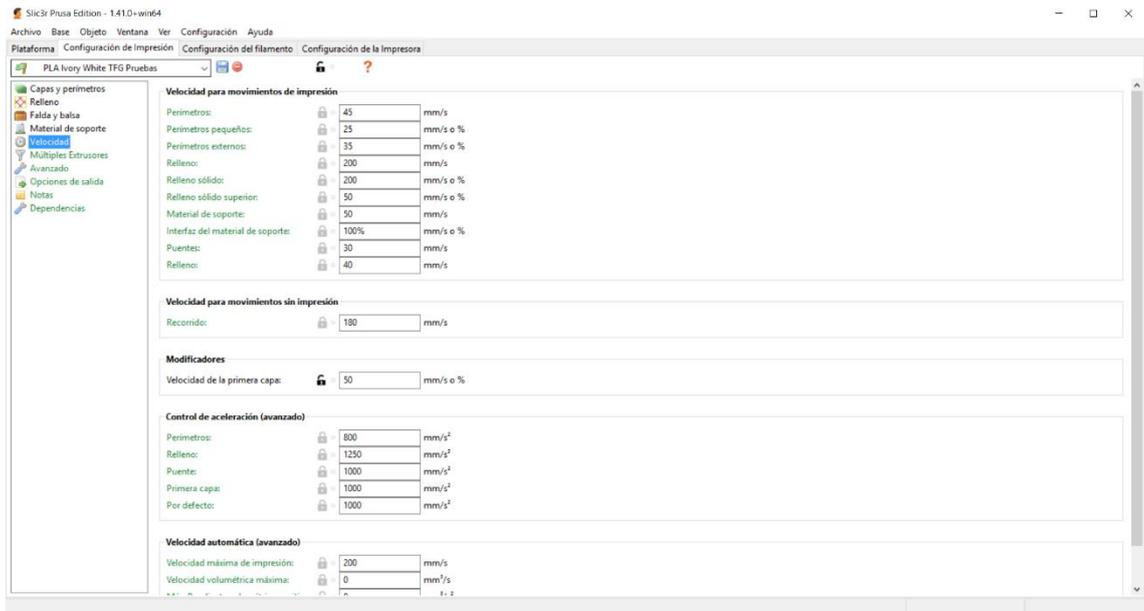


Figura 90: Configuración de parámetros de impresión 4

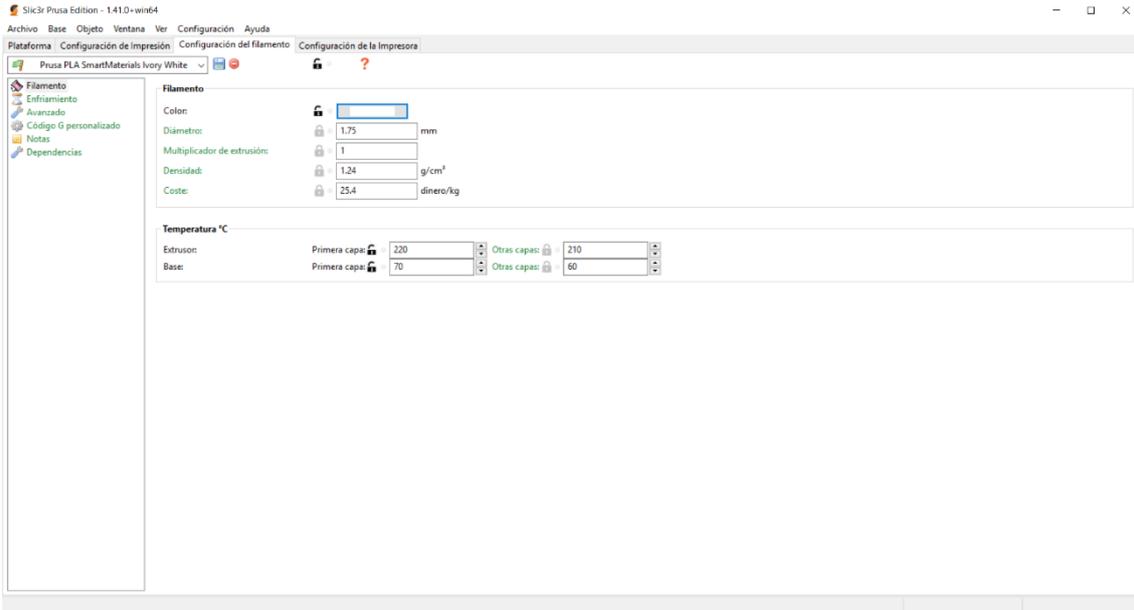


Figura 91: Configuración de parámetros de impresión 5

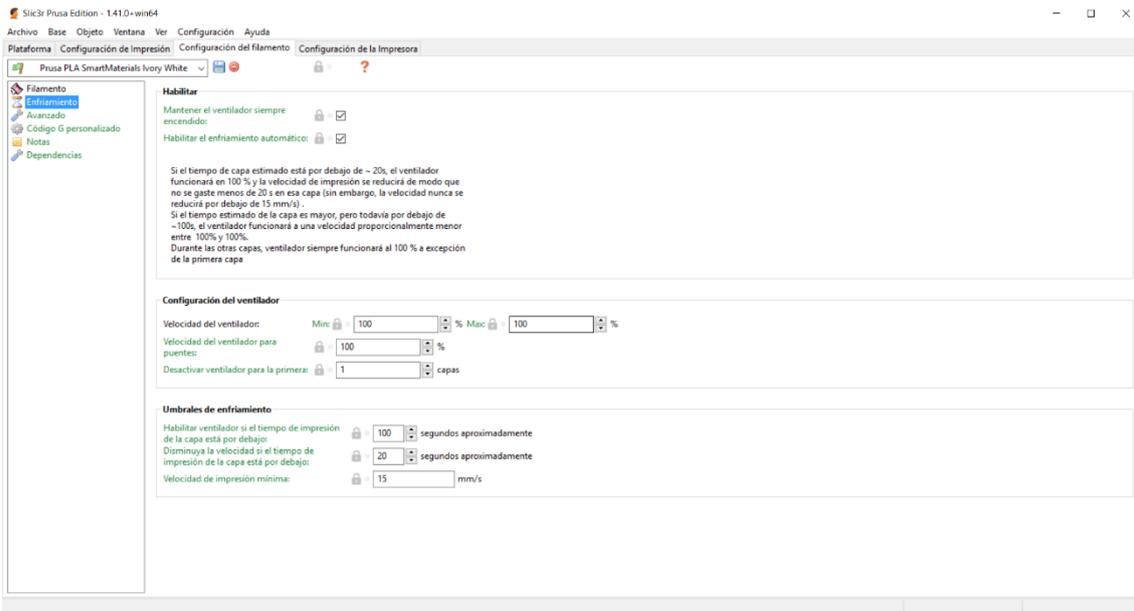


Figura 92: Configuración de parámetros de impresión 6

Además, tras generar el código en función de los parámetros seleccionados, el software es capaz de calcular la cantidad de material utilizado, el tiempo que durará la impresión y el coste de la pieza en términos de material.

4.7 PROCESOS DE ACABADO Y CURADO

En la impresión por FDM el acabado superficial depende fundamentalmente de la configuración de los parámetros de impresión como la altura de capa, velocidad de impresión y temperatura del extrusor. También depende en gran medida de la configuración de los soportes de impresión ya que éstos son retirados manualmente y en función de la superficie de contacto entre éstos y la pieza, pueden aparecer más o menos imperfecciones adheridas a la superficie.

En la Figura 94 se puede observar cómo al final de la impresión, quedan adheridos los soportes y en la siguiente imagen se aprecia cómo tras eliminarlos manualmente, el resultado es bueno sin necesidad de realizar ninguna otra operación de acabado.



Figura 94: Prueba de impresión con los soportes adheridos.

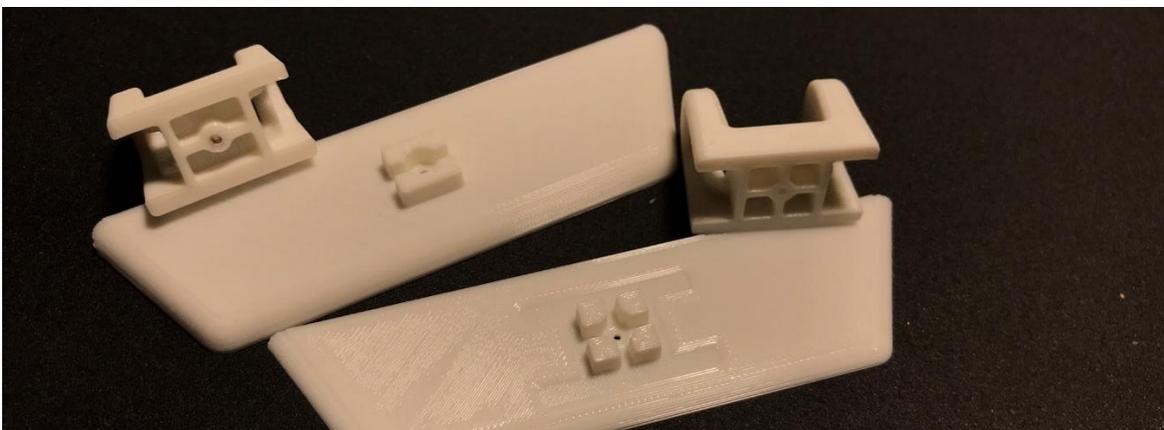


Figura 95: Resultado tras extraer los soportes

A pesar de configurar correctamente los parámetros de impresión, en algunas ocasiones es imposible lograr un acabado completamente liso, así que existen diferentes opciones.

La primera de todas y más intuitiva, es lijar la superficie con un papel o esponja de lija adecuado o con una herramienta tipo Dremel. Es una opción con la que se pueden llegar a conseguir buenos resultados, pero es muy tediosa cuando hablamos de PLA, que es el material que hemos utilizado en la maquetación del modelo. Este material se derrite fácilmente y cuando la fricción es excesiva, se pierde el control del desbaste originando acabados que pueden llegar a ser peores que los iniciales,

Durante la producción de la maqueta se ha tratado de mejorar el acabado de alguna de las piezas mediante este método y aunque si es cierto que en algunas zonas ha mejorado, es una solución que dista mucho de merecer la pena en procesos de maquetación como el presente en este trabajo.

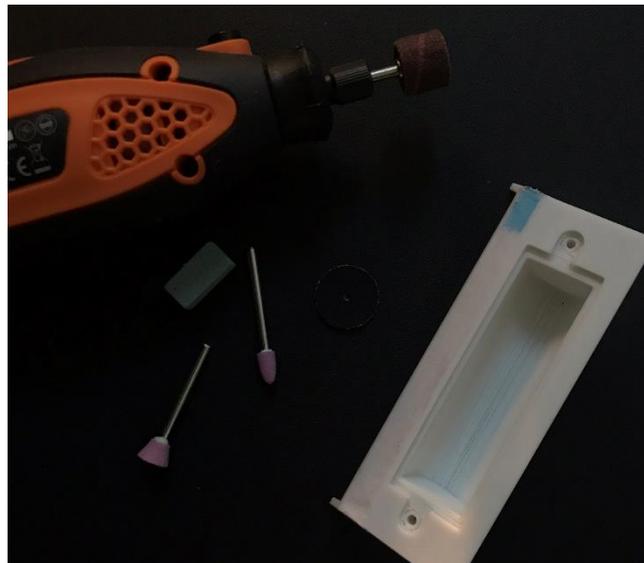


Figura 96: Prueba de lijado sobre impresión 3D en PLA.

Existen otras alternativas para mejorar el acabado de la impresión en PLA.

Tras una búsqueda On-Line se ha encontrado el siguiente producto **3D-SMOOTHER -Recubrimiento Epoxi para impresiones 3D** del fabricante **FEROCA**. Se trata de un recubrimiento tipo pegamento que lo que hace básicamente, es añadir material entre los surcos del filamento. Tras su aplicación se recomienda un curado de unas 4 horas y el acabado es brillante y liso.



Figura 97: Ejemplo de acabado tras la aplicación de una resina comercial apta para PLA

A pesar de que todas las opiniones acerca del producto son positivas, no se ha probado en el desarrollo del trabajo, pues está más destinado a proyectos artísticos.

Si hubiéramos elegido el ABS como material principal para producir la maqueta, mejorar el acabado habría sido más sencillo pues éste mejora considerablemente bajo un baño de vapor de acetona. Aunque el acabado superficial es semejante al acabado del PLA tras la aplicación de la resina, con este método se debe tener la precaución de controlar los tiempos, pues en este caso lo que se produce es una dilución del material que puede llegar a producir una gran pérdida de detalle e incluso modificaciones dimensionales.

Como conclusión a este apartado, para este trabajo no se han aplicado más procesos de acabado que el de la retirada de los soportes y ligeras operaciones de lijado.

5 CONCLUSIONES

Se ha diseñado y se ha producido mediante impresión 3D un prototipo de un piloto trasero para una bicicleta. Concebido como un dispositivo de seguridad pasiva capaz de asemejarse a los dispositivos luminosos de los automóviles, con los que conviven en las vías. Se trata del inicio del desarrollo de un proyecto ambicioso y aún mejorable, con el que se pretende aumentar la seguridad de los ciclistas en las vías públicas a través de un dispositivo asequible para todo tipo de usuarios.

1. Se ha llevado a cabo un estudio de los dispositivos presentes en el mercado, adquiriendo dos modelos que cumplen con algunas de las características deseadas con el objetivo de validar la viabilidad del producto y de tener un punto de partida.
2. En base a los materiales presentes en los productos presentes en el mercado, se ha determinado que lo más adecuado es el uso de materiales plásticos, eligiendo el moldeo por inyección como medio de producción. Alcanzada esta conclusión se ha realizado una búsqueda de los materiales más utilizados en elementos de funciones similares a los deseados para determinar el material a utilizar en cada pieza.

Carcasa	ABS
Embelledor	PC - BLACK
Filtro / Lente	PC Clear
Soporte y Fijación	ABS

3. Una vez definidos los materiales y el proceso de producción se han diseñado mediante un software de Diseño Asistido por Ordenador -*Catia V5- todas las piezas del prototipo* partiendo de los componentes electrónicos de uno de los modelos comerciales estudiados. *Estas piezas*, han sido diseñadas con el objetivo de que sean producidas mediante un proceso de *moldeo de inyección*, por lo que se han *analizado las limitaciones* inherentes al proceso en cada etapa de *diseño y producción*, optimizando el diseño para cada pieza.
4. *Los modelos han sido prototipados mediante impresión 3D en cada etapa del diseño, tratando en todo momento de verificar el correcto funcionamiento, ensamblaje, dimensiones y características mecánicas de las piezas.* Además, para el modelado por deposición fundida FDM, se ha realizado una búsqueda de los materiales disponibles aptos para la maqueta.



6 REFERENCIAS

6.1 BIBLIOGRAFÍA

- [Ref 1.] Olsson, T. (2015). Arduino Wearable Projects. Packt Publishing. Recuperado el marzo de 2019.
- [Ref 2.] Gomis, M. B. (2012). Tecnología de polímeros: Procesado y propiedades. Alicante: Universidad de Alicante. Recuperado el marzo de 2019.
- [Ref 3.] Formaciones Valeo Lighting.
- [Ref 4.] Dubois, J. y. (1972). Ingeniería de moldes para plásticos. Bilbao: Urno. Recuperado el marzo de 2019.
- [Ref 5.] Mona Saffarzadeh, M. G. (2016). Selective Laser Sintering (SLS) Rapid Prototyping Technology: A Review of Medical Applications. North Carolina: Virginia Tech-Wake Forest University Center for Injury Biomechanics. Recuperado el marzo de 2019.
- [Ref 6.] ProtoLabs. (2013). Diseño y moldeabilidad. Le Bourget du Lac Cedex. Recuperado el marzo de 2019.
- [Ref 7.] ProtoLabs. (2013). La importancia de los materiales. Le Bourget du Lac Cedex, Francia. Recuperado el mazo de 2019.
- [Ref 8.] González, S. G. (2016). Impresión 3D. Marcombo. Recuperado el junio de 2019.
- [Ref 9.] Maria Gloria de Río Cidoncha, M. E. (2007). El Libro de CATIA V5 Módulos Part Design, Wireframe & Surface Design, Asembly Design y Drafting. Madrid: Tébar. Recuperado el julio de 2019.

6.2 WEBGRAFÍA

- [Ref 10.] Estimación de ventas mundiales de coches eléctricos. Recuperado en marzo de 2019. Obtenido de <https://www.rankiapro.com/como-acceder-crecimiento-vehiculos-electricos-etps-materias-primas/>: www.rankiapro.com.
- [Ref 11.] Ovacen. Recuperado en marzo de 2019. Artículo sobre la evolución del coche eléctrico. Obtenido de www.ovacen.com: <https://ovacen.com/evolucion-coche-electrico/>
- [Ref 12.] DGT. Recuperado en marzo de 2019. Legislación sobre vehículos de movilidad personal. Obtenido de www.dgt.es: <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/normativa->



legislacion/otras-normas/modificaciones/2016/Instr_16_V_124_Vehiculos_Movilidad_Personal.pdf

- [Ref 13.] Guia del ciclista. Recuperado en marzo de 2019, de www.dgt.es: <http://www.dgt.es/PEVI/eduvial/guias-didacticas-recursos/Guia-del-ciclista-marcadores.pdf>
- [Ref 14.] Flora. Recuperado en marzo de 2019. Brake Light Backpack Project. Obtenido de <https://learn.adafruit.com/flora-brakelight-backpack/overview>
- [Ref 15.] Rodríguez, B. Recuperado en marzo de 2019. Consideraciones para la selección de materiales. Obtenido de www.intelligy.com: <https://intelligy.com/blog/2017/05/25/4-consideraciones-para-la-seleccion-de-materiales-en-tus-procesos-de-fabricacion/>
- [Ref 16.] AMECA. Recuperado en marzo de 2019. List of Acceptable Plastics. Recuperado el junio de 2019, de www.ameca.org: <https://ameca.org/list-of-acceptable-plastics/>
- [Ref 17.] Prusa3d. Recuperado en junio de 2019, de www.prusa3d.es <https://shop.prusa3d.com/en/3d-printers/180-original-prusa-i3-mk3-kit.html>
- [Ref 18.] FormLabs. Recuperado en junio de 2019, de www.formlabs.com <https://formlabs.com/3d-printers/form-3/>
- [Ref 19.] Maquinaria, A. Problemas comunes en el moldeo por inyección y sus soluciones. Recuperado en junio de 2019, de www.aristegui.info: <https://www.aristegui.info/problemas-comunes-en-el-moldeo-por-inyeccion-y-sus-soluciones/>
- [Ref 20.] ProtoLabs. Normas de diseño para piezas de moldeo por inyección. Recuperado en junio de 2019, de www.protolabs.es: <https://www.protolabs.es/servicios/moldeo-por-inyeccion/moldeo-por-inyeccion-de-plasticos/normas-de-diseno/>
- [Ref 21.] Rohringer, S. (1 de 2019). Los 25 mejores filamentos para impresoras 3D. Recuperado en junio de 2019, de all3dp.com: <https://all3dp.com/es/1/filamento-3d-filamento-impresora-3d/>
- [Ref 22.] Materials, S. Recuperado en junio de 2019. Smart Materials: Selección de material para impresión 3D. Obtenido de www.smartmaterials3d.com: <https://www.smartmaterials3d.com/es/>
- [Ref 23.] CatiaDoc. Recuperado en junio de 2019. Guías Prácticas sobre CATIA V5. Recuperado el junio de 2019, de www.catiadoc.free.fr: <http://catiadoc.free.fr>

7 ANEXOS

7.1 ABREVIATURAS UTILIZADAS EN PLÁSTICOS Y CAUCHO

Según ISO 1629-1976

PLÁSTICOS	
ABS	Acrilonitrilo-butadieno-estireno
AMMA	Acrilotrilo-metracrilato de metilo
ASA	Acrilonitrilo-estireno éster acrílico
CA	Acetato de celulosa
CAB	Acetato-Butirato de celulosa
CAP	Acetato-propionato de celulosa
CF	Cresol-formaldehído
CMC	Carboxi-metil-celulosa
CN	Nitrocelulosa
CP	Propionato de celulosa
CS	Caseína
CTA	Triacetato de celulosa
DAP	Ftalato de dialilo (dialilftalato)
DAIP	Ftalato de iso-dialilo
EC	Etil celulosa
EEA	Etileno/acrilato de etilo
E/P	Etileno/propileno
EP	Epoxi
EPE	Ester epoxídico
EPS	Poliestireno expandido
EVA	Etileno-acetato de vinilo
EVAL	Etileno-alcohol vinílico
ETFE	Etileno-tetraflúor-etileno
FEP	Tetraflúoretileno/hexafluor-propileno
HDPE	Polietileno de alta densidad
LDPE	Polietileno de baja densidad
LLDPE	Polietileno lineal de baja densidad
MDPE	Polietileno de media densidad
MBS	Metacrilato de metilo butadieno estireno
MC	Metilcelulosa
MF	Melamina/formaldehído
MPF	Melamina/fenol formaldehído
PA	Poliamida
PA 6	Polímero de 6-caprolactama
PA 11	Polímero del ácido amino-11-undecanoico



PA 12	Polímero de dodecalonactama 1,12
PA 66	Polímero de hexametildiamina y del ácido adípico
PA 610	Polímero de hexametildiamina y del ácido sebácico
PA 66/610	Copolímero de hexametildiamina con ácido adípico y ácido sebácico
PA 6/12	Copolímero de PA 6 y PA 12
PA 612	Polímero de hexametildiamina y del ácido dodecanónico
PA6-3-T	Polímero de trimetil-hexametildiamina y ácido tereftálico
PAN	Poliacrilonitrilo
PB	Polibuteno-1
PBTP	Poli butileno-tereftalato
PC	Policarbonato
PCTFE	Policlorotrifluoretileno
PDAP	Poli (ftalato de dialilo)
PE	Poli etileno
PEC	Poli etileno clorado
PEOX	Poli (óxido de etileno)
PEP	Polímero de etileno propileno
PETP	Poli (tereftalato de etilenglicol)
PF	Fenol-formaldehído
PI	Poliimida
PIB	Poli isobutileno
PIR	Poli isocianurato
PIMI	Polimetacrilamida
PMMA	Poli (metacrilato de metilo)
PMP	Poli (metil-4 penteno-1)
POM	Polioximetileno poliformaldehído (poliacetal)
PP	Polipropileno
PPC	Polipropileno clorado
PPO	Poli óxido de fenileno
PPOX	Poli (óxido de polipropileno)
PPS	Polisulfuro de fenileno
PPSU	Poli (fenilén-sulfona)
PS	Poliestireno
PSGP	Poliestireno cristal
PSHI	Poliestireno antichoque
PSU	polisulfona
PTFE	Politetrafluoretileno
PUR	Poliuretano
PVAC	Poli (acetato de vinilo)
PVAL	Poli (alcohol vinílico)
PVB	Poli (butirato de vinilo)
PVC	Poli (cloruro de vinilo)

PVCC	Poli (cloruro de vinilo) clorado
PVDC	Poli (cloruro de vinilideno)
PVDF	Poli (fluoruro de vinilideno)
PVF	Fluoruro de vinilideno
PVFM	Poli (vinil-formaldehído)
PVK	Polivinilcarbazol vinílico
PVP	Polivinil pirrolidona
RF	Resorcina-formaldehído
SAN	Estireno acrilonitrilo
SB	Estireno butadieno
SI	Siliconas
SMS	Estireno-metilestireno
SP	Poliéster saturado
UF	urea-formaldehído
UHMWPE	Polietileno de alto peso molecular
UP	Poliéster insaturado
VCE	Cloruro de vinilo/etileno
VCEMA	Cloruro de vinilo/etileno/acrilato de metilo
VCEVA	Cloruro de vinilo/etileno/acetato de vinilo
VCMA	Cloruro de vinilo/acrilato de metilo
VCMMA	Cloruro de vinilo/metacrilato de metilo
VCOA	Cloruro de vinilo/acrilato de octilo
VCVAC	Cloruro de vinilo/acetato de vinilo
VCVDC	Cloruro de vinilo/cloruro de vinilideno
VPE	Polietileno reticulado

PLÁSTICOS REFORZADOS	
ARP	Plástico reforzado con fibra de vidrio
BRP	Plástico reforzado con fibra de amianto
CFRP	Plástico reforzado con fibra de boro
GRP	Plástico reforzado con fibra de carbono
MFRP	Plástico reforzado con fibra metálica
MWRP	Plástico reforzado con fibra whiskers
SFRP	Plástico reforzado con fibra sintética
Los termoplásticos reforzados acompañarán a sus abreviaturas de fv, fa, fb, fs, y fw, según los casos. Ej.:PP-fv (Polipropileno con fibra de vidrio)	



CAUCHOS	
ABR	Elastómeros de éster acrílico-butadieno
ACM	Elastómeros de éster acrílico-2-cloroetilvinil-éter
AFMU	Terpolímero de tetrafluoruro de etileno-trifluoronitrometano y fluoruro de ácido nitroso-butílico (nitrocaucho)
ANM	Copolímero de éster acrílico-acrilonitrilo
AU	Elastómero de poliuretano de poliéster
BIIR	Elastómero de isobutileno-isopreno bromado
BR	Elastómero de butadieno
CFM	Poli (cloruro de trifluoretileno)
CIIR	Elastómero de isobutileno-isopreno clorado
CM	Cauchos de polietileno clorado
CO	Elastómero de epiclorhidrina
CR	Elastómero de cloropreno
CSM	Polietileno clorosulfonado
ECO	Copolímero de epiclorhidrina
EPDM	Termopolímero de etileno-propileno-dieno
EPM	Copolímero de etileno-propileno
EU	Caucho de poliuretano de poliéteres
FPM	Copolímero de fluoruro de vinilideno y hexafluoruro de propileno
FSi	Elastómero de metil silicona con grupos fluorados
IIR	Elastómero de isobutileno isopreno
IM	Poliisobutileno
IR	Elastómero de isopreno (sintético)
NBR	Elastómero de acrilonitrilo-butadieno
NCR	Elastómero de acrilonitrilo-cloropreno
NIR	Elastómero de acrilonitrilo-isopreno
NR	Elastómero de isopreno (natural)
PO	Elastómero de poli (óxido de propileno)
PBR	Elastómero de butadieno-piridina
PSBR	Elastómero de piridina-estireno butadieno
PSi	Elastómero de metil silicona
SBR	Elastómero de estireno-butadieno
SCR	Elastómero de estireno-cloropreno
Si	Elastómero de metil silicona
SIR	Elastómero de estireno-isopreno
VPSi	Elastómero de metil silicona con grupos fenílicos y vinílicos
VSi	Elastómero de metil silicona con grupos vinílicos

7.2 HERRAMIENTAS CATIA V5

7.2.1 Draft Angle

Esta operación se define en las piezas moldeadas para que sean más sencilla la operación de expulsión de los moldes.

Hay dos maneras de determinar los objetos a dibujar: ya sea seleccionando explícitamente el objeto o seleccionando el elemento neutral, lo que hace que la aplicación detecte las caras apropiadas para usar. A continuación, se muestra paso a paso el método de utilización de la herramienta.

1. Clic *Draft Angle*  .

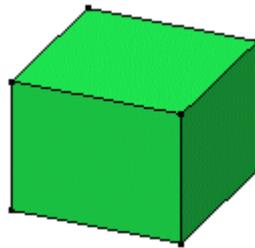


Figura 98: Pieza d ejemplo sobre la que aplicar los ángulos de desmoldeo

Aparece el cuadro de diálogo *Draft Definition* y aparece una flecha en un plano, que indica la dirección de arrastre predeterminada. La opción de tiro de ángulo constante.  está activa. Si clicas en el icono de la derecha , accedes al comando *Variable Angle Drafts* con el que crear ángulos variables.

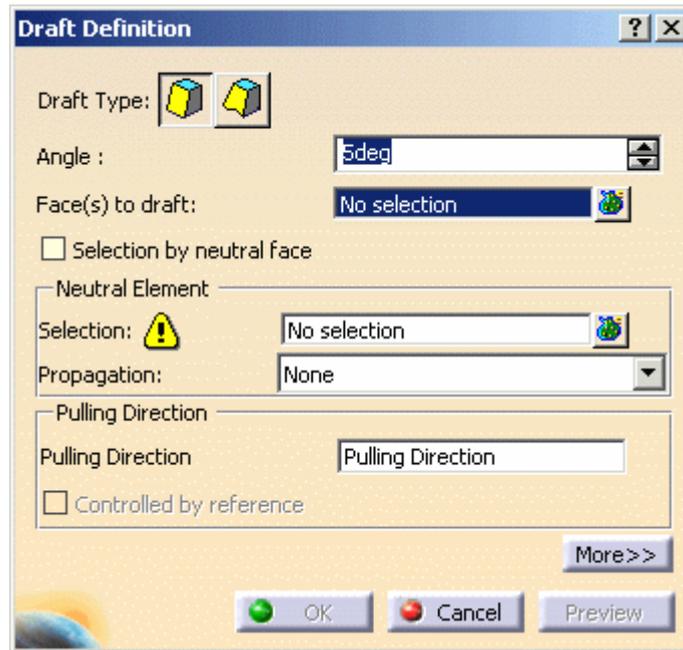


Figura 99: Cuadro de diálogo Draft

2. Verifica la casilla de *Selection by neutral face* para definir el modo de selección.
3. Seleccionamos la superficie superior como *Neutral Element*. Esta selección permite a la herramienta detectar la cara que será desmoldeada. Cuando es seleccionada, se modifica el color mostrado y la arista neutral que delimita dicha superficie, también es resaltada. Las superficies a desmoldear se muestran en rojo oscuro.

Pulling Direction

Pulling direction coincidirá con la dirección de desmoldeo que elijamos y en este caso es normal a la Neutral Face.

La opción *Controlled by reference* ahora está activada, lo que significa que cada vez que edite el elemento que define la dirección de extracción, modificará el borrador en consecuencia.

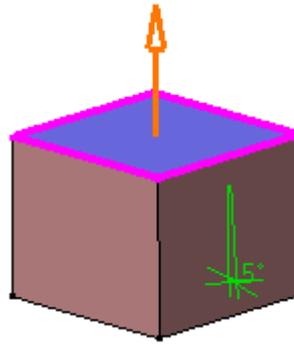


Figura 100: Previsualización de la operación de Draft sobre la geometría cúbica de ejemplo.

4. El valor del ángulo por defecto son cinco grados. Si lo cambiamos a siete, la herramienta muestra el nuevo ángulo en la geometría.
5. Clicando en *Preview* se puede mostrar las superficies sobre las que apoyará el Draft cuando éste sea creado. Aparecerán en azul, como se muestra en la *Figura 101*.

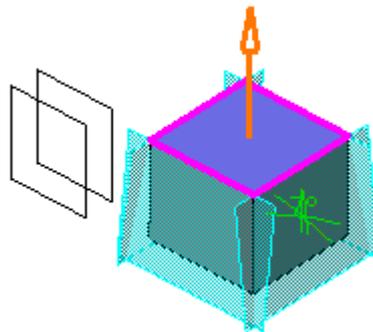


Figura 101: Draft Preview

6. Clicando en *More*, se puede acceder a un cuadro de diálogo adicional con diferentes opciones como se muestra en la *Figura 102*

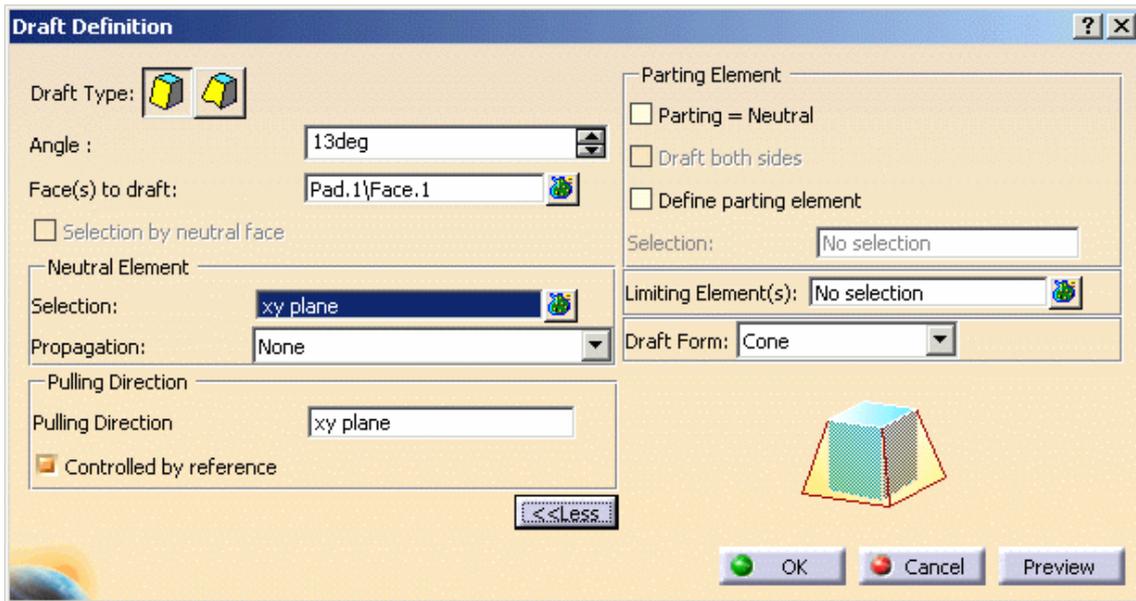


Figura 102: Opciones adicionales

Limiting Elements

7. Clic en Limiting Elements. Cuando se aplica la operación sobre una cara, esta operación se puede limitar seleccionando una o una o más caras o planos que intersecan por completo.

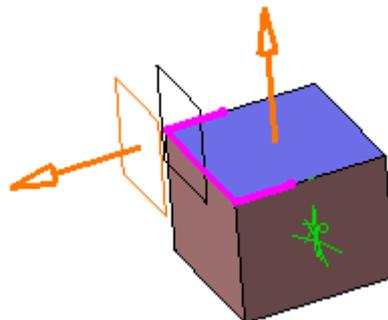


Figura 103: Ejemplo de selección de un plano como elemento limitante

8. En la [Figura 103](#) se puede observar el efecto en la previsualización de la selección de un plano como elemento limitante.

Se debe tomar la precaución de asegurar que los elementos limitantes intersecan con las curvas neutras. De lo contrario la herramienta no realizará la operación de Draft.

9. Seleccionamos el otro plano que aparece en el ejemplo como plano limitante. En el cuadro de diálogo se indica el número de elementos limitantes seleccionados.

10. Aparecerá una flecha de color naranja a través de la cual con un solo clic se podrá invertir la dirección.

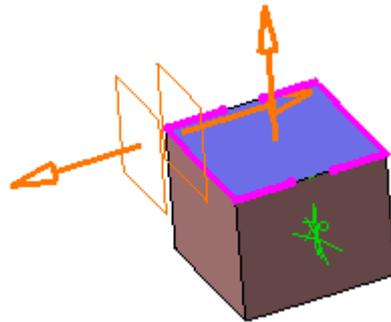


Figura 104: Ejemplo de selección de un segundo plano como elemento limitante

[Ref 9.] [Ref 23.]

Se recomienda la consulta de la guía para las operaciones *Sweep*, *Draft Analysis*, *Clash* y *Sectioning* sobre la [Ref 23.]