



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:



## RESUMEN

El presente documento recoge el análisis del proceso de desarrollo de productos de un nuevo componente para el sector de la automoción en un entorno de industria 4.0. Para ello se ha realizado el diseño de una pieza de automóvil y se ha utilizado una metodología de diseño para fabricación, en concreto para moldeo por inyección de plásticos, con la que a través de una optimización del diseño de la pieza con nuevas herramientas se consiguen mejorar aspectos de fabricación y producción. El trabajo analiza el proceso de diseño en ingeniería como parte del ciclo de vida del producto que contempla desde la fase inicial hasta la retirada final de los distintos subcomponentes del producto, desde la perspectiva de la gestión de tareas de modelado y análisis mediante una herramienta industrial para la Gestión del Ciclo de Vida del Producto (PLM).

El trabajo establece en primer lugar el marco teórico del proyecto, al cual, siempre se hará referencia para el desarrollo del caso práctico. En este caso se ha optado validar el nuevo escenario con un componente con carácter ingenieril y estético, por lo que el trabajo va a consistir en realizar el diseño de la rejilla frontal de un automóvil, entendiendo por fase de diseño todas las etapas que transcurren desde la idea inicial hasta la etapa de producción, incluida la etapa de análisis de fabricación. Además, se va a prestar especial atención al diseño del producto con la ayuda de programas de modelado sólido, en concreto, para la realización del trabajo académico, se va a usar la plataforma 3DEXPERIENCE, como sistema incluye las aplicaciones PLM así como aquellas tradicionales de CAD/CAE/CAM en su versión orientada al escenario objeto de estudio y que forman parte del desarrollo del producto en entornos industriales. Para el diseño de la pieza con la herramienta CAD, vamos a analizar la necesidad de utilizar una buena estrategia de modelado, con la que poder obtener un diseño robusto que nos permita la realización de cambios y nuevas versiones a posteriori. Finalmente, se va a verificar el diseño con programas de simulación CAM de técnicas de conformado como es en este caso el proceso de inyección de materiales plásticos. De esta forma, y a partir de los resultados obtenidos, se identificarán los posibles fallos de diseño que afectan a la fabricación y se propondrán modificaciones, validando así el proceso de diseño y optimización propuesto.

**Palabras Clave:** Ingeniería de Diseño y Desarrollo de productos, PLM, CAD/CAE/CAM, Inyección de plásticos, Diseño para Fabricación, estrategia de modelado de sólidos, simulación de procesos de fabricación.

## RESUM

Aquest document recull l'anàlisi del procés de desenvolupament de producte per a un nou component per al sector de l'automoció en un entorn d'indústria 4.0. Per això s'ha realitzat el disseny d'una peça d'automòbil i s'ha emprat una metodologia de disseny per a la fabricació, en concret per a la fabricació per injecció de plàstics, amb la mitjançant una optimització del disseny de la peça amb noves ferramentes s'aconsegueix millorar aspectes de fabricació y producció. El treball analitza el procés de disseny en enginyeria com a part del cicle de vida del producte que contempla des de la fase inicial fins a la retirada final dels diferents subcomponents del producte, des de la perspectiva de la gestió de tasques de modelatge i anàlisi mitjançant una ferramenta industrial per a la Gestió de Cicle de Vida del Producte (PLM).

El treball estableix primerament el marc teòric del projecte, al qual, sempre es farà referència per al desenvolupament de cas pràctic. En aquest cas s'ha decidit validar el nou escenari amb un component amb caràcter enginyeril i estètic, pel que el treball consistirà a realitzar el disseny de la reixeta frontal d'un automòbil, entenent per fase de disseny totes les etapes que transcorren des de la idea inicial fins a l'etapa de fabricació, incloent-hi l'etapa d'anàlisi de fabricació. A més, és especial atenció al disseny del producte amb l'ajuda de programes de modelat sòlid, en concret, per a la realització del treball acadèmic, s'utilitzarà la plataforma 3DExperience, com sistema inclou les aplicacions PLM així com aquelles tradicionals de CAD/CAE/CAM en la seua versió orientada a l'escenari objecte de l'estudi i que formen part del desenvolupament del producte en entorns industrials.

Per al disseny de la peça amb la ferramenta CAD, analitzarem la necessitat d'utilitzar una bona estratègia de modelatge, amb la que poder obtenir un disseny robust que ens permeti la realització de canvis i noves versions a posteriori. Finalment, es verificarà el disseny amb programes de simulació CAM de tècniques de conformat com en aquest cas el procés d'injecció de materials plàstics. D'aquesta forma, i a partir dels resultats obtinguts, s'identificarà les possibles errades del disseny que afecten la fabricació i es proposaran modificacions, validant així el procés de disseny i optimització proposada.

**Paraules clau:** Enginyeria de Disseny i Desenvolupament de productes, PLM, CAD/CAE/CAM, Injecció de plàstics, Disseny per a Fabricació, estratègia de modelatge de sòlids, simulació de processos de fabricació.

## **ABSTRACT**

The next document shows the analysis of the product development process of a new part for the automotive sector in a 4.0 industry environment. In order to achieve it, the design of an automobile part has been done and a design for manufacturability methodology has been used, specifically the plastics injection manufacturing. By this manufacturing methodology, an optimization of the part's design with new tools has been achieved, improving manufacturing and production facets. The thesis analyses, from the perspective of the modeling and analysis task's management, the engineering design process as a part of the product lifecycle, which considers the product management from the very first phase to the final withdrawal of the different product subcomponents. This analysis has been done by means of an industrial tool for the Product Lifecycle Management (PLM).

The thesis establishes, first of all, the theoretical scope of the project, which will be always pointed to the development of the case study. In this case, it has been decided to validate a new scenario with a component that has both, engineering and esthetics nature. Therefore the thesis will consist of the design of the Front Grille of an automobile, considering the design phase as every of the steps that goes from the initial idea to the last manufacturing step, including the manufacturing analysis one. Moreover, the product design will be carefully considered by means of Modeling tools. Specifically for this academic document, the 3DExperience platform has been used, as a system that includes PLM apps, and also the traditional CAD/CAE/CAM ones needed for the study case, which are strongly used to the product development in industrial environments.

For the part design with the CAD tool, we will analyze the possibility of using a optimal modeling strategy, which will allow us to achieve a robust design. This robust design will lead us to make changes and new versions afterwards. Finally, the design will be verified by CAM simulation softwares related with "forming techniques", in this case the plastics injection molding process. This way, and considering the obtained results, possible design mistakes will be identified, which affect to the part manufacturing. Therefore, modifications will be suggested, validating, this way, the design and optimization process.

**Keywords:** Desing Engineering and Product Development, PLM, CAD/CAE/CAM, Plastic injection process, Desing for Manufacturability, Solid Modeling strategy, Simulation of Manufacturing Processes



# ÍNDICE DE LA MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivo del documento .....	1
1.2. Alcance .....	2
1.3. Antecedentes .....	3
CAPÍTULO 2. PROCESO DE DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS.....	5
2.1. Introducción .....	5
2.2. Ciclo de vida de un producto.....	6
2.3. Fase de análisis.....	8
2.4. Diseño conceptual.....	8
2.5. Diseño de detalle.....	9
CAPÍTULO 3. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PIEZAS DE PLÁSTICO .....	11
3.1. Introducción .....	11
3.2. Historia del procesado de materiales plásticos .....	11
3.3. Principales características y propiedades .....	13
3.3.1. Termoplásticos .....	13
3.3.2. Termoestables.....	15
3.4. Técnicas de fabricación de los plásticos.....	15
3.4.1. Introducción .....	15
3.4.2. Técnicas de fabricación en materiales plásticos .....	16
3.5. Consideraciones de diseño para la fabricación de materiales plásticos.....	26
3.6. Los materiales plásticos en el sector de la automoción.....	29
CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDIO .....	31
4.1. Introducción .....	31
4.2. Competencias por desarrollar en la realización del proyecto.....	31
4.3. Fase de análisis.....	32
4.3.1. Marco legal, normas aplicadas y posibles patentes existentes .....	33
4.4. Diseño conceptual.....	34
4.4.1. Selección de material con CES EduPack.....	35

4.5. Diseño de detalle.....	38
CAPÍTULO 5. HERRAMIENTAS AVANZADAS EN INGENIERÍA .....	39
5.1. Industria 4.0 .....	39
5.2. PLM.....	40
5.3. 3DEXPERIENCE .....	42
5.3.1. Interfaz .....	43
5.3.2. Formación en 3DEXPERIENCE .....	45
5.3.2. Estructura de archivos y formato .....	46
5.3.3. Principales aplicaciones de 3DEXPERIENCE usadas en el trabajo práctico .....	48
5.3.4. Procedimiento de Análisis del proceso de Llenada.....	52
CAPÍTULO 6. DISEÑO AVANZADO.....	55
6.1. Introducción .....	55
6.2. Modelado .....	56
6.3. Planos del diseño definitivo .....	66
6.4. Análisis del proceso de inyección.....	67
6.5. Diseño de molde .....	84
6.6. Plan de fabricación.....	89
6.7. Análisis de resultados obtenidos.....	89
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES .....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93

## **ÍNDICE DEL PRESUPESTO**

1. Necesidad del presupuesto .....	97
2. Contenido del presupuesto .....	97
2.1. Presupuesto de un nuevo producto de moldeo por inyección .....	97
2.2. Cálculo del coste del molde .....	99
2.2.1. Estimación del coste del molde por el método Boothroyd & Dewhursts .....	100
2.2.2. Estimación del coste del molde por el método de Corrado Poli .....	104
2.3. Cálculo del coste del procesado, del material y del coste total de la pieza .....	109
2.4. Consideraciones tomadas para el caso práctico .....	110
3. Desglose del presupuesto .....	111
4. Análisis del presupuesto .....	112

## **ÍNDICE DEL ANEXO**

1. Estudio de mercado .....	115
2. Análisis de una patente .....	117
3. Hoja de propiedades del material .....	119

## **ÍNDICE DE PLANOS**

1. Plano de detalle de la pieza.....	1
2. Plano de despiece del molde.....	2
3. Plano segundo de despiece del molde.....	3

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Historia de los plásticos. (Fuente: Apme/2000 “Annual Report”).....	12
Tabla 2. Normas UNE referentes al caso práctico.....	33
Tabla 3. Bloques de funcionalidad PLM. (Fuente: Carles Riba, Ingeniería concurrente, una metodología integradora, 2006).....	41
Tabla 4. Softwares de diseño de producto CAD/CAM.....	42
Tabla 5. “Cálculo del coste del molde según Boothroyd”.....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Empresa extendida según la Ingeniería colaborativa. (Fuente: Contero, 2005).....	6
Figura 2. Riesgo, incertidumbre y coste de los cambios a lo largo de la vida del proyecto/diseño producto. (Fuente: PMBOK 4ª Ed. 2008) .....	9
Figura 3. Grado de cristalinidad. (Fuente: Rafael Torres Carot. UPV).....	13
Figura 4. Comportamiento de un termoplástico en función de la Temperatura. (Fuente: Rafael Torres Carot. UPV).....	14
Figura 5. Máquina de extrusión. ....	16
Figura 6. Ejemplos de piezas fabricadas por extrusión de plásticos. ....	17
Figura 7. Máquina de moldeo por compresión.....	17
Figura 8. Ejemplo de pieza fabricada por compresión.....	18
Figura 9. Moldeo por soplado .....	18
Figura 10. Moldeo al vacío o termoconformado. ....	18
Figura 11. Tipos de moldeo al vacío.....	19
Figura 12. Calandrado o laminado de plásticos. ....	19
Figura 13. Ejemplos de aplicación de calandrado.....	20
Figura 14. Moldeo rotacional. (Fuente: Maribel Beltrán y Antonio Marcilla. Tecnología de polímeros, departamento de Ingeniería química de la Universidad de Alicante.) .....	20
Figura 15. Ejemplo de pieza fabricada por rotomoldeo.....	21
Figura 16. Impresora 3D. (Fuente: Brian Evans. Practical 3D Printers. The Science and Art of 3D printing. Apress, Nueva York, 2012).....	22
Figura 17. Ciclo de inyección. (Fuente: Geoffrey Boothroyd. Product Design for Manufacture and Assembly. Third edition 2011). ....	23
Figura 18. Esquema de máquina de inyección de plásticos. (Fuente: Francisco Blanco Álvarez. Profesor de la Universidad de Oviedo. Lección 11 – Moldeo por inyección). ....	24
Figura 19. Partes del molde de inyección. (Fuente: Geoffrey Boothroyd. Product Design for Manufacture and Assembly. Third edition 2011) .....	26
Figura 20. Parting line, línea de partición. ....	27
Figura 21. Línea de soldadura, Weld line .....	28
Figura 22. Sink marks, marcas de rechupe.....	28

Figura 23. Citroën Cactus. ....	30
Figura 24. Rejilla frontal Seat León. ....	33
Figura 25. Interfaz de CES EduPack. ....	36
Figura 26. Criterios de selección CES EduPack. ....	37
Figura 27. Selección final del material con CES EduPack. ....	38
Figura 28. Competencias de un software PLM.....	41
Figura 29. Principales sistemas PLM .....	42
Figura 30. Interfaz 3DEXPERIENCE .....	43
Figura 31. 3D Modeling Apps. ....	44
Figura 32. Simulation Apps.....	45
Figura 33. Esquema PLM 3DEXPERIENCE.....	47
Figura 34. Ejemplo de organización archivos 3DEXPERIENCE.....	48
Figura 35. Evolución del diseño del automóvil. ....	49
Figura 36. Part Design tools. ....	49
Figura 37. Funciones de Functional Plastic Parts. ....	50
Figura 38. Representación 3D de restricciones geométricas y dimensionales. ....	51
Figura 39. Aplicación CAE para el llenado del molde en 3DEXPERIENCE.....	53
Figura 40. Análisis de curvatura de la curva guía .....	57
Figura 41. Función Autosmooth.....	58
Figura 42. Superficie exterior de la rejilla. ....	59
Figura 43. Marco exterior de la rejilla .....	59
Figura 44. Segundo paso del modelado de la rejilla .....	60
Figura 45. Diseño final rejilla .....	61
Figura 46. Nervios de la rejilla.....	62
Figura 47. Ángulos de desmoldeo .....	63
Figura 48. Automatic Draft.....	64
Figura 49. Draft analysis.....	65
Figura 50. Diseño final espesor uniforme. ....	66
Figura 51. Análisis del primer diseño. ....	70
Figura 52. Líneas de soldadura del diseño inicial.....	71
Figura 53. Marcas de rechupe en el diseño inicial .....	71
Figura 54. Aire atrapado en el diseño inicial.....	72
Figura 55. Simulación inicial con diseño definitivo .....	74

Figura 56. Distribución de temperaturas en el diseño simplificado .....	74
Figura 57. Líneas de soldadura en el diseño simplificado .....	75
Figura 58. Marcas de hundimiento en el diseño simplificado .....	76
Figura 59. Simulación con dos puntos de inyección .....	76
Figura 60. Distribución de presiones, inyección por dos puntos .....	77
Figura 61. Tensión de cizalladura, inyección por dos puntos .....	77
Figura 62. Líneas de soldadura, inyección por dos puntos .....	78
Figura 63. Distribución de temperaturas en el diseño definitivo.....	79
Figura 64. Líneas de soldadura en el diseño definitivo .....	79
Figura 65. Marcas de hundimiento en el diseño definitivo .....	80
Figura 66. Burbujas de aire en el modelo definitivo .....	81
Figura 67. Simulación de inyección con seis puntos .....	81
Figura 68. Menú interactivo de Plastic Part Injection .....	82
Figura 69. Volumen inyectado por los distintos puntos de inyección .....	83
Figura 70. Tensión de cizalladura al final del ciclo de inyección .....	83
Figura 71. Tiempo de solidificación de los distintos puntos de la pieza .....	84
Figura 72. Elementos de un molde de inyección de plástico .....	85
Figura 73. Posibles sistemas de ataques .....	87
Figura 74. Sistema de distribución del sistema de inyección.....	88
Figura 75. Núcleo y cavidad del molde de la rejilla.....	89
Figura 76. Cálculo del coeficiente $f_p$ según Boothroyd .....	102
Figura 77. Porcentaje de incremento para distintos acabados superficiales .....	102
Figura 78. Porcentaje de incremento para distintos valores de tolerancia .....	103
Figura 79. “Cálculo del coeficiente de complejidad $C_s$ ” .....	105
Figura 80. “Cálculo del coeficiente de tolerancia $C_t$ ” .....	106
Figura 81. “Selección del coeficiente $C_b$ ” .....	107
Figura 82. “Cálculo del coeficiente $C$ ” .....	108
Figura 83. “Coste del material del molde” .....	109
Figura 84. Desglose de costes de la pieza .....	112
Figura 85. Ejemplo de patente, número ES1071266 U. ....	118



Análisis del Proceso de Diseño y  
Optimización de Piezas para el  
Conformado por Inyección de  
Plástico con herramientas PLM  
aplicado al sector de Automoción

# MEMORIA

Daniel Gardel Gómez

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA



# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## **1.1. OBJETIVO DEL DOCUMENTO**

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster es analizar el proceso de diseño para piezas del sector de la automoción fabricadas con material plástico, y en concreto aquellas realizadas mediante el proceso de fabricación de moldeo por inyección, y optimizar este proceso con las distintas herramientas PLM, PDM, CAD/CAE/CAM, etc., que nos ofrece el mercado actualmente.

Para llegar a conseguir alcanzar el objetivo, se va a desarrollar un proyecto académico que consistirá en el diseño de una pieza del sector de la automoción, en concreto la rejilla frontal de un automóvil. Este proyecto está enmarcado en la ingeniería de desarrollo de producto, en concreto, se va a definir lo que se denomina ciclo de vida del producto, que son las distintas etapas o fases por las que pasa el producto, con especial atención y dedicación a la etapa principal de diseño, la etapa de diseño avanzado o diseño de detalle.

Sin embargo, el objetivo no es únicamente conseguir un diseño robusto que garantice un producto final que cumpla todos los requisitos de calidad establecidos, con la realización de este proyecto se pretende entender el concepto de ciclo de vida, comprender como la evolución de la ingeniería tradicional en ingeniería colaborativa ha ayudado a interconectar todas las distintas fases del diseño, consiguiendo reducir los costes asociados al diseño y obteniendo un diseño completo que tiene en cuenta los requisitos y optimiza los procesos de todas las distintas áreas de la empresa.

El concepto y la definición de ingeniería colaborativa nos introduce en la tecnología PLM, un software PLM permite gestionar todos los archivos asociados al producto, si hemos dicho que la ingeniería colaborativa se basa en la coordinación de todos los departamentos de una empresa, es muy importante que todos ellos tengan acceso a un espacio controlado con todos los archivos asociados al proyecto. Ligado al concepto de PLM, en el ámbito de desarrollo de producto, es de vital importancia la existencia de un software PDM, que se encarga de la gestión de los archivos del producto. Por lo tanto, el siguiente objetivo que nos hemos marcado en el desarrollo de este trabajo académico es entender la necesidad de emplear software PDM y PLM para gestionar el ciclo de vida del producto, y usarlos para la realización del caso práctico.

Para el desarrollo de un nuevo producto es necesario apoyarse en herramientas de modelado sólido que nos faciliten la etapa de diseño de producto, los llamados programas CAD, el producto final va a tener que cumplir una serie de requisitos, por lo que será necesario realizar simulaciones de situaciones reales para comprobar que el producto es apto, estas simulaciones se llevan a cabo con la ayuda de programas CAE, y finalmente el producto final va a tener que ser procesado por una determinada tecnología de fabricación en un ambiente controlado, los programas CAM permiten simular los procesos de fabricación para la pieza.

En nuestro caso práctico, el producto a diseñar es un componente del sector del automóvil, las piezas de este sector están compuestas por superficies complejas no regulares, por lo tanto, para el diseño de estas superficies, y de las piezas finales vamos a necesitar el empleo de un potente programa de modelado sólido.

El último aspecto que hay que tener en cuenta es la técnica de fabricación que se va a utilizar para el caso práctico, será un objetivo muy importante el entender el proceso de moldeo por inyección, así como de las consideraciones de diseño que hay que tener en cuenta para optimizar el proceso, y por último tener la capacidad de analizar los resultados, y a través de estos ser capaces de optimizar el proceso modificando los parámetros y la geometría de la pieza.

En resumen, nos hemos marcado como objetivo principal emplear un software PLM, un programa de modelado sólido complejo y distintos programas CAE/CAM, que nos ayuden a verificar la aptitud y robustez del diseño obtenido. En el mercado hay multitud de softwares PLM, varias empresas que han desarrollado sus propios programas de modelado sólido, así como de simulación de entorno y procesos de fabricación, pero para la realización de este trabajo se ha empleado el nuevo producto desarrollado por Dassault Systèmes®, 3DEXPERIENCE. 3DEXPERIENCE es una plataforma de reciente creación que integra todos los programas desarrollados por Dassault (Catia, Enovia, Delmia y Simulia) e incluye un software PLM para la gestión del ciclo de vida del producto. Dada la reciente adquisición de varias licencias en el departamento de diseño avanzado de la Escuela de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Valencia y la entrada de este departamento en un proyecto de colaboración con las Universidades de Madrid y Marsella para el desarrollo de 3DEXPERIENCE, el objetivo final del trabajo es aprender a usar todas las distintas posibilidades que nos ofrece la plataforma.

## **1.2. ALCANCE**

De los objetivos del proyecto extraemos que el caso práctico va a consistir en desarrollar y analizar las distintas fases del ciclo de vida de la rejilla frontal de un automóvil. El ciclo de vida empieza en la fase de análisis, continua con el desarrollo de la pieza, fabricación, comercialización, uso, retirada y gestión del residuo. Sin embargo, son del alcance de este trabajo académico todas aquellas etapas que tengan que ver con el diseño y desarrollo del producto. Dado que el proyecto se corresponde con un trabajo final del máster de ingeniería de tecnologías industriales con especialidad en ingeniería de desarrollo del producto.

En la realización de este trabajo académico se ha intentado desarrollar el proceso tal y como se haría este proceso en el sector empresarial, sector donde se llevan a cabo este tipo de proyectos. Analizando el proceso de desarrollo de este proyecto en el sector empresarial encontramos que el proyecto surge como resultado del diseño y desarrollo de un nuevo modelo de automóvil, una empresa A lanza este proyecto y realiza la fase de análisis y diseño conceptual, y subcontrata el diseño de la pieza a una empresa B, especializada en el diseño de piezas de inyección plástica, y seguramente de rejillas para distintos productos, esta empresa realizará el diseño del producto en colaboración con otras empresas encargadas del diseño de los demás subcomponentes del nuevo modelo de automóvil (ingeniería colaborativa), una vez acabado el diseño la empresa C encarga la construcción del molde a una empresa especialista en el sector, cuando la empresa C ha terminado el proceso de fabricación del molde, y la empresa B ha validado el proceso y el producto, el molde pasa a manos de una empresa D, que se va a encargar de la fabricación en serie de acuerdo a los requisitos definidos por la empresa B.

Como hemos podido observar, hasta que finalmente se ha conseguido obtener el producto final, en el proyecto han participado cuatro empresas distintas con sus distintos equipos de trabajo y seguramente todo este proceso se haya alargado en el tiempo más de medio año. Si el alcance del proceso es el desarrollo de todas esas fases, aunque todas las fases de fabricación se desarrollen únicamente de un modo teórico, ha de aligerarse la carga de trabajo, por lo tanto, es del alcance del trabajo académico el analizar en que consiste el ciclo de vida de un producto, las distintas técnicas de fabricación para materiales plásticos existentes actualmente, prestando especial atención al moldeo por inyección y explicando el motivo de elección de esta técnica de fabricación en nuestro caso práctico, así como, es requisito indispensable para este trabajo académico el obtener un diseño final del producto teniendo en cuenta las distintas consideraciones de diseño a tener en cuenta en las piezas a fabricar con esta técnica de fabricación, también será del alcance de este trabajo definir las características del proceso de fabricación que nos aseguren la calidad total del producto y documentar este proceso con los resultados del análisis en un programa de simulación CAM de llenado de molde, una vez se han definido las características del proceso de fabricación el usuario debe diseñar, desarrollar y analizar el diseño del molde de inyección para la pieza. Y por último, es del alcance de este trabajo que en el presente trabajo se desarrollen todas las competencias descritas anteriormente con el rigor necesario en cuanto a utilizar una adecuada forma de presentación de resultados, una buena estrategia de modelado, obtener resultados coherentes y ser capaz de analizarlos, que caracteriza a la ingeniería de desarrollo de productos.

### **1.3. ANTECEDENTES**

Primero de todo, es necesario introducir que antecedentes se van a tratar en este apartado. Durante este apartado se va a hablar de los antecedentes a este trabajo en cuanto a TFM desarrollados por la Escuela Técnica de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Valencia, no se va a incidir ni en los antecedentes de la ingeniería de desarrollo de productos, ni en los antecedentes de las rejillas de automóvil.

Primero de todo hay que definir las características principales que definen este trabajo académico para poder establecer un criterio de búsqueda en aquellos trabajos previos que puedan haber allanado el camino del nuestro. El trabajo final de Máster consiste en el diseño de una pieza de inyección plástica, con el posterior análisis del proceso de inyección y el diseño preliminar del molde todo ello con la herramienta de diseño y gestión de producto avanzada 3DEXPERIENCE.

En la base de datos podríamos encontrar infinidad de trabajos académicos tanto de grado, máster o proyectos final de carrera que incluyen el diseño de una pieza sin entrar en detalle en el sector, sin embargo, cómo ya se ha comentado antes 3DEXPERIENCE es de reciente creación, y este es el primer TFM que se desarrolla en la escuela con esta herramienta, se puede considerar este TFM como un documento de investigación que sirva de guía a futuros estudiantes que quieran ampliar el estudio de esta herramienta.



# CAPÍTULO 2. PROCESO DE DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS

## 2.1. INTRODUCCIÓN

En el intento de entender cómo funciona el proceso de diseño y desarrollo del producto en el ámbito de la ingeniería industrial, y más concretamente en el mundo de la empresa, tenemos que explicar la diferencia entre ingeniería secuencial, ingeniería concurrente e ingeniería colaborativa.

La ingeniería secuencial o tradicional, es aquella que sigue una progresión lineal, la empresa por medio del departamento de marketing recibe la oportunidad de mercado y define las características que ha de cumplir el nuevo producto/proyecto, la información pasa al departamento de I+D, en el cual, es una persona o un equipo reducido los que desarrollan el nuevo producto, diseño, planos, especificaciones, etc., una vez finalizado, el proyecto pasa al departamento de fabricación, que se encarga de la fase de fabricación, una vez terminado es el departamento comercial, el que se encarga de la gestión de venta del producto.

El uso de esta ingeniería conlleva multitud de inconvenientes, como pueden ser:

- Falta de información, o información errónea al realizar el traspaso de información entre las diferentes etapas.
- Poca integración entre las distintas etapas.
- Aparición de costes no esperados, debido a los cambios que afectan a varias etapas y varios departamentos.

Por otro lado, encontramos la ingeniería concurrente, creada al final de la década de los 80, en 1992, se crea el “Concurrent Engineering Research Center” (CERC), el cual define ingeniería concurrente de la siguiente manera:

*“Enfoque de desarrollo integrado del producto capaz de resolver las demandas de los clientes y reforzar los valores del trabajo en equipo, como son la cooperación, la confianza y el intercambio de datos; de manera que la toma de decisiones se realiza en un proceso en el que las distintas áreas del ciclo de vida del producto trabajan en paralelo, se produzca de forma sincronizada asegurando el intercambio constante de información y basándose en el consenso.”*

De la mano de la ingeniería concurrente, encontramos la ingeniería colaborativa, la ingeniería colaborativa integra mediante las nuevas tecnologías las distintas partes implicadas en un proyecto, proveedores, consumidores, y distintos departamentos de la empresa para que todas ellas tomen partida en las distintas etapas del ciclo de vida. En la Figura 1 podemos ver el concepto de empresa extendida, basado en la ingeniería colaborativa.

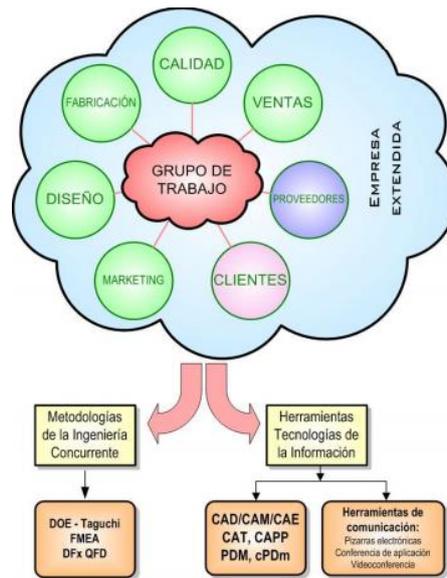


Figura 1. Empresa extendida según la Ingeniería colaborativa. (Fuente: Contero, 2005)

Mediante el uso de estos dos tipos de ingeniería, podemos observar las siguientes ventajas en comparación con la ingeniería tradicional:

- Tanto el tiempo de desarrollo de producto como los costes se ven reducidos notablemente.
- Hay un aumento de calidad en el producto.
- La integración, de todos los distintos departamentos, proveedores, etc., se traduce en una reducción del número de cambios, y por consiguiente, un ahorro en el coste total del producto.

La integración en la fase de diseño de proveedores, clientes, y los distintos departamentos requiere de una tecnología de soporte, que permita una fácil e intuitiva gestión de la información, permitiendo a los distintos implicados trabajar en equipo inclusive sin tener que estar físicamente en el mismo lugar, todo esto es gestionado a través de un software de gestión de datos asociados al ciclo de vida del producto, PLM.

Todo esto no significa que en la ingeniería concurrente no se sigan una serie de pasos, y etapas al igual que en la ingeniería tradicional, se ha explicado el concepto de ciclo de vida y las etapas de ese ciclo de vida, el cual es aplicable tanto a proyectos, productos, ...

## 2.2. CICLO DE VIDA DE UN PRODUCTO

Durante el apartado introductorio se ha hecho referencia en varias ocasiones al ciclo de vida del producto, si atendemos a la definición:

*“El ciclo de vida de un producto es el conjunto de etapas que recorre un producto individual (o conjunto interrelacionado de componentes físicos o intangibles) destinado a satisfacer una necesidad desde que este es creado hasta su fin de vida”*

Han sido numerosos los estudios que se han hecho a lo largo del tiempo sobre cuáles son las distintas etapas del producto a lo largo de su vida, haciendo un resumen entre los distintos estudios hechos por diversos autores, como Cergo o Riba, se puede decir que las distintas etapas son:

- **Fase inicial o fase de análisis:** consiste en definir el producto o proyecto que se va a acometer, y una vez este esté definido, en esta primera etapa se van a realizar una serie de estudios preliminares acerca del producto. Estos estudios estarán relacionados con posibles patentes existentes, estudios de mercado, estudios de opinión, marco legislativo, etc. En muchas ocasiones un nuevo producto o un nuevo proyecto no llega a ir más allá de esta fase inicial pues los propios estudios preliminares desaconsejan seguir con el diseño.
- **Diseño conceptual:** durante esta etapa pasamos de una idea, algo abstracto, hasta algo más complejo que puede ser un primer diseño o boceto, en esta primera etapa de diseño se establecen las primeras consideraciones de diseño y requisitos que se han de tener en cuenta para el desarrollo del producto final.
- **Diseño de detalle:** son todas aquellas actividades dedicadas a definir completamente tanto el producto como el método de fabricación, son actividades características de esta etapa, el modelado sólido, las posibles simulaciones dinámicas del producto, o las simulaciones del proceso, el resultado final de esta etapa debe ser un diseño y un proceso de fabricación robustos que nos aseguren que la pieza cumple con los requisitos establecidos en las fases iniciales.
- **Etapa de fabricación o producción:** esta etapa se alargará mientras el producto siga comerciándose, es necesario asegurar que dicho producto cumple con los estándares de calidad desde la primera fabricación hasta la última, para ello hay que ser muy exhausto con el método de fabricación.
- **Comercialización:** consiste en la venta física del producto, esta etapa realmente se lleva a cabo desde el momento inicial, es necesario tener una previsión de ventas para poder acometer un diseño.
- **Fin de vida y retiro:** esta etapa ha aumentado su importancia con el paso del tiempo, la creciente preocupación tanto por el medio ambiente como por el creciente consumo irresponsable, han hecho que se pase únicamente de usar técnicas de diseño para fabricación y montaje (DFMA), a técnicas que incluyen conceptos como el desmontaje de la pieza o la reciclabilidad del producto. Hoy en día hay multitud de organizaciones y normativas a cumplir al respecto, las pautas a seguir en el fin de vida son las siguientes:
  - Reutilización del producto, una vez el producto llega al fin de vida para un usuario, si el producto está en condiciones de ser reutilizado, se intentará que el producto continúe su vida útil.
  - Reacondicionamiento del producto, en caso de que el producto este lo suficientemente deteriorado para continuar realizando sus funciones, se ha de procurar intercambiando algunas piezas que este vuelva al mercado, esto es muy común en las nuevas gamas eco de algunas marcas de impresoras.
  - Reciclar el producto y sus componentes, intentar dar un nuevo uso a los distintos subcomponentes del producto, de no ser posible se intentará reciclar las materias primas de dichos subcomponentes.
  - De no ser posible realizar ninguno de los puntos anteriores, se incinerará el producto con el fin de obtener energía útil, y finalmente se tratará de eliminar de forma segura.

Conviene señalar que la preocupación por el medio ambiente actualmente no se da únicamente en la etapa final del ciclo de vida del producto, hoy en día existen métodos y

herramientas para el análisis del ciclo de vida, como pueden ser los ACV o la rueda de estrategias de Brezet y Van Hemel, con el objetivo de reducir el impacto ambiental del producto desde su etapa inicial. A continuación se van a desarrollar aquellas etapas a realizar en el caso práctico de este trabajo académico.

### **2.3. FASE DE ANÁLISIS**

Es la primera fase del desarrollo del producto, esta fase también es conocida como identificación de la necesidad, consiste en identificar mediante estudios de mercado, y una serie de parámetros que varían en función del tipo de producto, el tipo de empresa, los intereses de esta..., las diferentes características que tienen los distintos productos existentes en el mercado.

Al mismo tiempo que se realiza el análisis de las soluciones que ofrecen los productos de la competencia, se recauda información relacionada con el producto, sobre todo información relacionada con las patentes que existen del producto, las diferentes normativas que se aplican al sector y las certificaciones que el producto tendrá que pasar para poder salir al mercado. Con respecto a todo este tema de legislación, es muy importante, aunque no siempre es posible definirlo, indicar en que mercados y países se va a comercializar el producto, pues en función del país las normativas variarán.

En resumen, en la fase de análisis se tiene que definir el producto que se va a desarrollar, las características más básicas que deberá de cumplir y a quién va a ir dirigido, así como, la fase de análisis debe proporcionar un claro estudio sobre el marco legislativo que rodea al sector y al producto.

### **2.4. DISEÑO CONCEPTUAL**

Con el desarrollo de la ingeniería concurrente y colaborativa esta fase del ciclo de vida del producto ha tomado una mayor importancia de la que tenía hasta ese momento. En la ingeniería tradicional la etapa de diseño conceptual consistía principalmente en aquellos bocetos que el diseñador realizaba como guía de lo que iba a ser en un futuro el producto, era una etapa muy breve, que en ocasiones ni se realizaba y se pasaba directamente a la etapa de diseño de detalle.

Sin embargo, ya hemos visto como dedicar una mayor parte de tiempo en las primeras etapas del diseño, para definir bien todos aquellos parámetros necesarios, supondrá un gran ahorro en el producto, actualmente también son característicos los bocetos y primeros diseños de esta etapa, pero la involucración de todos los departamentos y la colaboración entre ellos en todas las fases del producto, hacen que durante esta fase se produzcan multitud de reuniones con el objetivo de definir todas las características necesarias que ha de cumplir el producto.

Cada departamento ofrecerá información importante para el producto final, el departamento comercial dará indicaciones de las tendencias del mercado en cuanto acabados, medidas, volúmenes..., el departamento de compras monetizará aproximadamente las distintas alternativas propuestas, el departamento de producción buscará que el diseño del producto cumpla con los estándares más avanzados del DFMA (Design for manufacturing and Assembly), de tal manera que se reduzcan los tiempos de producción y ahorren grandes cantidades de dinero, finalmente la dirección de la empresa dará el visto bueno a las pautas de diseño a seguir.

## 2.5. DISEÑO DE DETALLE

Es la etapa principal del proceso de diseño, durante ella se definen tanto la forma como las propiedades del producto con la ayuda de programas de diseño. Consiste en transformar todas las ideas, bocetos y requisitos técnicos de la etapa de diseño conceptual en un producto final que asegure la calidad total del producto.

Como se ha indicado en la etapa introductoria del capítulo, la ingeniería colaborativa requiere de equipos multidisciplinares trabajando juntos, pero geográficamente dispersos a la vez. El motivo de que el equipo sea multidisciplinar es tener una visión global en todo momento.

Dentro de la etapa de diseño de detalle no hay un orden cronológico de pasos a seguir, ni siquiera se han de seguir los mismos pasos siempre, pero hay una serie de tareas que son comunes en esta fase:

- Realización del modelo 3D.
- Realización de un prototipo, con el avance de la tecnología los prototipos virtuales sustituyen a menudo a los prototipos físicos.
- Realizar simulaciones sobre dichos prototipos, estas simulaciones pueden consistir en simulaciones del proceso de fabricación, como puede ser una simulación del llenado de molde en un proceso de inyección plástica, o bien simulaciones mecánicas sobre la pieza.
- Una vez finalizado el diseño y las simulaciones hay que proceder con la validación del diseño y proceso final.

Una vez se han expuesto las tareas a realizar, es necesario explicar cuáles van a ser las herramientas que nos van a ayudar en esta etapa. Durante las distintas etapas del proceso de diseño y fabricación se tendrá que realizar un diseño 3D, una maqueta digital, simulaciones sobre el producto, análisis sobre el proceso de fabricación, simulaciones sobre el proceso de fabricación, etc. Como se ve representado la Figura 2, invertir tiempo en las etapas iniciales de diseño para conseguir un diseño robusto sobre el que no sea necesario realizar ningún cambio en las etapas posteriores, nos ahorrará dinero en el futuro. Por ello, se ha de tratar de aprovechar todas las herramientas informáticas y físicas que nos ayuden en este proceso de robustecer el diseño y a identificar los cambios necesarios sobre el diseño en las primeras etapas del ciclo de vida del producto.

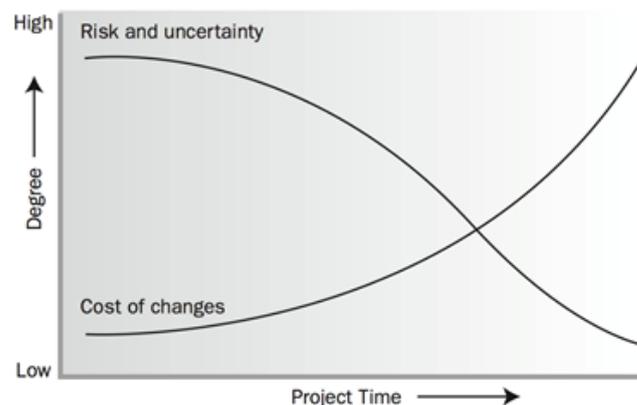


Figura 2. Riesgo, incertidumbre y coste de los cambios a lo largo de la vida del proyecto/diseño producto.

(Fuente: PMBOK 4ª Ed. 2008)

El desarrollo de los programas CAD/CAM/CAE en los últimos años ha supuesto un gran ahorro en los costes del producto, esto es debido a que estos programas permiten simular en un entorno virtual la mayoría de situaciones que a posteriori se darán sobre el producto. A continuación, se expone la diferencia entre un programa CAD, CAM o CAE:

Las dos primeras siglas CA, significan Computer aided, que traducido quiere decir ayuda a través del ordenador, es la última sigla la que marca la diferencia:

- **CAD** (Computer Aided Design): probablemente el más extendido de los tres, los programas CAD nos sirven de ayuda a la hora de diseñar sobre un ordenador cualquier producto, a través del modelado de sólidos 3D, y a su vez nos permiten ensamblar los distintos subcomponentes verificando así el futuro montaje en producción.
- **CAE** (Computer Aided Engineering): son programas que nos ayudan a conocer los parámetros físicos que va a tener el producto final, programas de análisis de elementos finitos, programas de simulación de choques, etc.
- **CAM** (Computer Aided Manufacturing): el programa CAM más extendido es aquel que nos permite realizar simulaciones de centros de mecanizado, pero se considera un programa CAM cualquiera que nos ayude a mejorar el proceso de producción, programas que desarrollan el Lean Manufacturing, programas de simulación de procesos, simulación de llenado de molde e incluso la creación de una fábrica virtual que nos permite la simulación de todo el proceso productivo.

Otro aspecto fundamental que desarrollar en esta etapa son los planos de los componentes, tan importante es realizar el diseño del objeto como documentar este sobre planos. Los planos representan todas aquellas restricciones geométricas y dimensionales para tener en cuenta en el producto, es cierto que, en la actualidad, para la mayoría de las gestiones únicamente se hace uso del documento 3D.

Cualquier proceso de fabricación lleva asociada una tolerancia, por lo que, a la hora de diseñar un nuevo producto, has de ser capaz de identificar primero, cuáles van a ser las cotas críticas del producto, aquellas de las cuales dependa el montaje o el resultado final, una vez identificadas, el siguiente paso será definir la tolerancia admisible para dichas cotas, así mismo, para todas las demás restricciones será necesario indicar una tolerancia general.

El plano no deberá incluir únicamente la representación del objeto con sus restricciones geométricas y dimensionales, sobre el plano debe ir indicado el material de la pieza, el nombre comercial, el código asociado a ella, la fecha de revisión del plano, quién es el responsable de dicho plano, la escala y finalmente las normativas usadas sobre él.

# CAPÍTULO 3. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE PIEZAS DE PLÁSTICO

## 3.1. INTRODUCCIÓN

Lo primero que hay que definir, si se van a explicar las distintas técnicas de fabricación de piezas de plásticos, es qué es un material plástico: los plásticos son aquellos materiales que, compuestos por resinas, proteínas y otras sustancias, son fáciles de moldear y pueden modificar su forma de manera permanente a partir de una cierta compresión y temperatura.

Podemos decir que hay tres tipos de materiales plásticos:

- **Termoestables:** son aquellos, cuyas propiedades físicas dependen de una reacción química, los termoestables se pueden transformar tras ser calentados, pero una vez rigidicen, si volvemos a calentar el material este romperá.
- **Termoplásticos:** por el contrario, un material termoplástico es aquel que puede ser moldeado bajo la aplicación de calor varias veces, sin perder sus propiedades físicas.
- **Elastómeros:** su principal propiedad física, es que se deforman bajo presión (especialmente trabajan bien a tracción y contracción), y una vez se deja de ejercer la presión, el material recobra su forma inicial.

El caucho de los neumáticos o el neopreno son ejemplos de este tipo de plástico.

Como se puede observar los distintos tipos de materiales plásticos, tienen características muy distintas, por lo tanto, cada uno se usará en aplicaciones muy distintas, y a cada uno se le aplicará un proceso de fabricación distinto.

En este trabajo nos vamos a centrar en los dos grandes grupos, que son los termoplásticos y los termoestables.

## 3.2. HISTORIA DEL PROCESADO DE MATERIALES PLÁSTICOS

La historia de los materiales plásticos viene marcada por tres hechos principales:

- En 1866, y como resultado de un concurso, que buscaba un material sustituto del marfil para las bolas de billar, John Wesley Hyatt desarrolló el celuloide disolviendo celulosa en una solución de alcanfor y etanol
- En 1907, el químico norteamericano de origen belga Leo Hendrik Baekeland sintetizó un polímero de gran interés comercial a partir de moléculas de fenol y formaldehído. Se le bautizó con el nombre de baquelita, y fue el primer plástico sintético de toda la historia.
- En 1920 el químico alemán Hermann Staudinger desarrolla la teoría de las macromoléculas, más conocidas como polímeros.

Estos son los 3 hechos más importantes en la historia de los materiales plásticos, en la Tabla 1 podemos ver en una evolución cronológica distintos hechos importantes en la historia de los termoplásticos.

<b>Año</b>	<b>Hechos</b>
<b>1862</b>	Alexander Parkes inventa el primer plástico fabricado por el Hombre: Parkesine.
<b>1866</b>	John Wesley Hyatt inventa el celuloide que permite reemplazar al marfil para fabricar las bolas de billar.
<b>1872</b>	Se realiza en laboratorio la primera polimerización del Cloruro de Vinilo obteniendo así el PVC - Policloruro de Vinilo (Baumann)
<b>1907</b>	Creación de la Baquelita: el primer plástico completamente sintético, termorígido, resistente a la electricidad, químicamente inerte, resistente al calor, irrompible. Es descubierto por Leo Baeckland.
<b>1912</b>	Klatte (USA) patentó el 1º proceso de polimerización del PVC por método de emulsión.
<b>1913</b>	Producción en masa del celofán despierta el furor por el plástico.
<b>1920</b>	Herman Staudinger desarrolla la teoría de las macromoléculas, más conocidas como "polímeros".
<b>1927</b>	Comienza la producción de PVC a escala mundial.
<b>1933</b>	Se descubre el segundo gran termoplástico: Polietileno - PE.
<b>1938</b>	El Teflón, descubierto por Roy Plunkett, permite la producción de ollas y sartenes para que no se pegue la comida.
<b>1939</b>	Se inventa el tercer gran termoplástico: Poliestireno - PS.
<b>1947</b>	Primeros discos de vinilopermiten la difusión a gran escala de la música.
<b>1953</b>	Herman Staudinger obtiene el Premio Nobel por su teoría de los Polímeros.
<b>1954</b>	Polipropileno - PP: el cuarto gran termoplástico hace su aparición.
<b>1971</b>	Se inventa el Disquete hecho con film metalizado de poliéster.
<b>1975</b>	El quinto gran termoplástico, PET, Polietilentereftalato. Su aplicación en botellas para gaseosas es inventada por Nathaniel C. Wyeth.
<b>1983</b>	Aparecen los primeros CD's hechos con Policarbonato.
<b>2000</b>	El plástico es considerado uno de los 50 grandes inventos hechos durante el siglo XX según la revista Newsweek.

Tabla 1. Historia de los plásticos. (Fuente: Apme/2000 "Annual Report").

### 3.3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES

Como hemos comentado anteriormente, serán del alcance de este trabajo los dos principales grupos de plásticos, termoplásticos y termoestables.

La principal característica de los materiales plásticos es que son fácilmente moldeables mediante la aplicación de calor. Esto nos permite generar multitud de formas complejas, de una manera sencilla.

En función del tipo de plástico tiene una serie de características y propiedades distintas.

#### 3.3.1. Termoplásticos

Al igual que hemos hecho con los materiales plásticos en general, lo primero que vamos a hacer es buscar la definición de material termoplástico, *“un termoplástico es un material que, a temperaturas relativamente altas, se vuelve deformable o flexible, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado de transición vítrea 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 de Van der Waals débiles (polietileno); fuertes interacciones dipolo-dipolo y enlace de hidrógeno, o incluso anillos aromáticos apilados (poliestireno). Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables o termofijos en que después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos”*.

Como dice la definición, un material termoplástico es un polímero, que posee una serie de cadenas asociadas por medio de fuerzas de Van der Waals, en función de cómo estén organizadas estas cadenas podremos distinguir entre:

- **Termoplásticos de estructura amorfa:** las cadenas no siguen ningún tipo de orden, las cadenas se pueden asemejar a un conjunto de cables enredados.
- **Termoplásticos de estructura cristalina:** la organización opuesta, las cadenas se organizan de forma ordenada y consiguen formar una estructura compacta.

Esta diferencia de estructura se puede observar en la Figura 3.

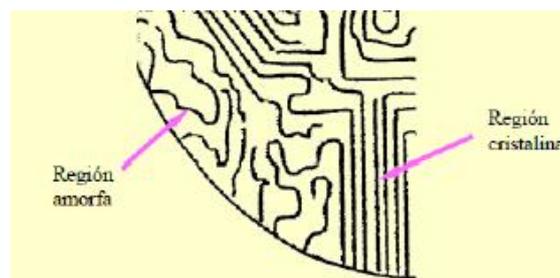


Figura 3. Grado de cristalinidad. (Fuente: Rafael Torres Carot. UPV)

Podemos concluir que la característica más importante de los materiales plásticos es su comportamiento en función de la temperatura a la que son sometidos, es decir, a que temperatura hay que calentar el material para que este se vuelva líquido y cuanto es necesario enfriar, para solidificar y obtener una pieza rígida.

A la temperatura, a partir de la cual el polímero se vuelve líquido se le conoce con el nombre de temperatura de fusión  $T_f$ . Y se denomina temperatura de transición vítrea, a partir de la cual, si

continúa disminuye la temperatura el material se asemeja a lo que entendemos por un material cristalino, duro y frágil.

En la Figura 4, aparece representado cómo se comporta el material, en un gráfico esfuerzo – deformación.

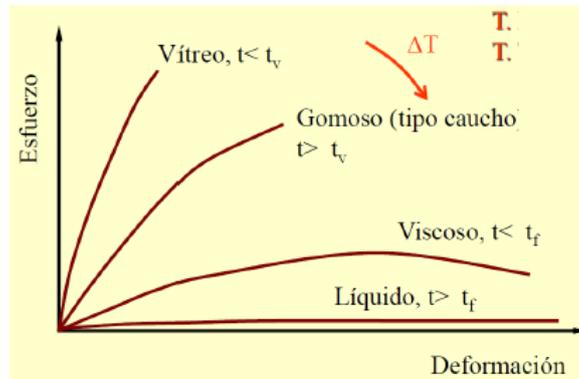


Figura 4. Comportamiento de un termoplástico en función de la Temperatura. (Fuente: Rafael Torres Carot. UPV)

A continuación, se van a presentar los principales tipos de materiales termoplásticos que se usan en aplicaciones industriales:

Principales ejemplos de polímeros con estructura amorfa:

- **Poliestireno (PS):** polímero obtenido a partir del estireno, existen 4 tipos principales, poliestireno de cristal, rígido y quebradizo, como ejemplo de uso, cajas de CD, o cubertería de plástico; poliestireno de alto impacto, de gran resistencia y opacidad, de gran uso en la industria del juguete, o incluso en la del automóvil; poliestireno expandido, muy ligero, comúnmente conocido como “corchopan”, muy usado en embalaje; y finalmente poliestireno extruido, similar al expandido pero más denso e impermeable, se usa principalmente como aislante.
- **Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS):** su principal característica, es que es muy resistente al impacto, hace que este material sea muy utilizado en el sector de automoción.
- **Polimetilmetracilato (PMMA):** polímero obtenido a partir del metilmetacrilato, altamente transparente, rígido y frágil, lo que hace de este material un sustituto del cristal.
- **Policloruro de vinilo (PVC):** plástico altamente utilizado, cuyas principales características son la resistencia, rigidez y una alta dureza mecánica. Se usa en tuberías, botellas, y en multitud de aplicaciones.

Principales ejemplos de polímeros con estructura cristalina:

- **Poliétileno (PE):** polímero obtenido a partir del etileno, se puede clasificar en polietileno de alta (HDPE) o baja densidad (LDPE), en función de si es de alta o baja densidad presentará una serie de propiedades distintas, el polietileno de alta densidad es usado en la fabricación de contenedores, botellas de lejía, componentes químicos, ... y el polietileno de baja densidad, se usa en aplicaciones que requieren de una menor resistencia como bolsas de basura.

- **Polipropileno (PP):** polímero obtenido a partir del propileno, sus principales características, excelente resistencia a agentes químicos, fácil moldeo, y alta resistencia a fractura por flexión y fatiga hacen que este polímero sea altamente utilizado en cuerdas, en el sector alimenticio en fiambreras, ...

### 3.3.2. Termoestables

El segundo gran grupo de plásticos son los termoestables, *“Los polímeros termoestables son polímeros infusibles e insolubles. La razón de tal comportamiento estriba en que las cadenas de estos materiales forman una red tridimensional espacial, entrelazándose con fuertes enlaces equivalentes. La estructura así formada es un conglomerado de cadenas entrelazadas dando la apariencia y funcionando como una macromolécula, que, al elevarse la temperatura de ésta, simplemente las cadenas se compactan más, haciendo al polímero más resistente hasta el punto en que se degrada”*.

Como se ha comentado en la definición de termoestable, la principal característica de este tipo de plásticos es que sus propiedades físicas dependen de una reacción química, y a diferencia de los termoplásticos estos no pueden ser calentados y transformados varias veces.

La forma más común de encontrarnos los materiales termoestables es una mezcla de dos compuestos, un material que proporciona dureza y un material de refuerzo, de origen orgánico como pueden ser las fibras.

Ejemplos de plásticos termoestables son las resinas fenólicas, las resinas epoxi, poliésteres y ureas.

## 3.4. TÉCNICAS DE FABRICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS

### 3.4.1. Introducción

En este apartado se van a tratar las distintas técnicas existentes en la actualidad, para el procesado de los materiales plásticos, una vez conozcamos las distintas técnicas, estaremos en disposición de escoger la más adecuada para nuestro diseño.

Como ya se ha comentado en anteriores apartados, el diseño y desarrollo de productos se compone de una fase inicial de análisis, una etapa de diseño conceptual seguida del diseño de detalle, para posteriormente pasar a la etapa de fabricación.

El responsable del diseño del producto ha de ser capaz de integrar las distintas etapas del desarrollo del producto, es decir, se ha de diseñar un producto que posteriormente ha de ser fabricado. El diseñador ha de ser consciente de la tecnología existente, para realizar un diseño que sea viable técnica y económicamente. En la actualidad existen programas de diseño capaces de generar formas muy complejas, y en ocasiones se puede llegar a realizar un diseño, que posteriormente no sea posible fabricar.

En la primera fase de análisis, se van a identificar las distintas necesidades que el producto va a tener que cubrir, durante esta fase se van a definir las distintas características del producto. En la etapa de diseño conceptual, se va a intentar diseñar a modo de boceto, en que va a consistir el producto a desarrollar. Y finalmente, es en la etapa de diseño de detalle, cuando el ingeniero, ha de definir todos los detalles del producto, material, características de diseño, técnica de fabricación, ... en este trabajo académico es la etapa que vamos a desarrollar.

Está claro que las técnicas de fabricación van a depender de las propiedades y características del material, y como ya hemos comentado antes, en este capítulo vamos a describir las distintas técnicas existentes para los materiales termoplásticos.

### 3.4.2. Técnicas de fabricación en materiales plásticos

Para poder explicar las distintas técnicas de fabricación, primero tenemos que exponer otra vez ciertas características de los plásticos que nos van a permitir entender cómo funcionan los distintos procesos.

Una de las principales características, que no es una propiedad física es el bajo coste de los productos plásticos, todos los procesos han de ser procesos con un elevado nivel de producción, para poder rentabilizar el coste de los procesos de fabricación, el volumen de consumo ha de ser elevado.

La principal propiedad física, es que son fácilmente moldeables, a altas temperaturas el material se vuelve deformable y flexible, lo que permite durante este tiempo que el material adopte formas complejas, que se mantienen una vez se enfría el material. Esta propiedad nos hace indicar que la mayoría de las técnicas de fabricación, van a ser técnicas mediante las cuales se va a obtener la forma final de la pieza en una única etapa.

Otra propiedad física muy importante de los plásticos es que son materiales elásticos y flexibles, esta propiedad nos va a permitir obtener formas laminadas, perfiles, ...

Sin más dilación, vamos a pasar a presentar las distintas técnicas de fabricación.

#### 3.4.2.1. Extrusión

Como podemos ver en la Figura 5, el material en forma de grano entra por una tolva, y se hace pasar a través de un tornillo sin fin por un cabezal que contiene la forma final de la pieza. Mediante esta técnica se generan secciones transversales continuas y uniformes.

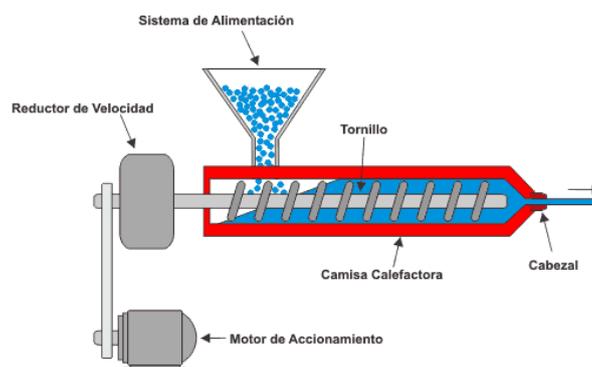


Figura 5. Máquina de extrusión.

En función de la estructura del polímero, tendrá una serie de características distintas, si se trata de un polímero con estructura cristalina, en el proceso de extrusión se produce la fusión y en los polímeros de estructura amorfa, su reblandecimiento elevando la temperatura por encima de la temperatura de transición vítrea.

El tornillo sin fin de extrusión tiene tres zonas claramente diferenciadas, una primera zona de alimentación, en la cual se introduce el polímero; una segunda zona de compresión o transición

y una zona final, con la función de suministrar una mezcla homogénea a la cabeza extrusionadora.

Ejemplos de productos fabricados con esta técnica son perfiles, tuberías, ... Piezas de gran longitud con buenas características de elasticidad, flexibilidad, etc.

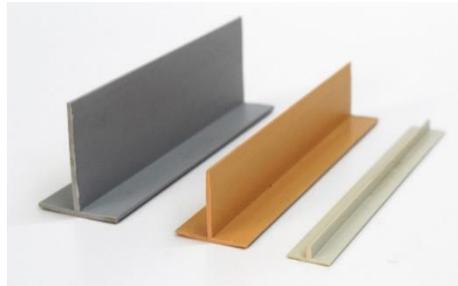


Figura 6. Ejemplos de piezas fabricadas por extrusión de plásticos.

### 3.4.2.2. Compresión

Podemos asimilar este proceso de fabricación de productos plásticos, a la técnica de compresión usada para metales.

Como podemos observar en la Figura 7, se introduce el material plástico directamente en un molde, el cual se calienta hasta que el material obtiene cierta temperatura, en ese momento se cierra el molde obteniendo así la pieza final. Este proceso es un proceso mucho más lento que pueda ser la inyección plástica, pero se pueden obtener piezas con mejor rigidez y mejores acabados.

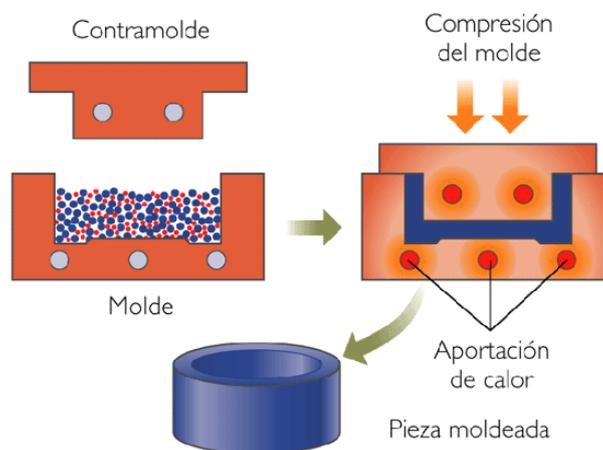


Figura 7. Máquina de moldeo por compresión

Ejemplos de productos fabricados por esta técnica son piezas simples, de geometría simple, como pudiese ser un tapón.



Figura 8. Ejemplo de pieza fabricada por compresión

### 3.4.2.3. Soplado

Como podemos ver en la Figura 9, este proceso se usa principalmente en la fabricación de botellas de plástico, a través de una preforma. La preforma se introduce dentro de un molde, e inyectando aire a presión se consigue que el polímero se adhiera a las paredes obteniendo la forma final deseada.

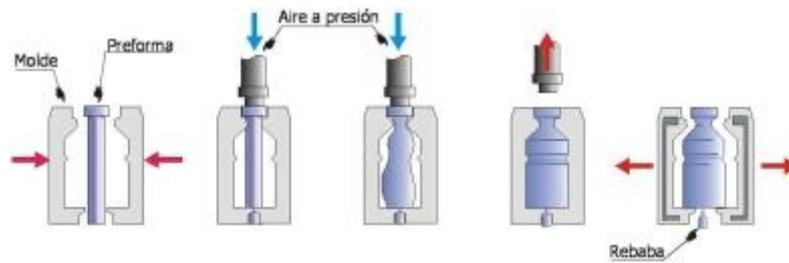


Figura 9. Moldeo por soplado

### 3.4.2.4. Conformado al vacío o termoconformado

Podríamos considerar esta técnica el proceso opuesto al soplado, en el moldeo por soplado se inyecta aire a presión en una preforma, con el objetivo de que el material plástico se adhiera a las paredes.

En esta técnica, como se puede observar en la Figura 10, a través de una lámina caliente, desde las paredes del molde, se genera aire en succión hasta que la lámina se adhiere por completo a las paredes.

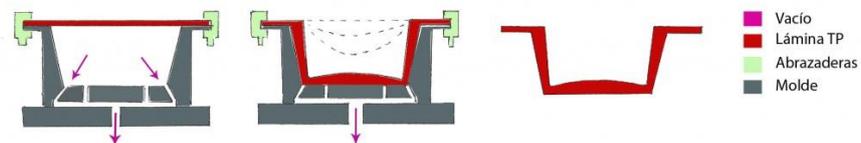


Figura 10. Moldeo al vacío o termoconformado.

La Figura 11, muestra las dos posibles configuraciones de termoconformado, la imagen superior muestra el molde positivo, donde es el propio molde el que sube sobre una lámina de plástico en caliente, o la imagen inferior que muestra el molde negativo, en este caso, el molde dispone de agujeros por donde succiona aire haciendo que sea la lámina de plástico en caliente la que se adhiera al molde.

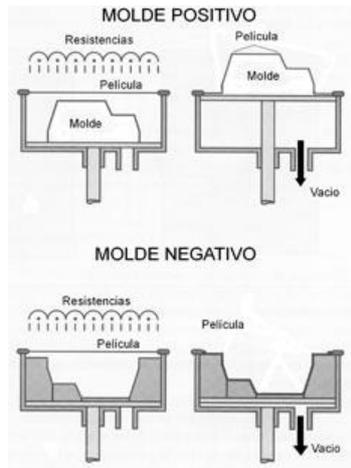


Figura 11. Tipos de moldeo al vacío.

Como ejemplo de esta técnica, se pueden producir piezas del tamaño de un cenicero, o piezas más grandes como una cuba de agua.

#### 3.4.2.5. Laminado o calandrado

Es la misma técnica que se usa en metales, el producto final es una lámina de material plástico, muy utilizado en el sector del caucho. Como se puede observar en la Figura 12, el polímero pasa a través de la calandria, y tras atravesar una serie de rodillos, el polímero se acumula en unas bobinas.

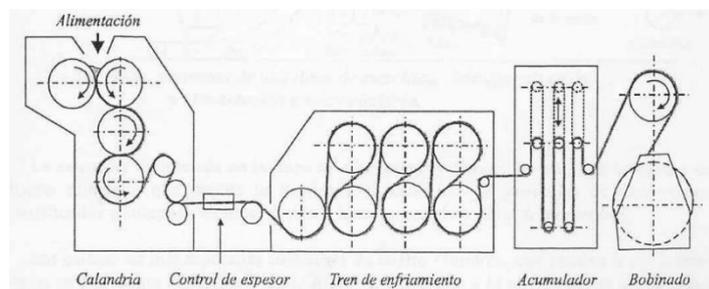


Figura 12. Calandrado o laminado de plásticos.

Como se ha comentado, el calandrado se utiliza en el sector del caucho, en el sector del embalaje, para la fabricación de films protectores, etc.



Figura 13. Ejemplos de aplicación de calandrado.

#### 3.4.2.6. Moldeo rotacional o rotomoldeo

Mediante el moldeo rotacional, o como es comúnmente conocido, rotomoldeo, se pueden fabricar piezas de plástico huecas, al igual que en el moldeo por soplado, pero con la diferencia de que mediante esta técnica podemos obtener piezas con una geometría más compleja y con un volumen ligeramente mayor.

Como podemos ver en la Figura 14, el material se introduce en un molde frío, el molde empieza a girar a la vez que se van calentando las paredes de este, el material se adhiere a las paredes del molde generando una figura hueca, posteriormente el molde se va enfriando para poder extraer la pieza. Una vez fuera del molde la pieza continua caliente y sigue contrayendo.

Este proceso es mucho más lento que el soplado, y a su vez mucho menos preciso, el molde se dimensiona sobre un 3% más grande, con el objetivo de obtener las medidas nominales una vez acabe de conformar. El rotomoldeo es capaz de garantizar tolerancias cercanas a un 0,6% de la medida nominal.

La principal desventaja de este proceso es que es un proceso lento, para fabricar un contenedor de basura pequeño, aproximadamente demoraríamos una hora del molde girando, y a esto hay que sumarle los tiempos de pre y postfabricación.

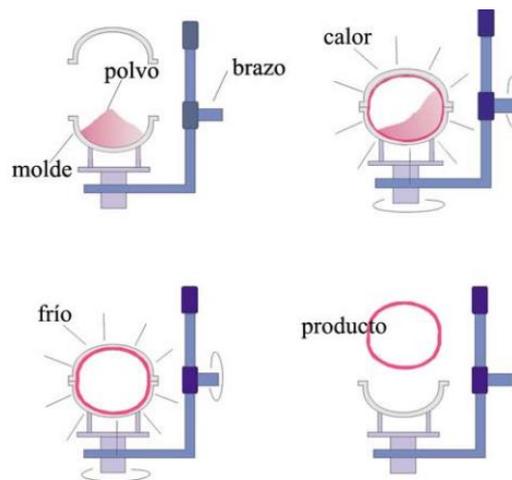


Figura 14. Moldeo rotacional. (Fuente: Maribel Beltrán y Antonio Marcilla. Tecnología de polímeros, departamento de Ingeniería química de la Universidad de Alicante.)

Esta técnica está actualmente en auge, inicialmente con esta técnica se fabricaban únicamente piezas, de un volumen considerable como contenedores, pero últimamente con esta técnica se están produciendo elementos de jardín, sillas, o carros de supermercado.



Figura 15. Ejemplo de pieza fabricada por rotomoldeo.

#### 3.4.2.7. Impresión 3D

Probablemente la técnica de fabricación que está en mayor desarrollo actualmente, lo que inicialmente empezó como una técnica de prototipado rápido, se ha convertido en mucho más, hasta el punto de que actualmente se puede llegar a imprimir hasta casas.

Lo primero que tenemos que hacer es definir que es la impresión 3D, la impresión 3D es aquella técnica que mediante un diseño 3D en ordenador, en un formato universal, como puede ser STL o OBJ. se transforma en un objeto real.

Como ya se ha comentado, esta técnica encuentra su principal aplicación en el prototipado rápido. Vamos a definir que es el prototipado rápido y porque la impresión 3D es una técnica perfecta para ello. *“El prototipado rápido es un proceso utilizado para fabricar artículos de plástico, metal o cerámica. También conocido por su nombre en inglés como "additive technology", ya que su proceso de fabricación es ir añadiendo material capa a capa. En algunos casos con propiedades físicas que son similares a lo que se producirían por métodos convencionales”*.

¿Dónde se emplea el prototipado rápido? Una vez se ha definido por completo la fase de diseño de detalle, la siguiente fase consiste en la evaluación y validación del diseño. En la mayoría de los casos las piezas diseñadas son piezas cuya fabricación va a ser en serie, moldeo por inyección, moldeo por soplado, ..., aunque hoy en día el prototipo virtual ha avanzado mucho, en la mayoría de los casos es necesario realizar pruebas con modelos físicos. Es obvio que no es viable realizar un molde cada vez que se quiera realizar una prueba con un modelo físico, sin embargo, gracias al prototipado rápido se puede producir piezas de cualquier geometría con características muy similares a las que tendría el producto final.

La impresión 3D de plásticos, es una técnica de prototipado rápido muy sencilla y con un relativo bajo coste, como se puede observar en la Figura 16, el funcionamiento es bastante simple, desde una bobina el material plástico llegaría a la cabeza de extruido, y esta iría depositando material en la bandeja, el movimiento puede ser controlado por un arduino simple.

Se pueden distinguir dos tipos principales de impresoras 3D hoy en día,

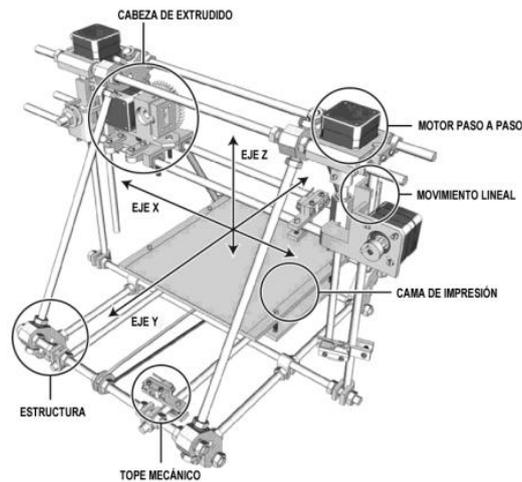


Figura 16. Impresora 3D. (Fuente: Brian Evans. *Practical 3D Printers. The Science and Art of 3D printing*. Apress, Nueva York, 2012).

Su principal aplicación, como ya hemos comentado es para la realización de prototipos, pues las propiedades físicas que se consiguen mediante impresión 3D, todavía están lejanas de las propiedades físicas que deseáramos para una pieza final. Aunque el avance en la tecnología hace que poco a poco se empiecen a introducir en piezas con un volumen de producción muy bajo, para las cuales otras técnicas de producción no serían viables económicamente.

#### 3.4.2.8. Moldeo por inyección de plásticos

La pieza va a ser diseñada para ser fabricada mediante esta técnica de fabricación, por lo que durante el siguiente apartado vamos a intentar definir las principales características de esta técnica.

Al igual que hemos hecho con las demás técnicas de fabricación para plásticos, lo primero que vamos a definir qué es el moldeo por inyección. *“El moldeo por inyección de plásticos es la técnica que consiste en inyectar el polímero fundido en un molde cerrado a presión y frío, dentro del molde el material se solidifica, la pieza final se obtiene al abrir el molde y expulsar la pieza”*.

La técnica de inyección de plásticos se usa habitualmente para polímeros termoplásticos, esta técnica requiere de temperaturas y presiones elevadas, pero a su vez, mediante esta técnica se obtienen piezas de gran precisión, buen acabado superficial, resistencia al impacto, resistencia a la corrosión y se pueden conseguir formas complejas. Para mejorar estas características se puede combinar el material termoplástico con fibras, para proporcionar mayor dureza.

Podemos resumir las diferentes fases del ciclo de inyección en 3:

- **Fase de llenado:** esta etapa comienza con el cierre del molde, la unidad de inyección se pone en marcha, y una vez la cavidad se llena de polímero plástico fundido, la presión aumenta hasta que dicho material comienza a llenar el molde, el tiempo para llenar el molde depende en gran medida de las propiedades del polímero, y en menor medida del molde y de la máquina de inyección.
- **Fase de enfriamiento:** esta etapa empieza, una vez empieza a llenarse el molde con material fundido, en esta etapa influyen características como la conductividad del material, o el material de que está hecho el molde, y termina una vez la pieza está

preparada para salir del molde, aunque, bien es cierto que una vez fuera del molde la pieza continua caliente.

- **Fase de expulsión:** es la etapa final del proceso, una vez la pieza ha solidificado lo suficiente como para no deformarse al salir del molde, este se abre y el modo de expulsión puede ir desde lo más sencillo, una serie de expulsores empujaran la pieza fuera del molde, hasta complejos mecanismos de movimiento para agujeros internos, o mecanismos de rosca. Una vez la pieza esta fuera, el molde se vuelve a cerrar para el siguiente ciclo de inyección.

En la Figura 17, podemos observar la evolución de la presión a lo largo de todo el ciclo. Como se ha comentado es durante la fase de inyección o llenado, cuando más aumenta la presión, conforme se va estabilizando la presión va disminuyendo hasta que se abre el molde.

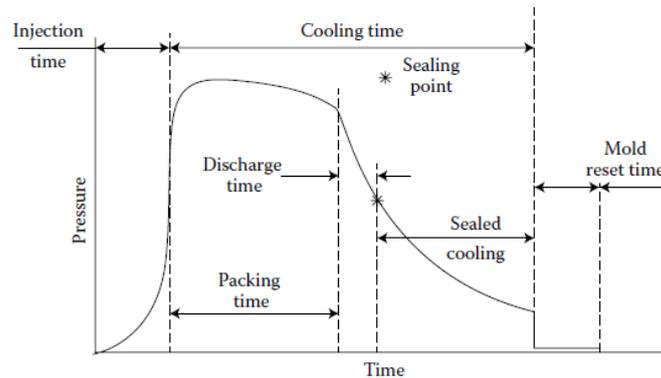


Figura 17. Ciclo de inyección. (Fuente: Geoffrey Boothroyd. *Product Design for Manufacture and Assembly. Third edition 2011*).

Cualquier fallo durante el ciclo de inyección, o cualquier parámetro mal calculado, mala temperatura de molde, se va a traducir en un mal acabado de la pieza, bien sea superficial, o, por ejemplo, en el caso de mantener aire en el interior, la aparición de poros, “burbujas” internas que debilitarán la pieza.

Una máquina de inyección de plásticos se compone principalmente de la unidad de inyección, es la parte que se encarga de suministrar el material fundido al molde, de la unidad de cierre, que se encarga de la parte mecánica del molde y del molde, compuesto a su vez de un “core” o núcleo y de un “cavity” o cavidad, que se unen dejando el espacio que llenará el polímero para conformar la pieza final.

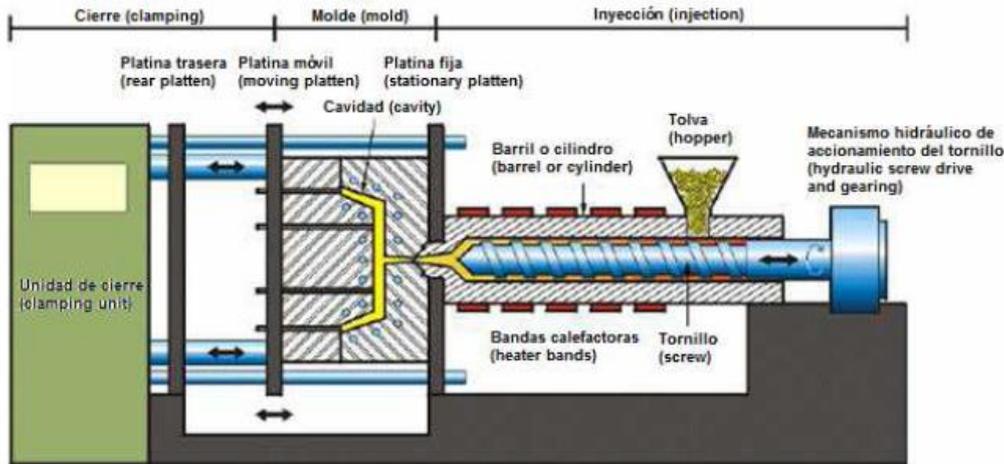


Figura 18. Esquema de máquina de inyección de plásticos. (Fuente: Francisco Blanco Álvarez. Profesor de la Universidad de Oviedo. Lección 11 – Moldeo por inyección).

- **Unidad de inyección:** ya se ha comentado que es la parte de la máquina que se encarga de suministrar el material fundido, a través de los bebederos al molde, fundamentalmente hay dos tipos de unidades de inyección:
  - o Máquina de émbolo, o unidad convencional: actualmente en desuso, el material entra en un cilindro, y un émbolo o pistón lo empuja a través de unos canales, por donde el material se calienta y funde hasta llegar finalmente a la boquilla de inyección, la cual a través de los bebederos llenará el molde.
  - o Máquina de tornillo recíproco: al igual que en el anterior caso el circuito se llenará a través de una tolva de alimentación, la tolva alimentará un tornillo sinfín, que a través de su avance suministrará la cantidad apropiada de material al molde, este tipo de unidad inyectora es la que podemos ver en la Figura 18. Durante el avance del tornillo, la camisa del cilindro se calentará fundiendo el material y produciendo una mezcla homogénea de éste, gracias a esto conseguiremos unas propiedades físicas en la pieza óptimas.
- **Unidad de cierre:** aunque la Figura 17, no nos muestre unidades de magnitud, las presiones a las que podemos llegar, dentro del molde se pueden llegar a obtener presiones cercanas a los  $70 \text{ MN/m}^2$ , por lo que la unidad de cierre debe de soportar dichas presiones. Las unidades de cierre han avanzado desde complejos mecanismos mecánicos, hasta una unidad de cierre hidráulico que garantiza la estanqueidad, y soporta las presiones del material.
- **Molde:** el diseño de la pieza/molde es la parte más importante de la inyección de plásticos, tanto la forma como el tamaño son parámetros más que variables, pero a la hora de realizar el diseño de la pieza, hay que tener en cuenta multitud de aspectos, los más importantes son:
  - o Mantener en la medida de lo posible un espesor constante, acumulaciones de material de gran espesor, producirán rechupes y contracciones no deseadas en la pieza final.
  - o Los ángulos de salida, como veremos posteriormente, el molde se compone de dos partes, y de cara al desmoldeo, los ángulos de salida (el ángulo que forman todas las caras con un plano común) son muy importantes, en tanto en cuanto

que se puede llegar a diseñar una pieza que posteriormente sea imposible de desmoldear.

En función del número de placas en las que se divide el molde, y en función del modo de extracción podemos distinguir entre tres tipos principales de moldes:

- **Molde de dos placas:** es el molde más común, el diseño de la pieza se divide entre las dos partes, creándose una línea de partición en la unión de las dos partes. Una de ellas fija en la cual se encontrarán los expulsores, que ayudaran a la pieza a desprenderse durante el desmoldeo, y la otra móvil, que será por la que pase el material.
- **Molde de tres placas:** contiene las mismas dos placas que el molde de dos placas, y una tercera adicional donde quedaría la parte de los bebederos.
- **Molde de dos placas móviles:** ambas placas son móviles con el objetivo de facilitar el desmoldeo.

Nos vamos a centrar en explicar el primer tipo, el molde de dos platos en el cual una parte es fija y la otra móvil, en la Figura 19, podemos ver las diferentes partes del molde:

- **Plato núcleo (core plate):** la parte fija suele ser la parte de la pieza con mejor acabado, hay que tener en cuenta, que tanto el/los bebederos, como los expulsores, por pequeñas que sean siempre van a dejar marcas superficiales en la pieza, por lo que han de ser colocados en sitios estratégicos.
- **Plato cavidad (cavity plate):** es la parte móvil del molde, una vez solidificada la pieza, el molde abrirá y la pieza será extraída.
- **Expulsores (ejector pins):** son una especie de pernos, cuya función es la de ayudar a la expulsión de la pieza, empujándola. Los expulsores suelen tener una función secundaria, que es dejar escapar aire durante la inyección, para que así no se formen burbujas de aire en la pieza final, el aire se escapa gracias al juego que hay entre el expulsor y el canal guía. Si fuese necesario y la complejidad de la pieza lo requiriese, podrían hacerse canales de enfriamiento de aproximadamente 20 micras de diámetro.
- **Bebedero (sprue), y compuertas (gates):** el bebedero es el conducto que une la unidad inyectora con el molde, mientras que la compuerta es el orificio que une el bebedero con el molde, hay que tener especial cuidado con los canales de enfriamiento, pues podrían llegar a causar altas velocidades y calentamientos excesivos, que acabarían quemando la pieza en esa parte.
- **Canales de enfriamiento:** ambas placas, tanto fijas como móviles, están atravesadas por canales por los cuales pasa agua fría para ayudar al enfriamiento de la pieza, la temperatura del agua dependerá del tipo de polímero a inyectar.

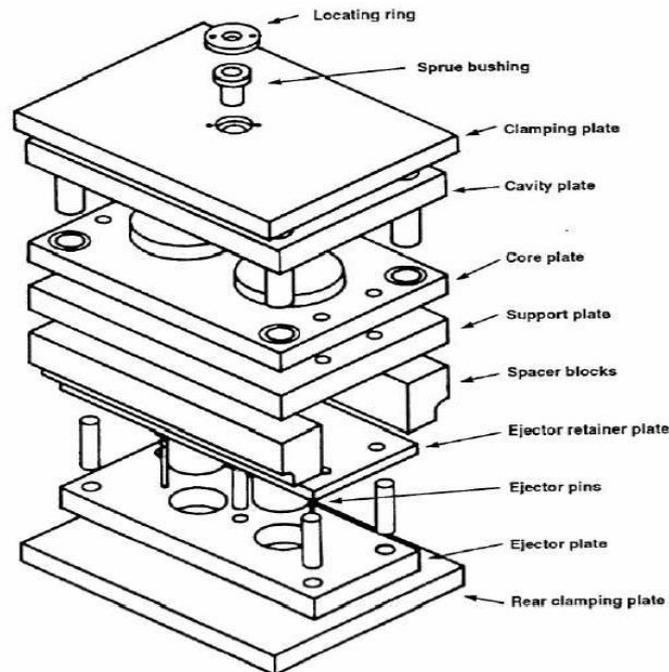


Figura 19. Partes del molde de inyección. (Fuente: Geoffrey Boothroyd. *Product Design for Manufacture and Assembly*. Third edition 2011)

Como el fin de este trabajo académico, es realizar el diseño de una pieza para inyección plástica, durante los siguientes capítulos desarrollaremos el proceso de diseño de la pieza y del molde.

### 3.5. CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA LA FABRICACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS

A la hora de diseñar un nuevo producto hay que prestar especial atención tanto al material del que se va a realizar el producto como a la técnica de fabricación que se va a utilizar, pues las características geométricas, físicas y de acabado dependerán en gran medida de ello.

En este apartado se va a centrar el estudio en las consideraciones de diseño que hay que tener en cuenta para la fabricación de piezas de inyección plástica, como se puede extraer de las características del material y del proceso, el material es calentado hasta convertirlo en líquido y posteriormente es inyectado en un molde donde solidificará obteniendo la pieza final. Para que todo esto suceda, por el camino ocurren una serie de reacciones químicas que hay que tener en cuenta pues influirán en el acabado final de la pieza.

En técnicas de fabricación por mecanizado donde el aumento de temperatura no suele ser importante y las tolerancias del proceso suelen ser bastante buenas, es posible diseñar una pieza únicamente teniendo en cuenta la geometría diseñada, con la garantía de que obtendremos la pieza final tal y como la hemos diseñado, sin embargo en aquellas técnicas de fabricación donde se produce una reacción química, las consideraciones de diseño son muy importantes para después obtener tanto acabados como tolerancias geométricas que cumplan con lo diseñado en ordenador. Es posible diseñar una pieza de tal manera que con la posterior contracción del material obtenga una longitud mucho menor que la deseada o de tal manera que aparezcan marcas superficiales indeseadas.

Por ello, primero vamos a exponer las distintas problemáticas que hay que tener cuenta para las piezas de moldeo por inyección:

- **Línea de partición:** es la marca superficial que aparece en la pieza final debido al plano de unión entre las dos mitades del molde. En función del ajuste y la calidad del molde dicha línea se disimulará en mayor o menor medida, pero siempre aparecerá, para no encontrarnos una línea en la pieza final acabada como en la Figura 20, para poder disimular este efecto conviene colocar el plano de partición sobre una arista viva de la pieza.

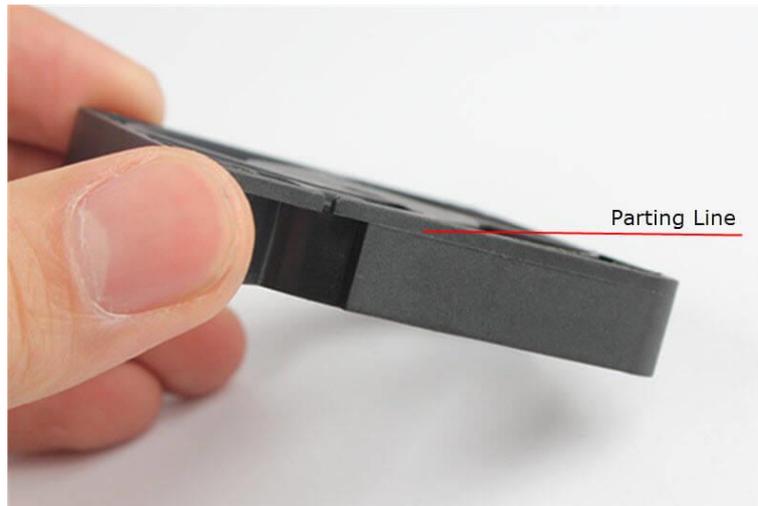


Figura 20. Parting line, línea de partición.

- **Marca del punto de inyección:** cómo se puede observar en la Figura 18 y la Figura 19, el material en estado líquido entra por los ataques al molde, una vez solidifica la pieza, también lo hace el material restante que queda en la cavidad del ataque, teniendo que romper dicho material para poder obtener la pieza con su forma final. Dicho punto de rotura deja una marca superficial, el cual se puede apreciar por ejemplo en el culo de las botellas, por lo que será necesario ubicar los puntos de inyección en aquellos lugares donde no nos importe que queden marcas.
- **Líneas de soldadura (Weld lines):** este fenómeno aparece como consecuencia del choque del flujo de material en sentidos opuestos, deja una marca superficial sobre el material en forma de ondas como se puede apreciar en la Figura 21. Para evitar que por culpa de este fenómeno nos aparezcan marcas superficiales que dañarían la pieza es necesario realizar un estudio previo de llenado del molde, donde podremos identificar puntos donde varios frentes de flujo converjan y dar solución para poder mitigar este efecto.



Figura 21. Línea de soldadura, Weld line

- **Marcas de “rechupe”:** se denomina rechupe al fenómeno que da como consecuencia un hundimiento de material en determinadas zonas, este puede ser debido a un inadecuado llenado del molde en dicha zona o a sobrecalentamientos en determinados puntos que dan como consecuencia una posterior contracción del material. Tal y como vemos en la Figura 22, es propio de aquellas zonas de unión entre material, sobre todo nervios, alojamientos para tornillos o simplemente conexión entre caras. Una solución posible para evitar este recalentamiento pasa por reducir la sección del nervio frente a la de la superficie perpendicular, o colocar canales de enfriamiento que ayuden a enfriar el material en un tiempo menor.



Figura 22. Sink marks, marcas de rechupe.

- **Quemaduras:** una inadecuada velocidad de inyección podrá provocar gradientes de temperatura elevados que se reflejen en marcas superficiales muy parecidas a las líneas de soldadura.
- **Deformaciones de la pieza, “arqueamiento de la pieza”:** cuando o bien la forma de la pieza o el llenado de esta misma, no es un llenado simétrico, la solidificación de las partes no se dará por igual produciendo esfuerzos residuales internos, traducidos en un arqueamiento de la pieza.

Exponiendo los principales problemas que se pueden dar en piezas de inyección plástica, ya se han adelantado algunas de las directrices a seguir en su mayor medida en cuanto al diseño de piezas de moldeo por inyección, que nos ayudarán a obtener un acabado final que cumpla con los requisitos de calidad establecidos en el diseño. A continuación, se van a exponer una serie de pautas generales a seguir en el diseño de piezas de inyección:

- **Material:** el primer elemento a considerar es el material con el cual se va a realizar el llenado, si se va a añadir algún aditivo de refuerzo, etc. Las propiedades del material nos van a marcar los gradientes de temperatura admisibles, la densidad del fluido, importante para la velocidad de llenado y las propiedades mecánicas que tendrá la pieza final.
- **Redondeos en aristas vivas, exceptuando la línea de partición.** La finalidad de dichos redondeos es facilitar la fabricación del molde.
- **Espesor uniforme:** como se ha comentado anteriormente cualquier uniformidad en la pieza puede provocar tensiones internas, una solidificación no uniforme o contracciones no controladas en las piezas.
- **Nervios:** al trabajar con piezas no sólidas y cuyo espesor ha de ser el mínimo posible, la colocación de nervios es fundamental para rigidizar la pieza, al colocar los nervios hay que tener en cuenta el efecto de “rechupe”, por lo que convendrá que el espesor de estos sea inferior al del resto de la pieza.
- **Ángulos de salida:** las caras situadas en la dirección de desmoldeo de la pieza no pueden ser coplanas a esta, han de tener un pequeño ángulo de inclinación que variará en función del tamaño y forma de la pieza, para así facilitar el desmoldeo natural de esta.
- Hay que intentar evitar en la medida de lo posible roscas, elementos internos o salientes laterales que obliguen a hacer un molde articulado y encarezcan el proceso de un modo innecesario.

### 3.6. LOS MATERIALES PLÁSTICOS EN EL SECTOR DE LA AUTOMOCIÓN

La importancia de los materiales plásticos en el sector está en continuo crecimiento, si bien es cierto que todavía la mayor parte de estas piezas siguen copando los interiores del automóvil, la mejora de las características de los plásticos y resinas en cuanto a dureza, sumado a su bajo peso y precio y que son altamente reciclables hacen que estos materiales sean cada vez más comunes en los automóviles. Como ejemplo, el Citroën Cactus de la Figura 23, en la cual podemos observar como gran parte del exterior posee elementos hechos con materiales plásticos.

El avance en las técnicas de fabricación de los materiales plásticos, que permiten conseguir superficies complejas, y la mejora de las propiedades físicas de estos a través de mezclas de polímeros con fibras, etc., hacen que los materiales plásticos cada vez sean más comunes tanto en el exterior como en el interior de los automóviles.



*Figura 23. Citroën Cactus.*

Principalmente podemos encontrar materiales plásticos en los automóviles en los siguientes sitios:

- Salpicadero, donde encontramos la mayor parte de los elementos de material plástico, todos ellos hechos con precisión y por inyección plástico, posteriormente se le aplican diversos tratamientos para obtener una mejor apariencia visual.
- Rejillas y material interno de recubrimiento del motor.
- Todos los faldones del coche, si bien es cierto que la técnica de fabricación en este caso no es el moldeo por inyección, se suelen fabricar con mezclas de resinas con fibra de vidrio.

# **CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDIO**

## **4.1. INTRODUCCIÓN**

Atendiendo al título del proyecto, “Análisis del Proceso de Diseño y Optimización de Piezas para el Conformado por Inyección de Plástico con herramientas PLM aplicado al sector de Automoción”, podemos deducir que el objetivo final del trabajo académico es llegar a diseñar una pieza del sector de Automoción a fabricar mediante inyección de plástico. Para ello, en los anteriores apartados del documento hemos realizado una introducción al proceso de diseño y al proceso de inyección de materiales plásticos.

Se ha tomado la decisión de realizar el diseño de la rejilla frontal de un automóvil, que es un elemento característico e interesante de los materiales plásticos en el sector del automóvil, actualmente existen multitud de modelos de automóvil y en consonancia multitud de frontales totalmente diferentes, como particularidad, se buscará que la rejilla frontal ocupe la parte frontal del coche, siendo la parte principal del diseño delantero de éste.

Puesto que dicho documento académico no se corresponde con un diseño anexo a alguna empresa, no se dispone del resto de piezas que conformarían la parte delantera del coche, supondremos que, conociendo el hueco y la forma, estas encajarían con nuestro diseño, aunque quizás la parte más interesante de la ingeniería colaborativa es que, aunque un grupo se centre únicamente en una parte del diseño, todos los grupos comparten la información para poder realizar un diseño integrado completamente.

## **4.2. COMPETENCIAS POR DESARROLLAR EN LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO**

En el capítulo 2, proceso de diseño y desarrollo de productos, de este mismo trabajo académico, se exponen las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto, incluyendo las etapas correspondientes con la fase de diseño. Será objeto de este trabajo académico el realizar el diseño de una pieza de inyección plástica siguiendo las distintas etapas expuestas en dicho capítulo.

Dado que es un proyecto académico, la etapa que va a adquirir mayor importancia va a ser la etapa de diseño de detalle, debido a que es la etapa más teórica del ciclo de vida del producto y la que ocupa una mayor parte del tiempo, así todo, las demás etapas del ciclo de vida del producto se van a desarrollar de un modo teórico.

Para la realización del diseño de la pieza, podría haber sido suficiente únicamente con el uso de un programa de diseño 3D (CAD), y quizás otro programa de simulación dinámica (CAE), conocidos previamente. Pero debido a la importancia creciente que están adquiriendo los softwares PLM en el ciclo de vida del producto, se ha decidido que será objeto de este trabajo tanto una introducción a los softwares PLM, como el uso de uno de ellos para la realización del trabajo.

En el marco de la Universidad Politécnica de Valencia, los alumnos reciben formación en softwares de Autodesk, programas como Inventor, AutoCAD, o el propio Software PLM, de Autodesk, debido a su carácter gratuito en la comunidad estudiantil.

Aunque en el documento memoria de este trabajo académico no queda constancia de ello, es de vital importancia en el uso de aplicaciones CAD, el modelar de acuerdo con unos estándares que permitan a cualquier usuario la fácil modificación del documento, estudios realizados acerca de este asunto documentan que para realizar una modificación sobre un archivo CAD de otro usuario se puede llegar a demorar mayor tiempo que el que se invertiría en realizar el archivo nuevo.

Para la realización del diseño se va a usar el PLM comercial de Dassault Systemes®, 3DEXPERIENCE, este software PLM incluye los programas CAD/CAE/CAM a usar para el diseño de producto.

Como ya se ha comentado anteriormente, uno de los aspectos más importantes para tener en cuenta a la hora de realizar un modelo 3D, es la estrategia de modelado, y ha de ser común en cualquier programa CAD, sin embargo, es obvio que el usuario/diseñador ha de dominar el entorno del programa, para poder encontrar todas las funciones necesarias en el modelado.

Podríamos decir que nunca se va a poder llegar a ser conocedor de un programa CAD/CAE/CAM en su totalidad, puesto que el entorno es un entorno cambiante continuamente, los programas sufren continuas actualizaciones que cambian y mejoran dicho entorno de cara a hacerlo más intuitivo para el diseñador.

Así todo, es de competencia de este trabajo académico conocer tanto el software PLM, como los programas CAD/CAE/CAM que ofrece 3DEXPERIENCE. Este proceso de aprendizaje es un proceso costoso y continuo, el cual ocupará la mayor parte del tiempo del desarrollo de este trabajo académico.

### **4.3. FASE DE ANÁLISIS**

Durante los apartados introductorios se han tratado teóricamente las distintas etapas del ciclo del producto, en este apartado vamos a hacer hincapié en lo que serían estas etapas en el ciclo de vida de nuestro producto teórico, la rejilla frontal de un automóvil.

Como se ha comentado durante la etapa de análisis, se realizará un análisis de las soluciones realizadas por la competencia, y se buscará información relativa a patentes y certificaciones que ha de cumplir el producto.

En el anexo I de este documento se ha realizado un breve análisis de las distintas soluciones que ofrecen las marcas comerciales.

Tras esta fase de análisis, se ha decidido hacer una rejilla que ocupe toda la parte frontal del coche, aproximadamente deberá de contar con 1,2m de largo y 0,4m de alto, que se corresponderá con un modelo todoterreno posteriormente protegida con barras metálicas, y con el logotipo en la parte central, algo parecido a la Figura 24, correspondiente a la rejilla de un Seat León, acoplada en varios modelos como por ejemplo el Cupra II, pero que ocupe todo el frontal del coche.



Figura 24. Rejilla frontal Seat León.

### 4.3.1. Marco legal, normas aplicadas y posibles patentes existentes

#### 4.3.1.1. Marco legal

Se entiende por marco legal, toda aquella legislación que afecte al producto en aquellos mercados donde el producto se vaya a comercializar, así como con la legislación del país donde se vaya a fabricar, este trabajo de búsqueda de información es complejo y laborioso, en el contexto del territorio nacional español es el BOE (Boletín Oficial del Estado) donde se puede encontrar información acerca de reales decretos y normas publicadas.

Aplicado a nuestro caso práctico, no se ha podido encontrar una ley que afecte al producto.

#### 4.3.1.2. Normas aplicadas al producto

Mientras que el anterior apartado se refiere a legislación en particular, en este apartado deberemos de buscar aquellas normas o certificaciones que sean importantes en nuestro producto, en España AENOR es quien publica y certifica las normas UNE que pueden ser importantes en nuestro producto.

Aplicado a nuestro caso práctico podemos observar en la Tabla 2 dos ejemplos de normas UNE que afectarían a nuestro proyecto.

Código	Descripción
UNE-EN 201:2010	Maquinaria de plásticos y caucho. Máquinas de moldeo por inyección. Requisitos de seguridad.
UNE 100705:1991	Climatización. Medición del caudal de aire en rejillas o difusores. Método de compensación de la presión.
UNE-EN 22768-1:1994	Tolerancias generales. Parte 1: tolerancias para cotas dimensionales lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia.
UNE-EN 22768-2:1994	Tolerancias generales. Parte 2: tolerancias para cotas geométricas sin indicación individual de tolerancia. (ISO 2768-2:1989). (Versión oficial EN 22768-2:1993).

Tabla 2. Normas UNE referentes al caso práctico

#### 4.3.1.3. Patentes

Primero vamos a definir que es una patente, según la OEPM, Oficina Española de Patentes y Marcas, “una Patente es un título que reconoce el derecho de explotar en exclusiva la invención patentada, impidiendo a otros su fabricación, venta o utilización sin consentimiento del titular. Como contrapartida, la Patente se pone a disposición del público para general conocimiento.”, por lo tanto, antes de desarrollar un nuevo producto hay que asegurarse que no estamos realizando una copia de un diseño, método o producto ya creado y registrado en la oficina de patentes.

En el caso de llevar a cabo el diseño del caso práctico, tendríamos que ser muy cuidadosos con la existencia de la patente detallada en el anexo 2.

#### 4.3.1.4. Gestión de proyectos

A la hora de realizar un proyecto, es muy importante estructurar el documento de acuerdo con una norma. En concreto en la realización de este trabajo académico se ha seguido la norma UNE-157001, Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

### 4.4. DISEÑO CONCEPTUAL

Durante la etapa de diseño conceptual, se van a definir las principales características del producto final, en esta etapa también es bastante común la realización de bocetos para poder esbozar de una manera rápida cuál sería el resultado final. Para el diseño de la rejilla frontal no se han utilizado bocetos, una vez la idea principal de la forma a conseguir ha sido predefinida, este diseño va a consistir en una superficie compleja que acoplaría con la carrocería, y una serie de lamas verticales y horizontales que le van a proporcionar mayor rigidez y un aspecto clásico y robusto.

El siguiente paso consiste en definir una aquellas especificaciones necesarias para el diseño, en el caso de una lavadora estas especificaciones podrían ser unas medidas estándar y una capacidad de carga. Para el caso de la rejilla frontal de un automóvil, para poder definir correctamente todas las especificaciones sería necesario ser conocedor de otros muchos detalles, así como ser experto en el sector de automoción, sin embargo, se van a dar una serie de requisitos que el diseño deberá de cumplir.

- La rejilla ha de tener una longitud de 1200mm de largo y 400mm de alto en el punto central. Es obvio, que esta especificación no sería una especificación muy correcta de cara a un diseño, porque no se detalla en ningún momento nada acerca del contorno, el diseño de la rejilla irá de la mano del diseño de la carrocería frontal, donde se preverá un hueco para esta.
- Con la primera especificación tendríamos definido el contorno del producto, otro aspecto crucial en el diseño de una rejilla es el área de ventilación, que en definitiva es la función primaria del producto, para poder definir correctamente esta área es necesario realizar multitud de pruebas en distintos entornos, si bien es cierto que el tamaño de la rejilla tendría que permitirnos cierta flexibilidad con dicha área.
- La última especificación a nivel de diseño es el área que vamos a destinar a la insignia central, y donde se va a colocar está. La forma va a ser circular, situado en la parte central en forma de cilindro con 190mm de diámetro.

- Para entender la siguiente especificación, primero tenemos que definir el concepto de trazabilidad, que es aquello que nos permite realizar un seguimiento detallado del producto, la pieza final deberá incluir un código de pieza para la gestión logística a nivel interno en la empresa y un fechador, para poder realizar siempre un seguimiento a posibles cambios, problemas de inyección, etc.
- Las tolerancias del proceso y el acabado superficial han de ser estrictas para asegurar un buen ajuste y un buen aspecto superficial, característicos de todas las piezas del sector del automóvil.

Para terminar, hay que hacer una recopilación de la forma y requisitos para definir la técnica de fabricación, en el caso del desarrollo del caso práctico para nuestro proyecto académico ya se ha advertido que este proceso iba a ser de moldeo por inyección, pero, aunque la elección de la técnica de fabricación sea preconcebida, sí que es necesario defender el por qué esta técnica es la apropiada para el producto a desarrollar. Uno de los principales motivos es el volumen de piezas que se ha de fabricar, un tamaño alto de lote hace del moldeo por inyección un proceso adecuado, otro factor muy importante son las tolerancias y acabados con los que se trabaja en el sector de la automoción, alcanzables con las técnicas de moldeo por inyección, el último factor con una importancia relevante es la forma del producto que hace de la inyección un proceso propicio. Un factor a tener en cuenta y que es contraproducente para la inyección de plásticos es el tamaño de la pieza que va a encarecer y complicar el proceso.

Las anteriores especificaciones nos van a definir a groso modo la forma del producto, adicionalmente el producto debe de cumplir con una serie de especificaciones mecánicas y físicas como peso, dureza, resistencia al impacto, precio, ... que nos van a definir el material a utilizar.

#### **4.4.1. Selección de material con CES EduPack**

En el proceso de desarrollo de nuevos productos, es muy común el uso de multitud de herramientas que nos ayuden a definir las características de nuestro diseño, posteriormente dedicaremos un apartado a explicar las herramientas de diseño avanzadas que se han utilizado en el desarrollo de este proyecto, pero antes de entrar en la fase de diseño, se ha usado la herramienta CES EduPack con licencia académica por la Universidad Politécnica de Valencia para la selección del material.

A la hora de realizar el proceso de selección de material es necesario definir las propiedades que el material debe de tener, y elegir entre los distintos materiales que cumplan con estas propiedades el más adecuado. Por lo tanto, el diseñador debería de ser capaz de elegir el material más adecuado de acuerdo con las características del producto final, sin embargo, es complicado conocer todos los distintos materiales y sus propiedades para llevar a cabo esta elección de un modo apropiado, lo que lleva a realizar la selección del material en base a la propia experiencia del equipo de trabajo, perdiendo la oportunidad de descubrir nuevos materiales más apropiados.

CES EduPack es una base de datos con miles de materiales, que permite al usuario a través de una serie de criterios seleccionar el material más apropiado de la base de datos del programa, es importante tener claro que no es un programa de selección de material, es únicamente una base de datos al servicio de la elección del material del usuario, a continuación, se va a

desarrollar el método de selección del material en CES EduPack, y se va a aplicar al caso práctico de nuestra rejilla.

Lo primero que se encuentra el usuario cuando abre el programa, es la selección de la base de datos de la Figura 25, disponemos de tres niveles de menor a mayor rango de selección, y a su vez podemos establecer el primer filtro, para el caso de un producto a fabricar por inyección de termoplástico, seleccionaremos la base de datos de polímeros del nivel 3.

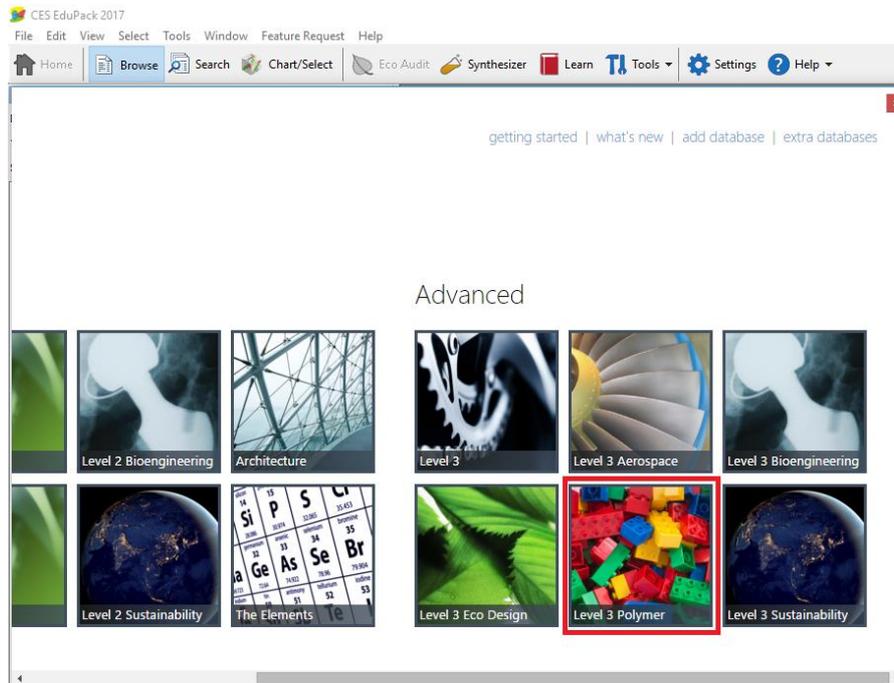


Figura 25. Interfaz de CES EduPack.

El siguiente paso después de seleccionar la base de datos es empezar a poner restricciones para que los 3968 materiales distintos que nos ofrece la base de datos de polímeros se reduzcan hasta quedarnos con un pequeño grupo y poder tomar una decisión. Podemos ver el proceso de selección en la Figura 26, donde estableciendo criterios básicos como que el material sea adecuado para moldeo por inyección, sea resistente al agua y a la radiación ultravioleta. Con estos criterios reducimos el espectro de búsqueda de 3968 a 111, todavía podríamos aplicar algún filtro más, pero nos interesa quedarnos con un número significativo de datos para el último paso.

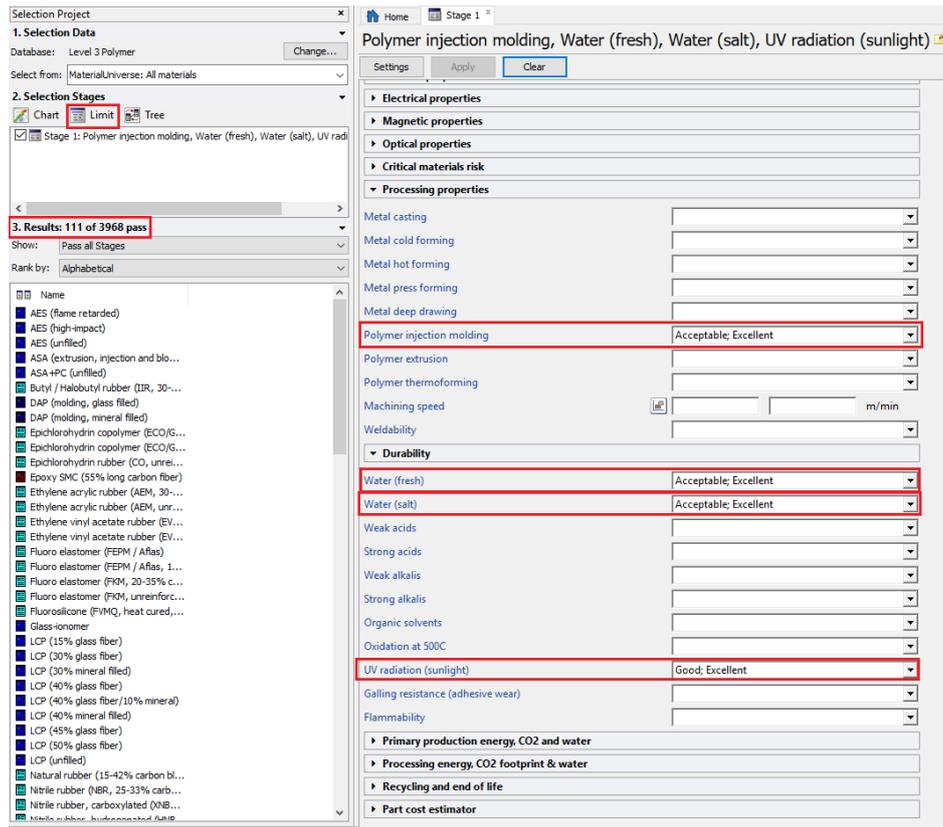


Figura 26. Criterios de selección CES EduPack.

El último paso de selección que nos ofrece el programa consiste en comparar gráficamente los materiales, pudiendo elegir los distintos ejes del gráfico, vemos los resultados de comparar gráficamente el módulo de Young frente a la densidad y la temperatura de transición vítrea frente a la conductividad térmica. El motivo de seleccionar las propiedades de módulo de Young frente a densidad es obtener una pieza ligera y resistente, y la razón de comparar la temperatura de transición vítrea con la conductividad térmica es el de obtener un orden de magnitud del material en cuanto a temperaturas, para elegir un material que pueda alcanzar altas temperaturas pero que a su vez tenga una buena conductividad para conseguir una buena solidificación. La opción “chart” que nos permite graficar los materiales en función de unas propiedades definidas por el usuario, también ofrece la posibilidad de añadir una línea con la pendiente deseada (conviene recordar que la escala es logarítmica para establecer la pendiente), para seleccionar los materiales que estén por encima de la línea, maximizando, o por el contrario por debajo de la línea si queremos minimizar, la pendiente permite definir matemáticamente la relación entre los ejes x e y del gráfico. Podemos ver el resultado final en la Figura 27, donde de un grupo final de ocho materiales que cumplen con todos los requisitos impuestos, el único material que en la ficha técnica especifica que es apropiado para el sector de la automoción es el policarbonato con un 30% de fibra de vidrio.

A modo de resumen, CES EduPack es una herramienta muy potente, con una gran base de datos, pero el usuario ha de ser consciente que únicamente es una base de datos y que el criterio de selección tiene que ir mucho más allá, como prueba de ello vemos que de los ocho materiales que han pasado todos los criterios de corte, únicamente uno es apto para el sector de automoción. Podemos encontrar la ficha técnica del material en el anexo 3.

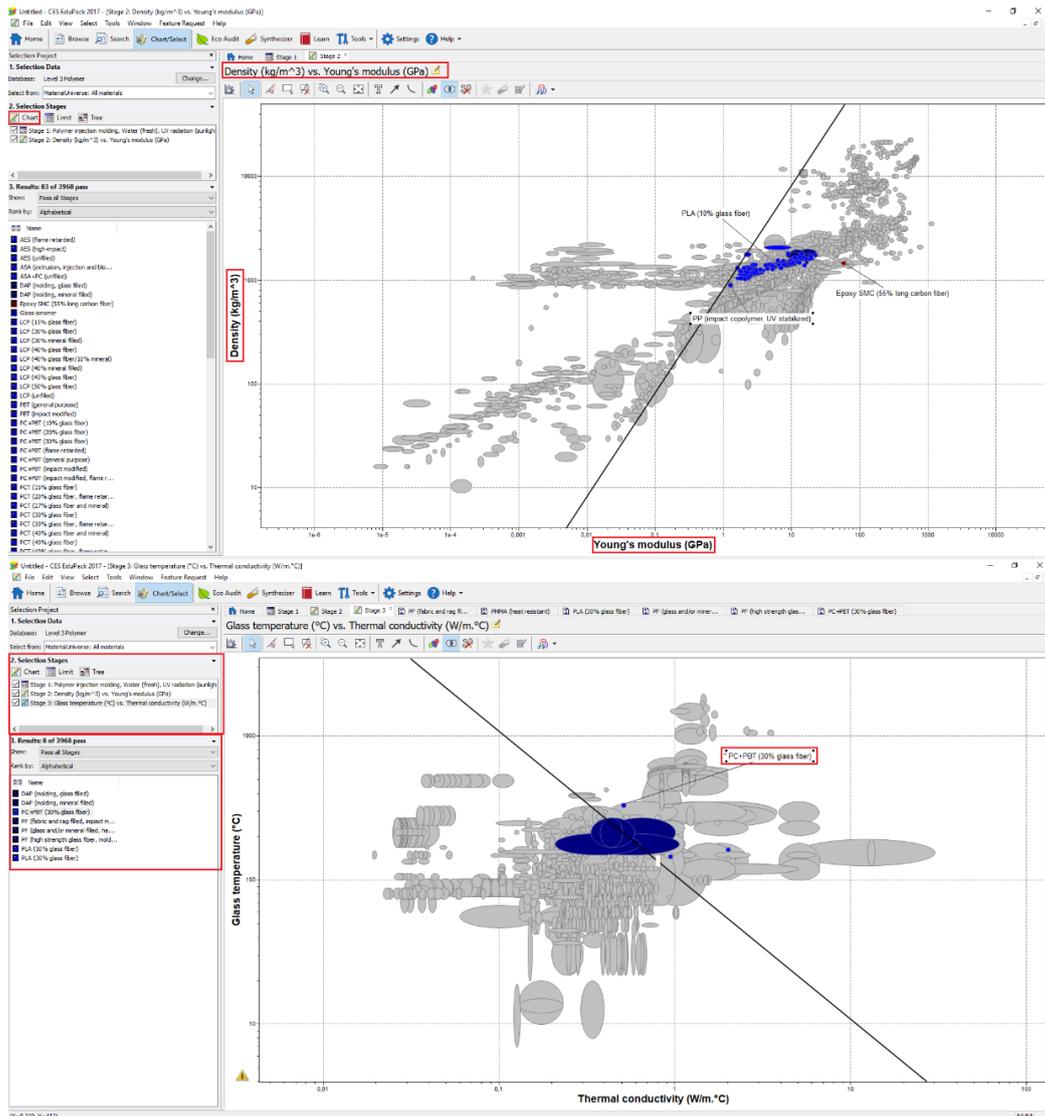


Figura 27. Selección final del material con CES EduPack.

#### 4.5. DISEÑO DE DETALLE

Una vez se han definido las etapas iniciales del ciclo de vida del producto, se está en disposición de pasar a la etapa principal del diseño, el diseño avanzado o diseño de detalle, si bien es cierto que no hay un punto exacto que separe las etapas de diseño conceptual del diseño avanzado, la transición entre estas etapas es una transición suave.

La etapa de diseño de detalle está marcada por la evolución de las nuevas tecnologías en la ingeniería de desarrollo de productos, la aparición de los softwares de gestión PLM, el trabajo en la nube y los nuevos programas CAD/CAM/CAE son aspectos que un diseñador de productos debe de saber utilizar. Por lo tanto, en el siguiente capítulo haremos una introducción a las distintas herramientas de diseño avanzadas que existen en el mercado, analizaremos aquellas que nos han sido de utilidad en el desarrollo del trabajo, una vez finalizada la introducción, y sumado a los conocimientos teóricos que se han explicado sobre el ciclo de vida del producto y sobre las técnicas de fabricación existentes, se dedicará un capítulo a la etapa de diseño de detalle o diseño avanzado.

# CAPÍTULO 5. HERRAMIENTAS AVANZADAS EN INGENIERÍA

## 5.1. INDUSTRIA 4.0

El concepto de industria 4.0 surge como resultado de la denominada “*cuarta revolución industrial*”, toda revolución industrial viene marcada por un acontecimiento, la máquina de vapor provocó la primera revolución industrial en 1782, la línea de montaje desarrollada por Henry Ford en 1913 marca el inicio de la segunda revolución industrial, la automatización (PLC) y las tecnologías de la información (TIC), dieron paso a la tercera revolución industrial a mediados del siglo XX. Durante la segunda década del siglo XXI, se ha ido desarrollando el concepto de industria 4.0, a diferencia de las anteriores, no es un único hecho o característica lo que caracteriza el concepto de industria 4.0, las cuales se pueden resumir en la creación de una interconexión directa entre el mundo real y el mundo virtual, la cual se produce gracias entre otros a los siguientes avances:

- **“Internet of things”**, o internet de las cosas, actualmente desde nuestros dispositivos móviles podemos controlar desde la música de nuestro coche, hasta la calefacción de nuestra casa a miles de kilómetros, gracias a internet.
- **Almacenamiento en la nube**, con el paso del tiempo, el almacenamiento de datos ha pasado de una carpeta llena de papeles, a documentos guardados en un disco duro físico, hasta llegar al almacenamiento en un espacio virtual, personal y personalizable donde el usuario puede volcar toda la información que considere oportuna y acceder a ella en cualquier momento y lugar vía internet, como ejemplo, las fotos y archivos de todos los celulares se sincronizan automáticamente en la nube.
- **“Virtual networks”**, o redes colaborativas, nos ofrecen la posibilidad de controlar las diferentes líneas de una cadena por conexión remota.
- **“Big data”**, continuamente se están generando, enviando y procesando multitud de datos, datos de nuestra posición, velocidad, o incluso se podría llegar a obtener las imágenes de la cámara de un determinado móvil en tiempo real. Estos datos son tratados para detectar acumulaciones de gente, atascos, etc.
- **Impresión 3D y fabricación aditiva**, la cantidad de avances en este campo, han conseguido que hoy en día sea posible imprimir hasta una casa.
- **Realidad aumentada**: nos ofrece por ejemplo la posibilidad de asistir a una reunión virtualmente, sin necesidad de estar físicamente en ella, facilitando en gran medida la creación de grupos de trabajo geográficamente dispersos.

Todas las empresas deben de ser capaces de integrar todas las herramientas que tienen a su disposición en post del crecimiento y el desarrollo empresarial.

## 5.2. PLM

Es bastante común confundir PLM con PDM, un software PDM (*Product Data Management*, gestión de los archivos del producto) es aquel que gestiona los distintos tipos de datos/archivos asociados al producto, registrando las distintas revisiones creadas, gestionando los distintos permisos de cada usuario, y asegurando que este trabaja siempre con la última versión actualizada del documento.

Para entender la importancia de un software PDM es conveniente explicar detalladamente las funciones que se han descrito en el párrafo anterior. Un PDM engloba:

- **Funciones de gestión:** primero de todo es definir la estructura del software, una vez definida, será necesario que personas físicas se conviertan en usuarios del sistema, el cual permitirá a su vez, la creación de nuevos usuarios y la asignación de roles para estos, aquellos usuarios con roles administrativos serán los encargados de gestionar las distintas etapas del proceso de desarrollo del producto y de la aprobación de las diferentes etapas del mismo.
- **Funciones de usuario:** cómo se puede adivinar de la definición de PDM, cada usuario tendrá un rol, y en función de este tendrá una serie de permisos y accesos, que pueden consistir únicamente en el acceso a la información, o incluir permisos de gestión y modificación tanto de la estructura como del archivo físico en sí. Esta gestión de permisos es muy importante para poder llevar un control interno
- **Gestión de la estructura del producto:** un software PDM pone fin a toda aquella estructura de archivos basada en carpetas inconexas, el software permite enlazar los distintos archivos interdependientes, así como, permite establecer de un modo sencillo la lista de componentes y materiales que será de gran utilidad en la gestión del ciclo de vida del producto.

Por otro lado, encontramos los softwares PLM (*Product Lifecycle Management*, gestión del ciclo de vida del producto), son aquellos que integran en un entorno virtual la gestión de todos los datos y archivos relacionados con el ciclo de vida del producto, hoy en día un software PLM ya incluye su propio software PDM interno. Como podemos ver en la Figura 28, el software PLM incluye todo lo relacionado con la gestión de datos del producto, así como la gestión del proyecto característicos de un software PDM, y además se aprovecha de toda esta información para mediante un entorno virtual simulado, integrar las distintas fases del ciclo de vida del producto que tienen que ver con: ventas, marketing, producción. Por ejemplo, anteriormente se ha comentado que un software PDM, puede obtener el desglose de las distintas piezas de un producto, este desglose puede ser utilizado por el departamento de producción cuantificando el stock de cada uno de los componentes, y descontando este una vez el producto sea terminado, cuando el stock de un subcomponente sea inferior al nivel determinado por esa empresa saltará un aviso al responsable de compras para informar de ello. Los softwares PLM más modernos integran también a proveedores, y el aviso de rotura de stock le llegaría directamente al proveedor que sería el encargado de suministrar ese componente.

En resumen, un software PLM sería capaz de llevar el solo la gestión del ciclo de vida del producto, que cantidad de material ha de llegar a las cadenas, cantidad de material de subcomponente pedir, etc. Pero es muy importante que siga siendo una herramienta en manos de personas, y no que las personas sean las herramientas del sistema, es decir, si de repente por

cualquier motivo un subcomponente se va a cambiar, o mejorar, todos estos cambios se han de comunicar con certeza al software, de lo contrario cuando este detecte falta de material enviará la orden al proveedor para traer más, en todo momento el software aunque de un modo automático deberá de hacer todo aquello que la organización establezca oportuno. Es el software el que tiene que estar al servicio del usuario, y no el usuario al servicio del software.

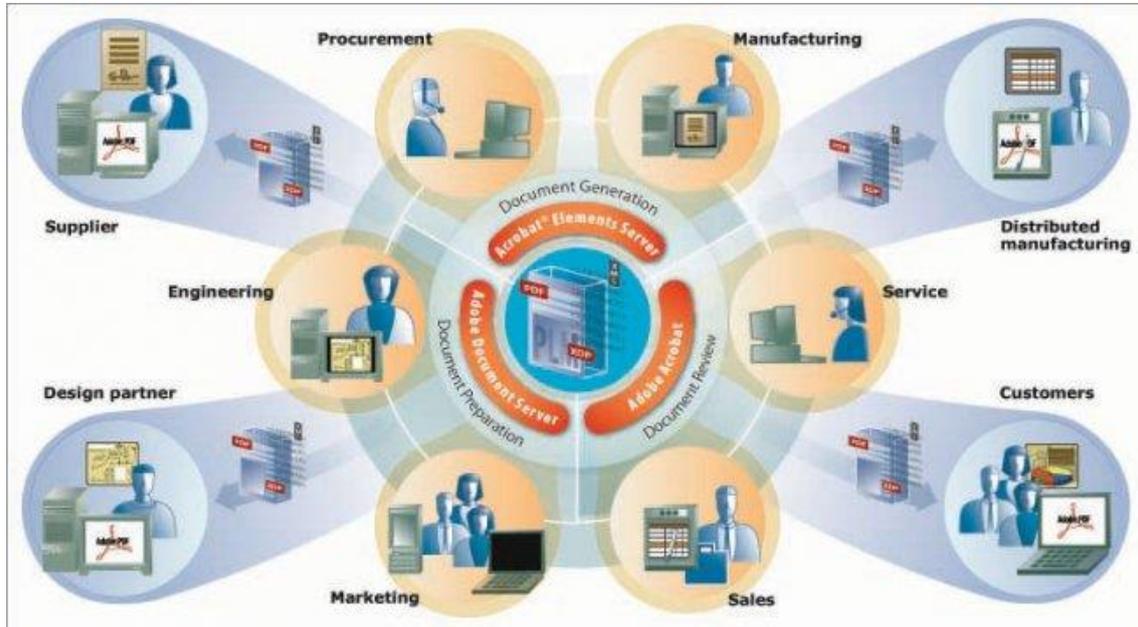


Figura 28. Competencias de un software PLM.

Dentro de un software PLM, podemos encontrar diferentes herramientas que nos ayudarán a coordinar todos los aspectos, los cuales hemos mencionado con anterioridad, estas herramientas las podemos ver resumidas en la Tabla 3:

Herramienta	Aplicaciones
Herramienta para la definición del producto y procesos asociados	Softwares CAD/CAM/CAE/... para la realización de maquetas y prototipos virtuales
Herramientas para la interacción (CSCW)	Videoconferencia, pizarras electrónicas o incluso softwares de realidad virtual
Herramientas para la coordinación	Workflow, planificación y gestión de proyectos
Herramientas para la gestión de datos del producto (PDM)	Vaulting, acceso basado en roles y maduración de los datos

Tabla 3. Bloques de funcionalidad PLM. (Fuente: Carles Riba, Ingeniería concurrente, una metodología integradora, 2006)

La parte más importante de este trabajo va a ser el diseño de detalle de la rejilla, para ello será necesario hacer uso de una herramienta CAD de diseño 3D, en la actualidad, los distintos fabricantes de estas herramientas suelen poseer varios programas en función de la complejidad del programa, en la Tabla 4 encontramos los distintos programas que existen actualmente en el mercado:

	PTC	AUTODESK	SIEMENS	DASSAULT
Avanzado	PTC Creo		Siemens NX	Catia
Intermedio		Autodesk Inventor	Siemens SolidEdge	Solidworks
Básico		Autodesk Supermanager	Siemens Parasolid	Dassault Spatial

Tabla 4. Softwares de diseño de producto CAD/CAM

Durante la realización del proyecto, vamos a usar la herramienta PLM de Dassault Systèmes® 3DEXPERIENCE, como resultado de un proyecto académico de nueva implantación en la Universidad Politécnica de Valencia, llevado a cabo por el profesor Carlos Vila. Esta herramienta es un PLM total, es decir, 3DEXPERIENCE no integra los datos ofrecidos por distintos programas al igual que los distintos softwares de la competencia, 3DEXPERIENCE integra dentro de la plataforma, una serie de aplicaciones que constituyen el PLM.

En la Figura 29 podemos ver los diferentes PLM que ofrecen las distintas marcas comerciales que existen actualmente, comparando la imagen con la Tabla 4, podemos ver que cada compañía tiene su programa de diseño 3D asociado, Autodesk Fusión tiene inventor, Windchill PTC tiene PTC Creo, sin embargo 3D Experience ha dejado a un lado Catia para ofrecer multitud de aplicaciones personalizadas para el diseño 3D.



Figura 29. Principales sistemas PLM

### 5.3. 3DEXPERIENCE

3DEXPERIENCE es la plataforma que vamos a usar para llevar a cabo el desarrollo del producto, rejilla frontal de un automóvil. Lo primero que vamos a hacer es definir qué es 3DEXPERIENCE y explicar porque hemos escogido esta plataforma.

Si nos vamos a la definición de 3DEXPERIENCE que nos da Dassault, encontramos:

*“La plataforma 3DEXPERIENCE es una plataforma empresarial, disponible en red privada o pública, que permite a nuestros clientes crear experiencias encantadoras para sus clientes y consumidores.*

*Proporciona soluciones de software para todas las organizaciones en su empresa, desde el departamento de compras hasta el de ingeniería, ayuda a dar valor a tu proceso mediante diferentes experiencias de consumidor.*

*Con una interfaz simple, y de fácil uso, potencia las experiencias en la solución industrial, con contenidos basados en diseño 3D, análisis y simulación y un software inteligente con un entorno colaborativo”.*

En la propia definición de la plataforma proporcionada en la página web, podemos visualizar todos los conceptos previamente definidos, involucra a todos los departamentos, diseño 3D, y posee un entorno colaborativo. Por lo tanto, el contenido es la razón motriz que ha motivado nuestra elección, no es únicamente un software de diseño, incluye mucho más, 3DEXPERIENCE es un PLM, con un potente software de diseño y simulación.

Decir que esta plataforma es de reciente creación, y aunque ya está disponible comercialmente aún está en fase de desarrollo continuo.

### 5.3.1. Interfaz

La plataforma está disponible para uso físico, o en la nube, para nuestro trabajo académico usaremos la plataforma en la nube. Para poder hacer uso de esta plataforma has de tener una cuenta de Dassault, esta cuenta será de uso personal e intransferible, y será la que determine la cantidad de permisos de los que dispondrás.

Una vez dentro nos encontramos la interfaz de 3DEXPERIENCE (Figura 30) el 3DDashboard, desde aquí accederemos a todas las herramientas que nos proporciona este PLM, donde podemos encontrar cuatro apartados: social & collaborative apps, information intelligence apps, simulation apps y 3D Modeling Apps, que respectivamente son las aplicaciones de gestión, los programas CAD, los programas CAM/CAE y una serie de aplicaciones complementarias que serán de utilidad, a continuación se detalla con mayor extensión los cuatro grupos:



Figura 30. Interfaz 3DEXPERIENCE

- **Social & collaborative apps:** dentro de este apartado se pueden crear comunidades internas y externas a la empresa, estas comunidades servirán para conectar a las distintas personas y departamentos de la empresa, y ajenos a ella, como puedan ser proveedores.

Estas apps también nos servirán para interconectarnos con las demás comunidades que también tengan 3DEXPERIENCE, un lugar donde buscar poderosa información que nos puede ser de gran utilidad para sacar más partido a la plataforma.

Dentro de este apartado encontramos todas las aplicaciones que hacen de esta plataforma un PLM, estructuración de carpetas, proyectos, encuestas, etc.

En su afán de convertir 3DEXPERIENCE en una plataforma total, encontramos una nube donde poder almacenar cualquier tipo de archivo, una aplicación de noticias, e incluso enlace con las principales páginas de redes sociales.

- **3D Modeling apps:** todas aquellas aplicaciones/programas que nos van a ayudar con el modelado de sólidos, cada sector tiene su propia aplicación diseñada a medida lo que ofrece a 3DEXPERIENCE un trato muy personalizado con el cliente, algunas de las aplicaciones disponibles son: diseño de chapa (módulo común en otros programas como SolidEdge, diseño de tuberías para fontanería, aplicación CNC, Electrical 3D Design, diseño de superficies, o modelado de superficies, podemos ver algunas de las aplicaciones en la Figura 31, durante la realización del trabajo explicaremos varias que hemos utilizado.

Estas aplicaciones nos ayudarían a construir nuestra maqueta virtual del producto.



Figura 31. 3D Modeling Apps.

- **Simulation Apps:** Es el conjunto de aplicaciones CAM/CAE que nos van a ayudar a realizar simulaciones virtuales, en nuestro caso usaremos la aplicación de simulación de llenado, para valorar el número de puntos de inyección para la pieza, así como, encontrar posibles fallos en el diseño, pero nos podemos encontrar programas de simulación CNC, hasta simulación de robots o creación de lo que se denomina una fábrica virtual, industria 4.0. Podemos encontrar un resumen de las principales aplicaciones que encontraremos en este apartado en la Figura 32.

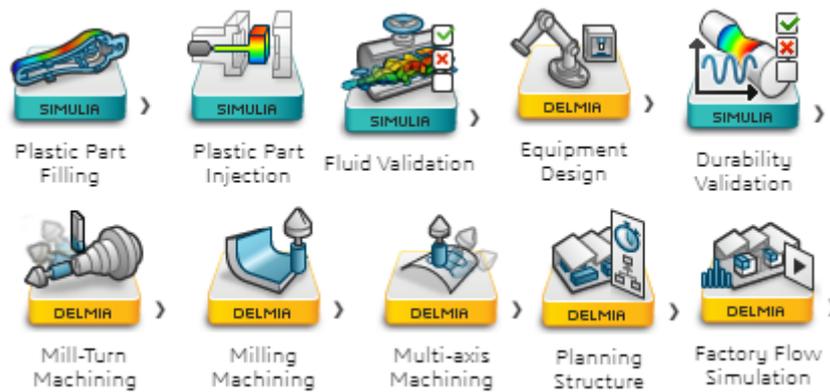


Figura 32. Simulation Apps.

- **Information Intelligence Apps:** son aplicaciones que nos sirven de complemento a las demás aplicaciones de trabajo, podemos encontrar una calculadora, el servidor de correo electrónico o un creador de gráficos, pero sin duda la aplicación más productiva de esta sección es una que nos permite crear “3DDashboard”, que traducido, sería algo así como pizarras digitales, es un entorno digital donde el creador puede colocar cualquier cosa, son muy útiles para gestionar GAPS, personal, o para proyectar de una manera creativa métricas y otros indicadores de la empresa.

### 5.3.2. Formación en 3DEXPERIENCE

Uno de los objetivos principales de este trabajo académico es aprender a utilizar la herramienta CAD/CAM/CAE 3DEXPERIENCE, hemos hablado de la importancia de los programas CAD en la ingeniería de desarrollo de productos, como estos programas han evolucionado en el desarrollo de superficies más complejas, también se ha comentado la importancia de los programas de simulación CAE, como a través de simular en ordenador futuras situaciones que se van a dar en el producto final ahorran grandes cantidades de dinero, y finalmente los softwares CAM que simulan las distintas técnicas de fabricación proporcionando información sobre tiempos de procesado, desgaste de herramienta, etc. Y todo este entorno gobernado por las reglas de la ingeniería colaborativa, donde la colaboración entre distintos usuarios, reuniones en entornos virtuales, Big Data o gestión PLM son conceptos con creciente importancia en el desarrollo de nuevos productos.

Todos los aspectos que se han tratado en el párrafo anterior están incluidos en la plataforma 3DEXPERIENCE, por ello aprender a usar esta plataforma a nivel usuario y entender todas las distintas opciones que nos puede ofrecer es algo que, aunque no aparezca reflejado en el trabajo, tiene gran importancia. Sin embargo, vamos a explicar que es lo que tiene que hacer un usuario cuando se enfrenta a un programa de diseño totalmente nuevo para él, y más en concreto a 3DEXPERIENCE.

Para un diseñador o desarrollador de nuevos productos, no es necesario saber usar un determinado programa CAD, lo más importante es tener una buena metodología de modelado, la estrategia de modelado es algo que a simple vista no se aprecia en un archivo 3D, y que sin embargo quizás es lo más importante, podemos descubrir cómo de robusto es un diseño, y como de buena ha sido la estrategia de modelado cuando queremos realizar modificaciones sobre ese diseño. Más adelante, en el apartado dedicado a modelado se desarrollarán estos conceptos,

pero a modo de resumen el modelado se realiza con una serie de operaciones que se estructuran en un árbol con una secuencia, todas las operaciones son interdependientes, por lo que a la hora de modificar una operación del inicio del árbol tenemos que estar seguros que el programa va a ser capaz de resolver la modificación sin dar error.

Por lo tanto, al cambiar de plataforma de diseño, el usuario se va a encontrar con multitud de dificultades en relación con encontrar las distintas operaciones, pero con un tiempo de adaptación a la interfaz debería de ser capaz de conseguir realizar un modelo robusto con una buena estrategia de modelado, independientemente del programa de diseño.

Para la adaptación a la interfaz del programa, tradicionalmente los programas disponían de una guía de usuario de gran volumen, actualmente la mayoría de ellos dispone de la misma guía con cursos de formación en versión online. 3DEXPERIENCE dispone de una plataforma denominada academia, donde dispone de una base de datos con multitud de cursos que explican el funcionamiento de todas sus aplicaciones, puesto que los cursos son de larga duración cada usuario en su espacio personal dentro de la aplicación dispone de una librería con sus cursos marcados como favoritos donde se conserva el progreso.

Con respecto a la colaboración actual de la Universidad Politécnica de Valencia con la Universidad Politécnica de Madrid, existe también una especie de plataforma/foro donde los distintos usuarios colaboradores cuelgan cursos, progresos o problemas que ayuden a la comunidad a entender el funcionamiento de la novedosa plataforma 3DEXPERIENCE

### **5.3.2. Estructura de archivos y formato**

Cada aplicación CAD/CAM/CAE en función del fabricante tiene sus propios formatos de archivos, y a su vez es capaz de importar y exportar en otros formatos de archivos bien característicos de otros programas, o bien los denominados formatos de intercambio, algunos de los formatos de intercambio más comunes son iges, dxf, sat, stl, parasolid y JT.

Actualmente no existe un único formato de archivo con el que trabajen todos los distintos softwares de diseño y modelado 3D, cada uno tiene su propio formato de archivos, por lo que, si dos personas quieren compartir archivos, han de tener en cuenta en qué tipo de formato pueden exportar e importar sin perder calidad de información. Actualmente se puede considerar el problema del intercambio de información como uno de los problemas más graves de la ingeniería concurrente, y es que, por su propia definición la ingeniería concurrente está basada en la cooperación, y para que esta cooperación sea fructífera los archivos han de ser compartidos continuamente y es de vital importancia que no se pierda información a la hora de compartir archivos.

En el caso de 3DEXPERIENCE, el formato de trabajo es .3dxml, pero puede tanto importar como exportar en la mayor parte de los formatos de intercambio mencionados con anterioridad, de todos modos, a la hora de intercambiar archivos es recomendable mirar en la descripción de los programas involucrados, tanto el formato admisible como la versión de este admitida.

Finalmente, decir que a la hora de realizar un intercambio de información relacionado con archivos 3D, entre dos programas distintos es usual ver como únicamente se conserva el modelado sólido, perdiendo toda la información relacionada con las features, las cuáles podemos definir como todas aquellas operaciones que se realizan sobre el modelo para obtener la forma final deseada (extrusión, corte, revolución, etc.).

Todos los softwares principales de diseño, véase Inventor, Solidworks, Solidedge, etc. Suelen tener cuatro tipos de formato, en función de si lo representado es un sólido, un ensamblaje de sólidos, un plano y un cuarto tipo que son los archivos de chapa. 3DEXPERIENCE únicamente tiene un formato de archivo que vale para toda la multitud de aplicaciones, que es .3dxml.

El formato 3dxml. ofrece la posibilidad de juntar en un mismo archivo tanto el objeto 3D, como su representación en un plano, y a su vez unir varios objetos en un ensamblaje, cada uno con sus planos, y a su vez con un plano conjunto. Normalmente un software PDM, y por consiguiente PLM interrelaciona las representaciones 3D de un objeto con su representación en plano, pero esta interrelación es ficticia, ambos son archivos separados, en 3DEXPERIENCE todo ello pertenece a un mismo archivo.

Hay tres tipos de representaciones:

- **3D Shape:** .se corresponde con la forma del objeto, dentro almacena todas las features que han sido usadas para obtener la forma final.
- **Drawing:** es la representación sobre plano tanto de un objeto como de un ensamblaje de estos.
- **3D Part:** contiene tanto la forma del objeto como la representación sobre plano de este.
- **Physical Product:** se corresponde con el ensamblaje de distintos objetos.

La organización de todas estas representaciones se puede ver en la Figura 33 y la Figura 34, siendo la representación esquemática y un ejemplo respectivamente.

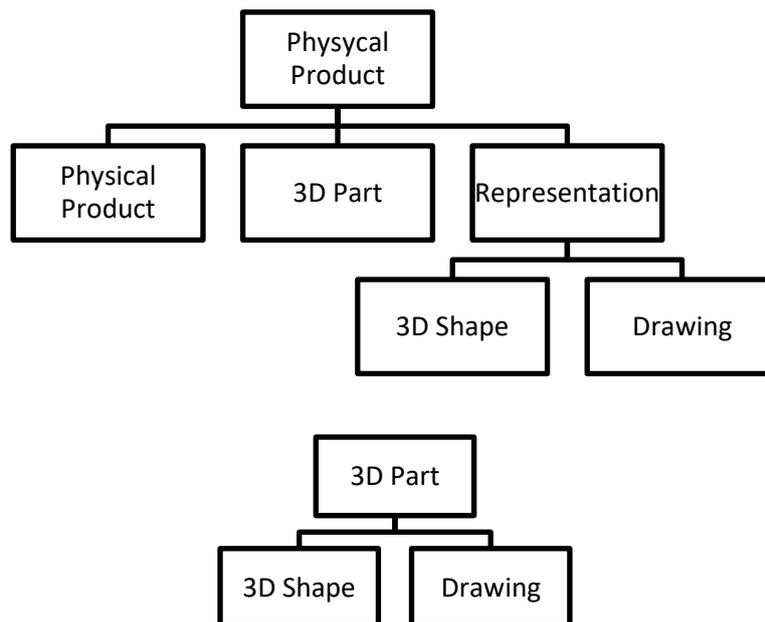


Figura 33. Esquema PLM 3DEXPERIENCE.

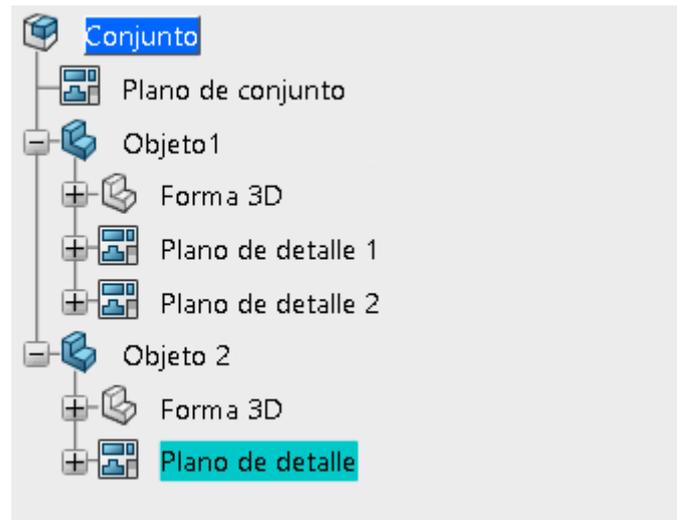


Figura 34. Ejemplo de organización archivos 3DEXPERIENCE.

### 5.3.3. Principales aplicaciones de 3DEXPERIENCE usadas en el trabajo práctico

Se ha comentado anteriormente que 3DEXPERIENCE no posee un programa CAD ni CAM ni CAE al uso, sino que posee multitud de aplicaciones/programas en función de la tarea que se va a desempeñar, hay cuatro grupos principales de aplicaciones, por un lado, tenemos las "Social & Collaborative Apps", dedicadas a la gestión de PLM, y a la interacción entre usuarios, debido a nuestro rol de usuario alumno, no disponemos de muchos permisos que nos permitiesen la gestión de proyectos, o la interacción con otros usuarios, por lo que en este apartado únicamente hemos podido aprovechar la aplicación "3DDrive", para asegurar los archivos del trabajo en la nube, y así tener una fácil comunicación alumno-profesor, característica de la ingeniería colaborativa, equipo de trabajo geográficamente disperso, con un funcionamiento similar a cualquier espacio en la nube como pueda ser Dropbox o Google drive, pero con una mejor interacción entre los archivos guardados en el drive y las demás aplicaciones de 3DEXPERIENCE.

La parte principal del diseño de un nuevo producto se desarrolla a través de las aplicaciones de modelado 3D, todas ellas las podemos encontrar en el espacio dedicado a ello "3D Modeling Apps". 3DEXPERIENCE ofrece multitud de posibilidades de diseño en función del tipo de diseño a realizar, debido a que no es del alcance de este trabajo explicar todas las distintas aplicaciones que ofrece el programa, haremos una breve introducción a aquellas que nos han sido de gran utilidad a la hora de diseñar la rejilla:



La primera aplicación que hemos usado en el trabajo ha sido "Gen. Wireframe & Surface", una aplicación para la creación de superficies complejas, para poder entender que ventaja nos ofrece esta aplicación en nuestro proyecto académico, primero tenemos que entender el concepto superficie, y cómo ha evolucionado este con el paso del tiempo:

*"Intuitivamente una superficie puede ser considerada como la película infinitamente delgada que recubre un cuerpo cualquiera o que separa dos regiones del espacio."*

Las superficies se pueden clasificar principalmente en superficies circulares o regladas, siendo estas últimas las generadas por una recta denominada generatriz al desplazarse sobre una recta,

curva, o cualquier combinación entre ellas, a su vez, las superficies regladas se pueden clasificar en función de la complejidad del elemento de generación en simples: superficies de traslación (superficies planas), superficies de revolución o superficies helicoidales; y complejas, como pueden ser el cono, toroide o el elipsoide.

Tradicionalmente los programas de diseño, así como los métodos de fabricación únicamente permitían la obtención de superficies simples, sin embargo, la aparición de nuevas técnicas de fabricación y la mejora de las existentes, permiten obtener superficies muy complejas, para poder observar mejor esta evolución, la Figura 35, nos ofrece la comparativa entre un coche del siglo XX, el clásico 600, donde fácilmente podemos identificar formas simples, como esferas, prismas, etc., y por otro lado tenemos un Ferrari actual, cuyo diseño parece que ha sido realizado por un artista sobre un folio, en vez de en un programa de diseño 3D.



Figura 35. Evolución del diseño del automóvil.

Esta aplicación nos permite crear superficies de cualquier complejidad, y con cualquier forma, posteriormente estas superficies las podemos convertir en sólidos en la misma aplicación dándole un determinado espesor a la superficie, o bien, exportar esta superficie a otra aplicación para poder tratarla con las técnicas de modelado deseadas.



La siguiente aplicación que se ha utilizado es "Part Design", en este caso 3DEXPERIENCE dispone de dos aplicaciones, una con las funciones más básicas "Part Design Essentials", y otra que comprende las aplicaciones anteriores además de otras de mayor complejidad que nos serán de gran utilidad a la hora de modelar tanto la pieza, como el molde.

Esta aplicación se puede asemejar a los programas de modelado 3D al uso, ya mencionadas antes (Inventor, SolidWorks, SolidEdge, ...), y las funciones principales se pueden ver en la Figura 36.

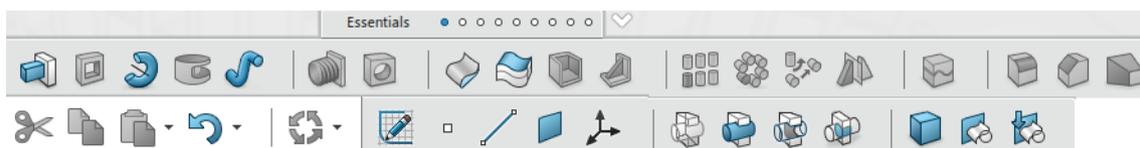


Figura 36. Part Design tools.



Tanto la aplicación de generación de superficies, como la aplicación de modelado, son aplicaciones que fácilmente podríamos encontrar en cualquier otro programa CAD, de hecho, el proceso de diseño se realizaría exclusivamente con ambos módulos, pero en nuestro caso, 3DEXPERIENCE nos ofrece aplicaciones como *“Functional Plastic Parts”*, dedicada exclusivamente al diseño de piezas plásticas, y al diseño del molde.

La primera diferencia se puede encontrar nada más abrir la aplicación, dentro de ella no vamos a encontrar las funciones típicas de un programa de modelado 3D, (extrusión, vaciado, barrido, revolución...), sino que encontraremos funciones que nos ayudarán a obtener las geometrías típicas de las piezas de inyección plástica de una manera más directa.

En la Figura 37, podemos ver las principales funciones, *“features”*, de esta aplicación, 3DEXPERIENCE divide las funciones en varias pestañas, la primera dedicada a las funciones principales de cada aplicación, y las siguientes suelen ser funciones comunes como las transformaciones (simetría, patrón, mover, ...), funciones de visualización, etc. Las funciones de la primera pestaña de la imagen, *“create”*, nos permite crear la geometría, mientras que la segunda pestaña son funciones dedicadas a la parte de molde.

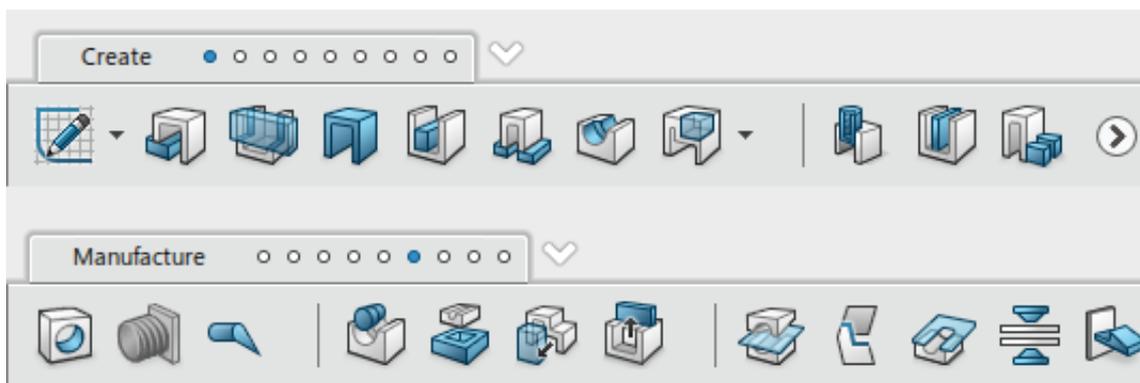


Figura 37. Funciones de Functional Plastic Parts.



*“Assembly Design”*, es la aplicación con la que el diseñador va a conseguir ensamblar los distintos subcomponentes de un producto final en un mismo conjunto.

Para unir las distintas partes del producto final, los distintos softwares limitan los grados de libertad de cada subcomponente hasta que estos quedan restringidos a través de uniones tipo coincidencia entre caras, ejes, paralelismo, plano medio, etc.



La aplicación *“Drafting”*, al igual que *“Part Design”* y *“Assembly Design”*, es otra aplicación común a los distintos softwares de diseño 3D existentes, la función de esta aplicación es definir en un plano las distintas medidas, tolerancias y acabado de las piezas. Los planos también se utilizan para hacer despieces de subcomponentes.

Los entornos de las aplicaciones anteriores *“Drafting y Assembly Design”*, son bastante parecidos en cuanto a funcionamiento a los de la competencia, por lo que el diseñador será capaz de adaptarse fácilmente a ellos



Con el desarrollo de los programas de diseño 3D la representación en forma de planos ha variado mucho, años atrás era común que para piezas de gran complejidad de visualización fuesen necesarias varias hojas de planos con vistas, detalles, cortes y secciones, todo esto sumado a la dificultad adicional que supone para el usuario interpretar correctamente el plano, sus cotas y tolerancias.

En la actualidad se ha desarrollado una manera más eficiente de poder representar toda la información dimensional que acompaña a la pieza, podemos ver esta forma de representar en la Figura 38, aunque únicamente nos aparezca la imagen 2D en la figura, el software permite rotar el objeto, mover y hacer zoom para apreciar todos los detalles de la pieza.

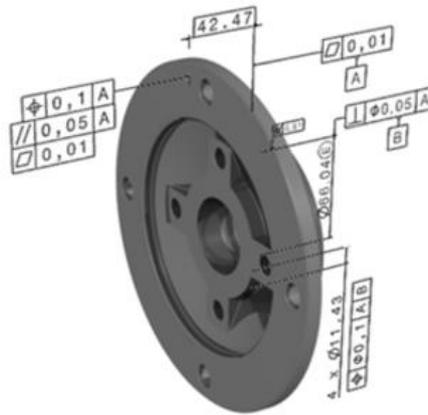
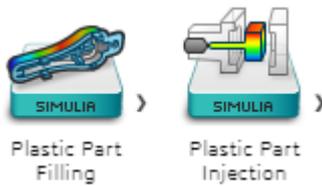


Figura 38. Representación 3D de restricciones geométricas y dimensionales.

Uno de los mayores problemas que tienen las empresas es el alto costo que tienen las licencias de programas de diseño 3D, hoy en día la mayoría de empresas que únicamente se dedican a la producción de piezas, dejando de lado la ingeniería de desarrollo de producto, reciben la información relativa al producto en forma de planos, que transforman posteriormente en un producto final, si estas empresas no tienen la necesidad de adquirir una licencia, no podrían leer estos nuevos planos. Sin embargo, esta tecnología hoy en día ya está al alcance de todos, Adobe, programa que nos permite la lectura de documentos pdf, incluye en su nueva versión esta tecnología, la cual es el complemento perfecto a la representación 2D.

Estas seis aplicaciones de modelado son las que se han usado en el desarrollo de este trabajo académico, pero como se ha comentado en el apartado dedicado a la interfaz, se dispone de multitud de módulos a nuestra disposición, de ellos los más destacados en cuanto a nueva tecnología se refiere, son aquellos destinados a técnicas de impresión 3D y a la ingeniería inversa, que consiste en teniendo el objeto físico mediante técnicas de escaneo 3D, obtener el modelo 3D en forma de malla, también dispone de una aplicación que permitirá tratar esta malla a posteriori.

Una vez se han desarrollado los programas CAD empleados en el documento, se va a hacer una breve introducción a los programas CAM/CAE empleados. Como se ha visto en la interfaz del programa, podemos encontrar esta serie de programas en el apartado "Simulation Apps".



3DEXPERIENCE nos ofrece dos aplicaciones CAE para simular el proceso de llenado de una pieza, “*Plastic Part Filling*” y “*Plastic Part Injection*”, ambas tienen un funcionamiento muy parecido, a través de un diseño de pieza y unas condiciones de entrada del proceso de inyección, ambas aplicaciones simularán el proceso de moldeo por inyección para así poder identificar posibles fallos o

bien en el diseño de la pieza o bien en las condiciones de inyección, como pueden ser: líneas de soldadura, partes de la pieza que alcanzan gran temperatura, burbujas de aire atrapadas, marcas de hundimiento, etc.

Sin embargo, aunque ambas en ambas aplicaciones el funcionamiento y las condiciones de entrada necesarias sean similares, ambas aplicaciones no ofrecen los mismos resultados, por una parte, “*Plastic Part Filling*” únicamente simula el proceso de llenado del molde y nos ofrece resultados en el momento en que acaba la inyección, mientras que “*Plastic Part Injection*”, simula todo el proceso de inyección y nos ofrece resultados cada x segundos. El proceso de cálculo interno es muy costoso por lo que normalmente en el desarrollo del trabajo usaremos la aplicación de llenado de molde únicamente excepto para la simulación final, donde con la aplicación de simulación de inyección plástica obtendremos una amplia gama de resultados.

#### 5.3.4. Procedimiento de Análisis del proceso de Llenada

A continuación se va a explicar el proceso a seguir en la aplicación para poder obtener resultados, podemos ver los distintos pasos del método en la esquina superior derecha de la Figura 39:

1. Indicar el material.
2. Establecer los parámetros del proceso: tiempo de llenado, temperatura del plástico, temperatura de molde y el límite de presión. En caso de desconocer estos parámetros, el programa da una estimación de ellos.
3. Colocar el/los puntos de inyección sobre la pieza.
4. Mallas la pieza, es una de las partes más críticas, con cualquier técnica y método se puede conseguir mallas un objeto 3D, pero esta malla puede llegar a ser muy pesada, por lo que conseguir depurarla y optimizarla nos haría ahorrar múltiples horas de tiempo de procesado.
5. El proceso de simulación es el más costoso en cuanto a tiempo de procesado, dependiendo de la complejidad de la pieza puede llevar incluso días.
6. Análisis de resultados, una vez el proceso de cálculo ha finalizado, es posible visualizar los resultados de un modo visual como en la Figura 39.

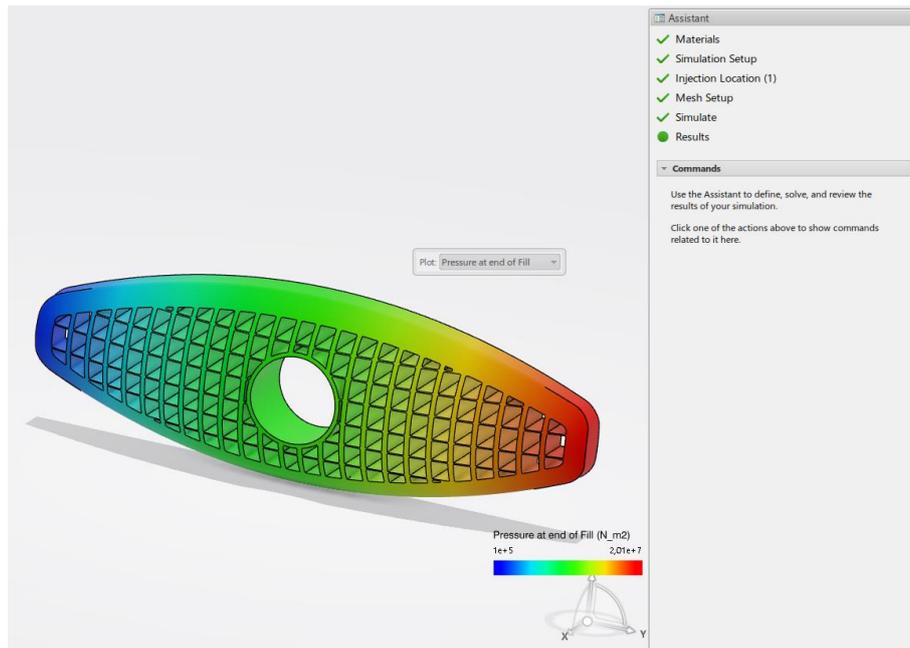


Figura 39. Aplicación CAE para el llenado del molde en 3DEXPERIENCE.



# CAPÍTULO 6. DISEÑO AVANZADO

## 6.1. INTRODUCCIÓN

Durante el presente capítulo se va a desarrollar la etapa del ciclo de vida denominada diseño avanzado o diseño de detalle, esta etapa es la continuación de la fase de diseño conceptual, en la cual se empieza a realizar el diseño de lo que va a ser el producto final, y en la cual se definen las directrices que se van a seguir en la posterior etapa de diseño de detalle.

Ya se ha comentado que el objetivo final de este trabajo académico es el conseguir un diseño final de una pieza de inyección plástica del sector del automóvil e indicar teóricamente el proceso de fabricación. Durante el capítulo 4, Caso de estudio, se realizó una introducción a las primeras etapas del ciclo de vida, que nos sirven de preámbulo a la etapa principal del diseño, qué es el diseño de detalle o diseño avanzado en donde se van a definir todas las distintas características finales de la pieza, los capítulos son la introducción teórica a las distintas técnicas de fabricación o a las distintas herramientas avanzadas de diseño que se van a usar en el desarrollo del nuevo producto.

En el caso de estudio ya hemos definido de un modo teórico la forma que va a tener nuestro producto, el material y la técnica de fabricación, en esta fase vamos a diseñar el producto físico, para diseñar o modelar el producto es necesario el uso de un software potente de diseño que nos permita trabajar con superficies y conjuntos complejos, la elección para el diseño en este proyecto ha sido 3DEXPERIENCE, que nos ofrece un software CAD con el que diseñar el producto, un gestor PLM con el que simular lo que sería la gestión de datos en un equipo de trabajo, con revisiones de las piezas, asignación de roles, etc., y softwares CAD/CAE con los que realizar las simulaciones necesarias del proceso.

Aunque el proceso de diseño de detalle en cada proyecto se ha de estructurar de una manera, podemos establecer una serie de guía, si bien es cierto que todas las tareas de la guía están interconectadas, sobre todo, el diseño de la pieza va a afectar tanto al diseño del molde como al plan de fabricación:

- **Modelado:** no es objeto de este trabajo académico el explicar cómo se ha modelado la pieza, o cómo se han llevado a cabo las diferentes modificaciones sobre ella, únicamente se van a desarrollar aquellos aspectos que se consideren cruciales para entender la estrategia de modelado, sin entrar en detalle de cómo se ha ejecutado en 3DEXPERIENCE.
- **Análisis de inyección:** en el capítulo dedicado a herramientas avanzadas, hemos visto que 3DEXPERIENCE dispone de un montón de programas CAE de simulación, en concreto nos será de gran utilidad el programa de análisis de llenado de molde “*Plastic Part Filling*”, para identificar posibles fallos en el diseño que afecten a la apariencia final

de la pieza, y la aplicación “*Plastic Part Injection*”, la cual simula no solo el proceso de llenado de molde, sino también el proceso de solidificación.

- **Diseño de molde:** aunque los dos principales apartados sean los dos primeros, se tratará de un modo teórico el diseño de lo que sería el molde de inyección, el modelado del molde no se va a explicar en este documento, solo se explicarán las distintas partes.
- **Plan de fabricación:** aunque se ha desarrollado el método de inyección de plásticos en los primeros capítulos teóricos, se va a explicar cuál sería el proceso que seguir en el caso de nuestro producto, con que técnica se va a fabricar el molde y cuáles van a ser las características de la inyección.

## 6.2. MODELADO

Primero de todo se va a definir lo que es modelar, modelar se considera a la acción de dar la forma deseada principalmente a un material blando como puede ser la cera, se usa principalmente a la hora de esculpir objetos de material blando, de la propia definición de modelar podemos obtener la que nos interesa a nosotros, que es aquella que define modelar como dar la forma deseada a un nuevo producto mediante un software de diseño 3D.

En primer lugar, vamos a explicar por qué es importante utilizar una buena estrategia de modelado, es decir, a la hora de usar un programa de diseño 3D, podemos decir de una manera muy genérica, que el modo de obtener un diseño final y acabado es con la combinación de multitud de operaciones, “features”, en un orden cronológico y cada una de las cuales poseen sus propias restricciones, todas estas operaciones y restricciones pueden tener relaciones conexas. Si bien es cierto que cada vez se está desarrollando en mayor medida una estructura de operaciones mucho menos ordenada, en la cual no se crea ningún árbol de operaciones, cada operación es independiente de las demás en la secuencia, pero no en el espacio, es decir no importa en qué orden se haga cada operación pues se pueden modificar independientemente, pero estas operaciones pueden estar referenciadas a otras, el modo de diseño que se ha seguido en este trabajo académico y el que nos ofrece 3DEXPERIENCE es el modo secuencial o modo de árbol.

Aunque no lo parezca, la estrategia de modelado repercute directamente en el precio final del producto al igual que muchos otros factores, al hablar del ciclo de vida se comentó que conforme se avanza en el tiempo el coste de realizar un cambio es mucho mayor, así como, el número de cambios que se realizan en las primeras fases del diseño es exponencialmente mayor al número de cambios a realizar en las últimas fases, se puede concluir que el número de cambios a realizar en el diseño en la fase de diseño avanzado va a ser bastante elevado. Una buena estrategia de modelado permitirá tanto al diseñador como a cualquier persona ajena al diseño, realizar cualquier cambio en el modelo de manera rápida. Puede darse el caso de que introducir una modificación en las primeras fases de diseño sea más costoso que empezar el diseño de nuevo, es por ello que invertir el tiempo en realizar un buen acotado, una secuencia de operaciones lógica, renombrar las operaciones para saber que se realiza en cada una, etc., nos ahorre una gran cantidad de recursos a la hora de querer realizar modificaciones o nuevas versiones del producto.

A continuación, se va a desarrollar la estrategia de modelado que se ha seguido en el diseño de la rejilla frontal, y, tras un análisis del primer modelo obtenido se va a modificar el diseño para verificar la robustez del método.

Es difícil imaginar el diseño de una pieza de un coche sin el resto del coche, pero basaremos el diseño en el concepto definido en el capítulo “caso de estudio”, ya hemos comentado que los coches son diseñados con la unión de múltiples superficies complejas, por lo que la parte vista de la rejilla debería de ser una superficie compleja que acoplara a la perfección con el resto de elementos, a partir de esta superficie exterior se diseñarán las distintas partes de la rejilla que acoplarían en la parte frontal.

Para construir la superficie exterior ya mencionada, se va a hacer uso del programa Gen. Wireframe & Surface, donde a partir de varios *splines*, y con una operación especial, se obtendrá la superficie deseada. Los *splines* delimitarán la superficie, por lo que cualquier irregularidad en estos nos provocaría una superficie discontinua, incluso la operación podría provocar solapamientos.

Sin entrar en numerosos detalles sobre el estudio de curvas y superficies, vamos a explicar dos conceptos que serán de gran ayuda a la hora de obtener una superficie que no genere problemas en el diseño futuro:

- **Curvatura de flexión:** la curvatura de una curva nos indica como de constante es el vector tangente a la curva en los infinitos puntos de esta, con la herramienta de análisis de curvatura podemos identificar de un modo gráfico dicha curvatura, en la Figura 40, vemos el resultado de este análisis, y cómo esta se mantiene constante a lo largo de la curva.

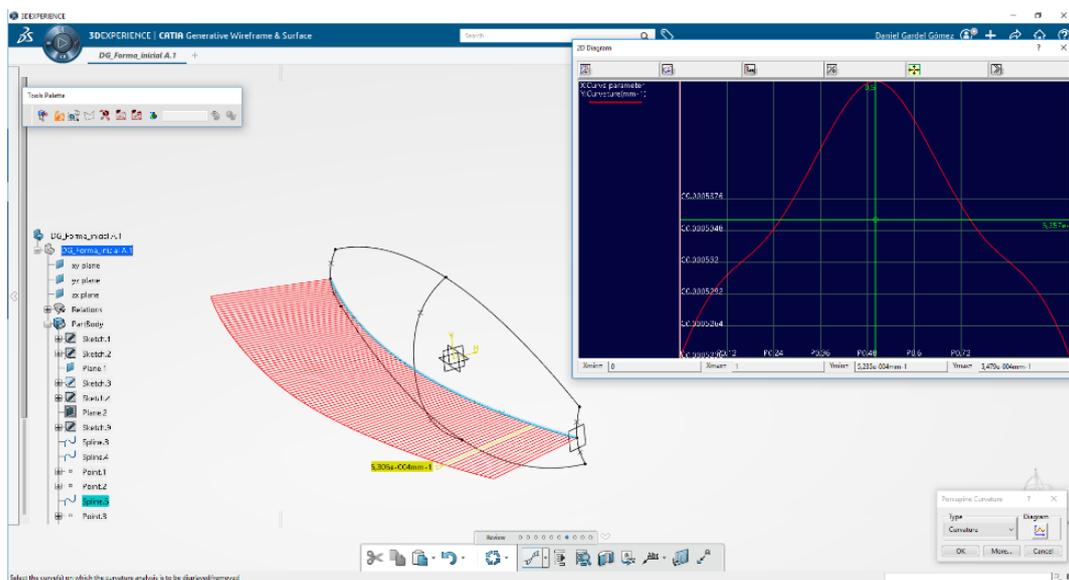


Figura 40. Análisis de curvatura de la curva guía

En el caso de que esta curvatura no fuese constante y quisiésemos suavizar este efecto, 3DEXPERIENCE nos ofrece una operación muy útil a la hora de trabajar con curvas y superficies, la opción “autosmooth”, la cual, intentaría conseguir que la curvatura de flexión fuese lo más constante posible a lo largo de la curva, al aplicar esta herramienta sobre curvas uniformes no produce ningún efecto, tal y como se muestra en la Figura 41.

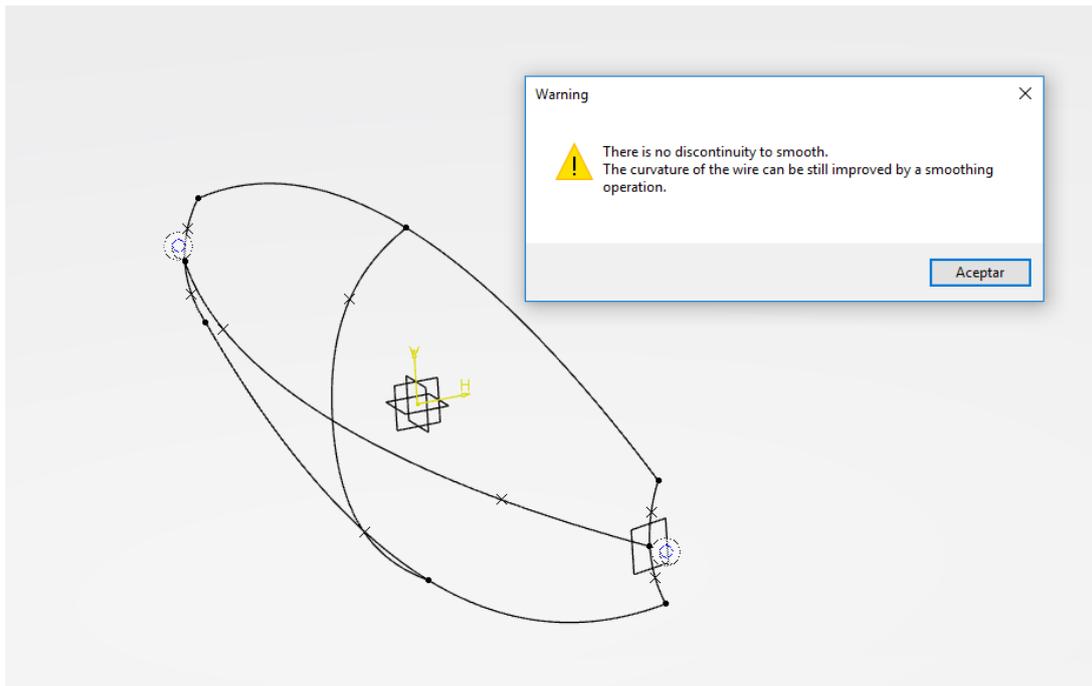


Figura 41. Función Autosmooth

- **Continuidad entre curvas:** cuando se unen dos curvas en un punto, esta unión puede tener distintas características en función de una serie de parámetros, decimos que la continuidad es  $G_2$ , cuando el punto de unión es coincidente y ambas curvas tienen la misma tangente y curvatura, la continuidad es  $G_1$ , cuando el punto de unión es coincidente y ambas curvas tienen la misma tangente en dicho punto, y finalmente continuidad  $G_0$ , cuando en el punto únicamente ambas curvas son coincidentes. Puesto que en nuestro caso no hay curvas que tengan que conectar no tiene sentido aplicar esta propiedad.

Esta propiedad también es aplicable a la unión entre superficies, donde al igual que en las curvas la continuidad deseada siempre será  $G_2$ .

Una vez obtenida la superficie lo siguiente, es comenzar a operar con ella, mediante la misma aplicación se va a extraer una película exterior hasta un plano recto, esta superficie será el acople de la rejilla con la carrocería, el resultado final obtenido con esta aplicación es el de la Figura 42.

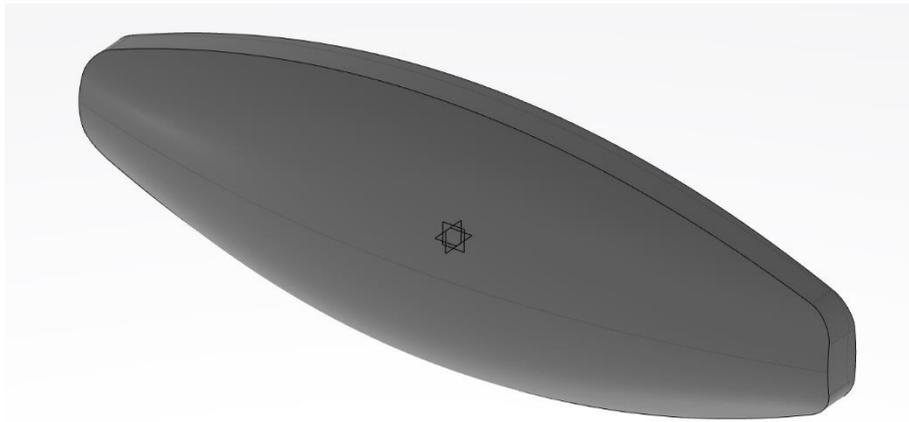


Figura 42. Superficie exterior de la rejilla.

Una vez obtenida la película que va a cubrir nuestra rejilla, abrimos el archivo en la aplicación “Functional Plastic Parts”, como se ha explicado en el capítulo introductorio a 3DEXPERIENCE, este software es una plataforma que dispone de multitud de aplicaciones compatibles entre sí, por lo que para usar la superficie en la aplicación para el modelado de elementos plásticos únicamente tendremos que abrir el archivo con dicha aplicación.

El primer paso es adjudicar un espesor a la superficie previamente generada, la selección del espesor se debe de tomar en función de varios factores, como son la resistencia que se espera obtener de la pieza, y factores que afectaran a la inyección de material. Para esta primera iteración vamos a escoger un espesor general de 7mm y un espesor menor para las lamas horizontales de la rejilla, la diferencia de espesor entre dos zonas es algo no deseado en las piezas de inyección plástica, el motivo de hacer este diseño es ver en el análisis de llenado los problemas que genera esta elección, podemos ver el resultado de aplicar el espesor en la Figura 43.

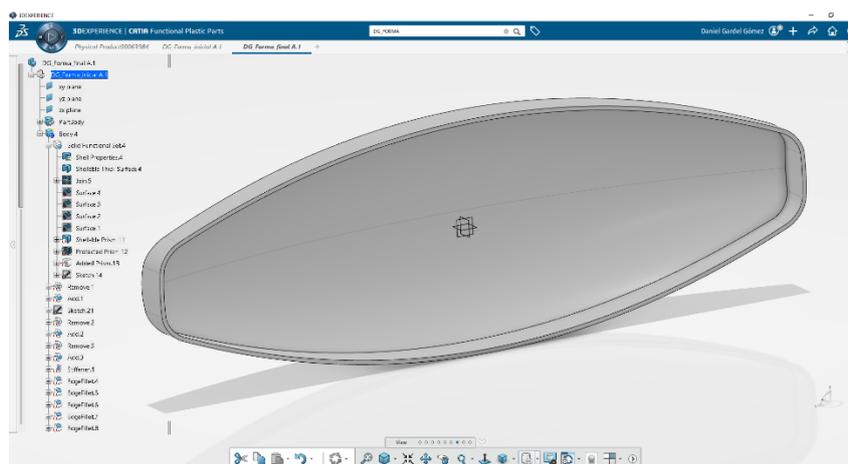


Figura 43. Marco exterior de la rejilla

Ya disponemos de lo que podemos considerar el marco exterior de la rejilla, si bien es cierto que en ningún momento hemos hablado de dimensiones, a la hora de realizar el diseño de un nuevo producto, una de los aspectos más importantes es el aspecto dimensional, tanto la superficie como el marco exterior de la figura, se han diseñado teniendo en cuenta unas medidas tomadas



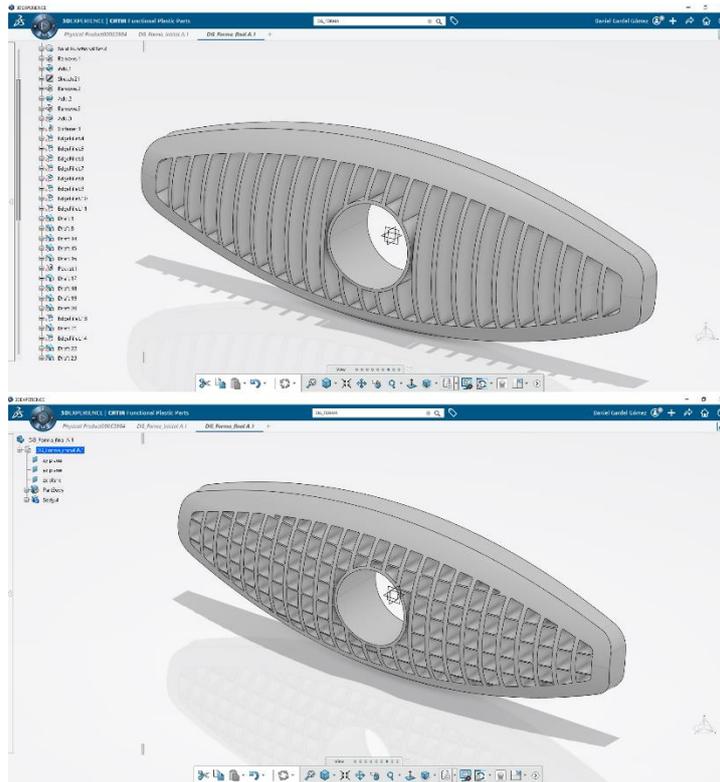


Figura 45. Diseño final rejilla

Ya por último nos quedan los nervios en la parte trasera del marco, de no ponerlos la pieza perdería rigidez y contraería obteniendo una dimensión menor que la deseada, los nervios se han colocado de manera vertical, aunque también se podrían haber colocado en cruz, podemos ver el efecto de los nervios en la Figura 46.

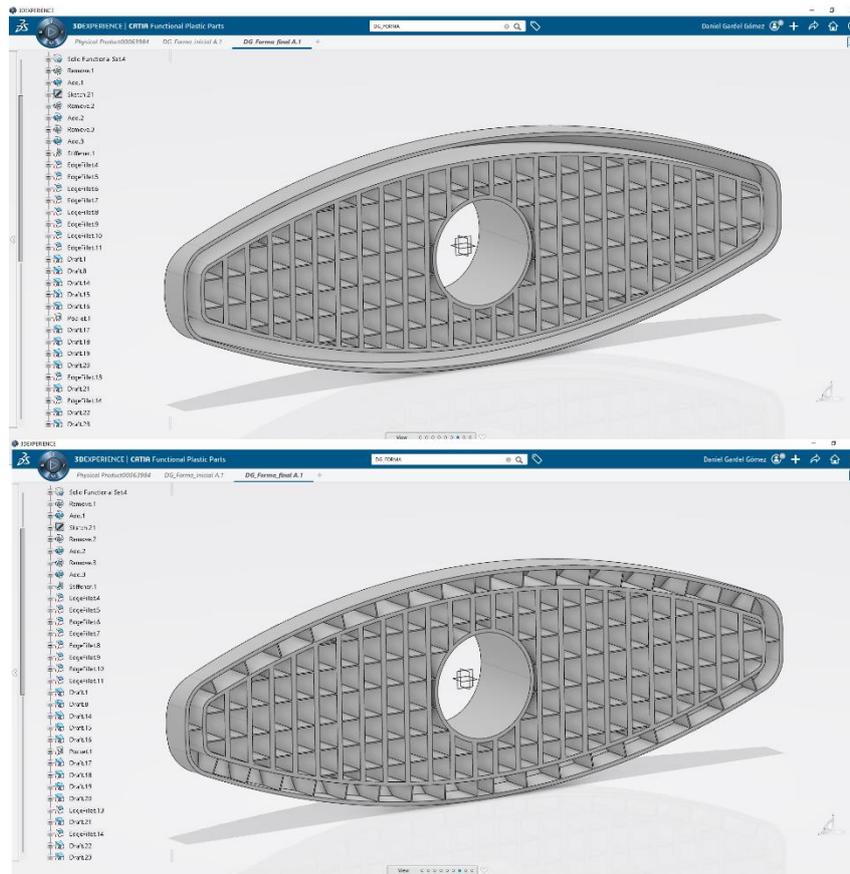


Figura 46. Nervios de la rejilla

Una vez tenemos la forma final de la pieza, el último paso siempre tiene que ser el aplicar los ángulos de desmoldeo y los redondeos, es muy importante no realizar estos dos pasos antes, al aplicar un redondeo la superficie que forma una cara se divide en dos partes la superficie plana y el ángulo de redondeo, y si posteriormente queremos modificar esta cara vamos a tener muchos problemas, tantos que finalmente eliminaremos el redondeo y lo volveremos a crear, es por ello que cuando apliquemos un redondeo tenemos que estar seguros de que esa cara no se va a ver modificada en un futuro. Con los ángulos de desmoldeo sucede algo muy parecido, aplicar un ángulo de desmoldeo a una cara no es más que girarla sobre un plano definido por el usuario una cierta inclinación, al igual que en el caso anterior si quisiésemos realizar una operación sobre la cara, o bien no obtendríamos el resultado esperado, o bien, dependiendo la complejidad de la operación se produciría un error de cálculo.

El valor del ángulo de desmoldeo suele ser un valor muy pequeño e inferior a unos tres grados, a simple vista no somos capaces de reconocer sobre el modelo a que caras se les ha aplicado el desmoldeo y a cuáles no, el valor de este ángulo de desmoldeo se ha de elegir teniendo en cuenta la geometría de la pieza, las dimensiones y el peso. Teniendo en cuenta estos tres aspectos en el diseño de la rejilla, es una pieza de gran tamaño, y no tiene gran complejidad en el diseño que imposibilite el desmoldeo, no será necesario un alto valor del ángulo de desmoldeo, con 0,5 grados será suficiente.

En los párrafos anteriores se ha hablado del valor del ángulo de desmoldeo, sin embargo no se ha comentado nada acerca de la dirección y el sentido que debe de tomar este ángulo, estos factores van a depender directamente de la forma que adopte el molde, por lo que aunque el

diseño del molde se realice a posteriori, a la hora de realizar un nuevo diseño, el diseño del producto tiene que realizarse acorde a un futuro desmoldeo, en caso de realizar un diseño de una pieza sin tener en cuenta los factores desmoldeantes, es lógico que una vez se llegue a la construcción del molde, o bien sea imposible de realizar, o bien requiera de una complejidad innecesaria.

En el apartado de modelado de este mismo capítulo, se indicó que una vez teníamos la superficie exterior de la pieza, de esta superficie se realizó una extrusión hasta un plano, la intención de este plano es facilitar el diseño posterior del molde, el plano mencionado corresponde con la cara plana trasera del diseño, y la dirección de desmoldeo será la del vector normal a este plano, el motivo de realizar el diseño de este modo, en vez de realizar la extrusión hasta un plano paralelo a la superficie exterior es el de simplificar el diseño del molde, así como el diseño de la pieza.

Una vez definidos tanto el plano neutro, que a su vez marca la dirección de desmoldeo pues es normal a dicho plano y el ángulo de desmoldeo, se está en disposición de proceder a aplicar los ángulos de desmoldeo “drafts”, a continuación, se va a explicar las distintas opciones que ofrece 3DEXPERIENCE para llevarlo a cabo:

La primera opción es la que poseen todos los distintos programas de modelado, “draft”, representada en la Figura 47, esta función, “feature”, permite aplicar a una cara un determinado ángulo de desmoldeo, en una dirección y sentido determinados. Podemos observar las opciones que nos ofrece la operación en la imagen, tal y como se ha comentado, hay que establecer un valor de ángulo (angle), la cara o caras a las que se le va a aplicar el desmoldeo (faces to draft, en rojo), el plano neutro (neutral element, en azul) y finalmente el sentido del desmoldeo (pulling direction, flecha rellena blanca).

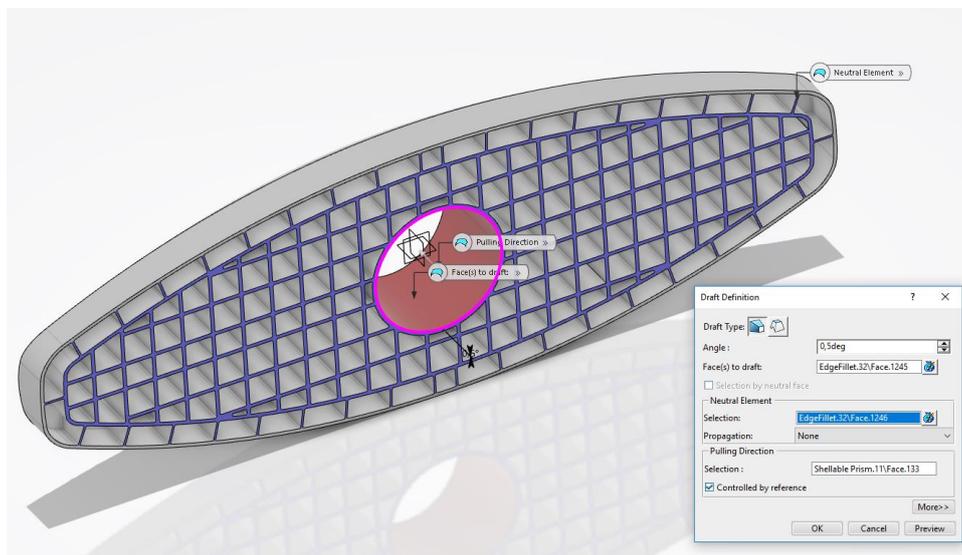


Figura 47. Ángulos de desmoldeo

La opción anterior es la opción manual que ofrecen los distintos softwares de diseño, esta opción es una opción controlada, pues en todo momento el usuario domina el programa, pero muy costosa, en el diseño de la rejilla podemos encontrar unas 500 caras sobre las cuales hay que aplicar ángulo de desmoldeo, y esta operación no se puede realizar toda de una vez pues

requeriría de un procesador muy potente que se fuese actualizando según fuésemos indicando caras, en resumen, este trabajo es un trabajo arduo y pesado.

3DEXPERIENCE ofrece una opción automática, donde introduciendo una serie de datos el programa automáticamente aplica los ángulos de desmoldeo a la pieza, la función se puede ver en la Figura 48.

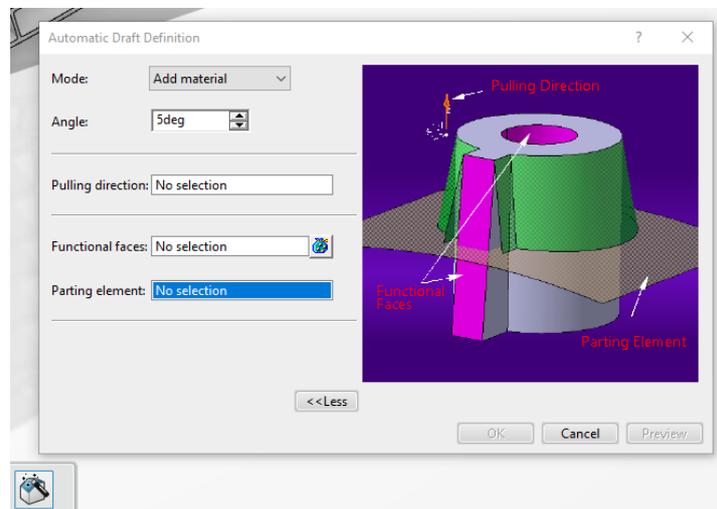


Figura 48. Automatic Draft

Cómo en la aplicación interior, las entradas son: un ángulo de desmoldeo y una dirección de desmoldeo, sin embargo, esta función añade varios elementos, “functional faces” son las caras sobre las que no se quiere aplicar el desmoldeo, “parting element” el plano a partir del cual se aplica el desmoldeo y finalmente el modo, añadir o quitar material. Si bien es cierto que esta función en la última versión de 3DEXPERIENCE únicamente funciona con diseños simples donde no hay multitud de caras, y en el diseño de la rejilla después de un tiempo de cálculo y procesado, el programa informa de un error de cálculo.

Finalmente, una vez se han aplicado ángulos de desmoldeo a todas las caras, hay que comprobar que este proceso se ha hecho de un modo correcto, para ello existe la función “draft analysis” que diferencia todas las caras de la pieza en función de los parámetros de entrada (plano neutro, dirección de desmoldeo y ángulo de desmoldeo), en caras a contrasalida o en la dirección de desmoldeo, podemos observar el resultado en la Figura 49.

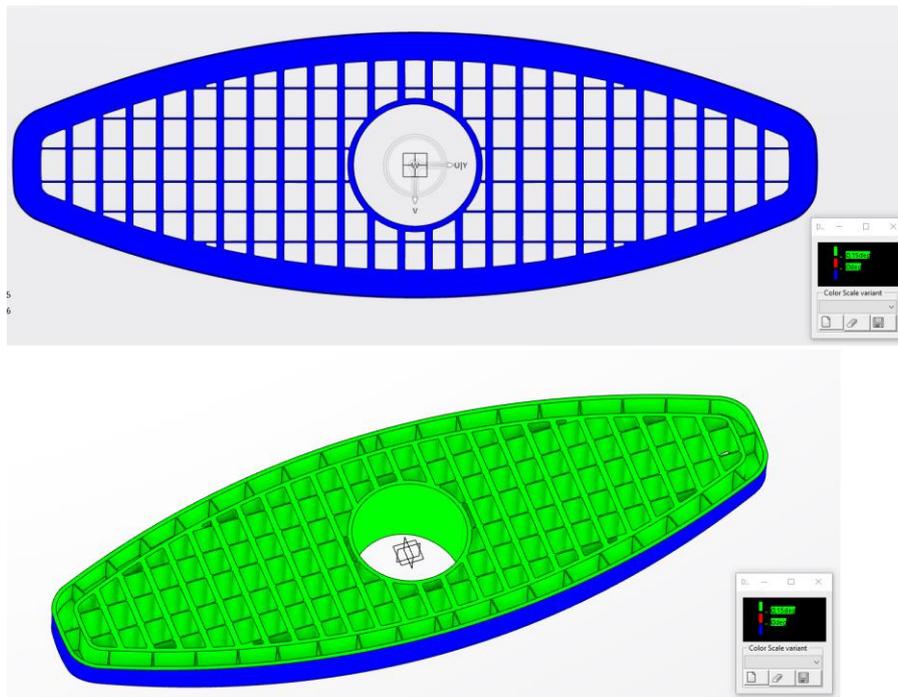


Figura 49. Draft analysis

Si esta fuese la versión definitiva de nuestro diseño, todas las uniones entre caras serían uniones en arista viva, es decir, la unión entre dos caras sería una arista perfecta, como puede ser el pico de una mesa, este tipo de terminación en uniones interiores es muy difícil y costoso de conseguir, pues el proceso de fabricación del molde ya no podría hacerse por mecanizado, tendrían que utilizarse otras técnicas de fabricación con abrasivos, láser, etc., además a la hora de desmoldear, aparecerían numerosos problemas de dificultad de desmoldeo.

Por ello se han de aplicar radios de redondeo a las uniones entre caras, el valor de este radio puede ser por ejemplo de 2,5mm. para mecanizar en el molde con fresa de 5 mm.  $\emptyset$ . Es muy importante que apliquemos los redondeos una vez se haya terminado la fase de ángulos de desmoldeo por dos motivos, el primero es simple la unión de redondeo es otra superficie distinta a la cara por lo que, el número de caras a procesar crece exponencialmente una vez se han aplicado los redondeos, y el otro motivo es que si aplicamos un radio y después rotamos la cara cierto ángulo, la unión ya no va a ser una superficie cilíndrica en todos los casos, sino que se convertirá en una superficie más compleja aunque no se aprecie a simple vista.

Al igual que en el caso de los ángulos de desmoldeo, 3DEXPERIENCE ofrece una función de auto redondeo, aunque esta función es mucho más específica que la anterior, en un diseño siempre hay aristas sobre las que queremos aplicar radios de redondeo, y aristas que deben permanecer como aristas, por lo que, esta función vuelve a estar destinada a piezas simples donde las entradas sean fácilmente controlables.

Una vez tenemos la pieza terminada, se está preparado para pasar al entorno de simulación, donde analizar posibles fallos en el diseño, así como el modo de solucionarlos. Esta fase de análisis se va a llevar a cabo durante el siguiente apartado del presente capítulo.

Las fases de modelado y análisis no son dos fases independientes, ambas tienen que permanecer en continuo intercambio de información, una vez se ha terminado el primer diseño, lo más lógico

es que aparezcan multitud de fallos en el proceso de análisis, para identificar de donde vienen dichos fallos, a veces, únicamente no basta con analizar los resultados, hay que hacer pruebas ensayo error, pero si ante un problema se identifican tres posibles causas, no nos serviría de nada rehacer el diseño entero y volver a simular, puesto que de aparecer de nuevo el fallo no habríamos eliminado ninguna posible variable de fallo, por tanto es conveniente ir realizando modificaciones sobre el diseño y verificando estas modificaciones en la fase de análisis.

El primer lugar se realizó un diseño con espesores no uniformes, el motivo principal de realizar este diseño es el de obtener resultados que nos sirvan de aprendizaje en el próximo apartado dedicado al análisis del proceso de inyección, así como, pondremos a prueba el modelado modificando posteriormente la pieza para que tenga un espesor uniforme.

En la Figura 50, podemos observar como únicamente modificando el espesor en las operaciones correspondientes se obtiene una pieza con la misma apariencia, pero con mejor diseño.

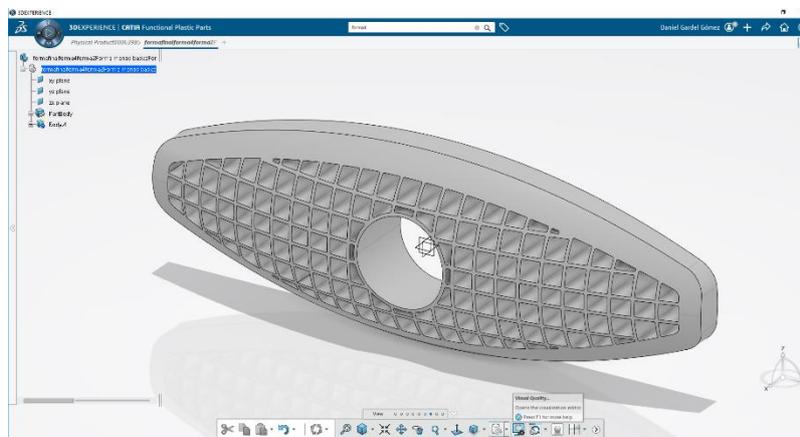


Figura 50. Diseño final espesor uniforme.

### 6.3. PLANOS DEL DISEÑO DEFINITIVO

Primero de todo es definir que es un plano, “un plano es una representación a escala de un producto”, hoy en día se ha disminuido el uso de los planos, debido a que normalmente es el archivo 3D lo que se usa para referenciar la geometría de una pieza, pedir presupuesto de molde, etc.

Sin embargo, hay que recalcar la importancia de que todo diseño tenga un plano asociado, debido a que es en el plano donde debe quedar reflejado no solo los acabados superficiales y tolerancias de la pieza, sino también las cotas críticas de montaje, las consideraciones, y las futuras revisiones de pieza. Si bien cabe recalcar, que el plano no tiene por qué ser ya aquel documento 2D, existe la posibilidad de realizar un plano con anotaciones 3D en PDF, como se observa en la Figura 38.

El plano es el contrato que adquiere el diseñador con la entidad responsable de la fabricación del producto, todas las técnicas de fabricación tienen tolerancias más o menos estrictas, pero existen y el diseñador debe diseñar un producto que pueda absorber esa diferencia de medida con respecto a la nominal en su producto. Por eso es muy importante reflejar todas aquellas cotas importantes en el proceso e identificar la tolerancia adecuada para ellas. En nuestro caso práctico desconocemos el proceso de montaje y ajuste con las demás piezas del frente del automóvil, pero indicaremos aquellas medidas que creamos importantes y les asignaremos una

tolerancia a modo de ejemplo. En todas las empresas existe un área dedicada a la calidad, que se encarga de confirmar que todas las piezas de los distintos proveedores cumplen con los requisitos establecidos en los planos, y de rechazar aquellas que no cumplen, una pieza que cumpla con todas las tolerancias y acabados definidos en el plano y que no se pueda llegar a montar, tendrá un fallo de diseño.

En cuanto a los planos del caso práctico decir que, el plano de la pieza se ha hecho a modo de ejemplo, para escenificar ciertas tolerancias dimensionales y geométricas según la norma UNE-EN-2768-1 y UNE-EN-2768-2, pero sin prestar especial atención a lo que realmente debería de ser un plano bien realizado. Finalmente se ha hecho un plano con una descomposición de las distintas partes del molde.

#### 6.4. ANÁLISIS DEL PROCESO DE INYECCIÓN

Uno de los objetivos principales de este trabajo académico es entender cómo funciona el proceso de inyección de plásticos y cuáles son las distintas consideraciones que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar nuevos productos con esta técnica. Para explicar las características de esta técnica, en un primer lugar se realizó una introducción teórica al proceso de inyección de materiales plásticos, y posteriormente se explicaron las distintas consideraciones de diseño para tener en cuenta en el desarrollo de productos por moldeo por inyección, en este apartado se van a ejemplificar mediante el caso práctico del diseño de la rejilla la importancia de seguir esas consideraciones de diseño en el aspecto final de la pieza.

De la definición de moldeo por inyección, *“El moldeo por inyección de plásticos es la técnica que consiste en inyectar el polímero fundido en un molde cerrado a presión y frío, dentro del molde el material se solidifica, la pieza final se obtiene al abrir el molde y expulsar la pieza”*, podemos obtener las distintas fases del proceso, fase de llenado, fase de enfriamiento y fase de expulsión. Puesto que ninguna de estas fases del proceso es independientes de la forma del producto, será necesario simular todos los distintos escenarios posibles para conseguir un diseño que optimice el proceso de producción, la simulación de las distintas fases se va a llevar de la siguiente manera:

- **Fase de llenado:** una vez el molde está cerrado, el sistema de inyección de la máquina empieza a introducir polímero en estado líquido hasta que toda la cavidad del molde se ha llenado por completo, se podría pensar de manera equívoca que únicamente con conocer la cantidad de volumen a rellenar con polímero es suficiente, y que una vez el molde este lleno el resultado final es siempre el mismo, pero como se ha visto anteriormente un incorrecto llenado de molde conllevaría un mal acabado de la pieza. El análisis de esta fase se lleva a cabo con la ayuda de software informáticos que simulan como sería el proceso de llenado, quizás el software más conocido sea *“Moldflow”*, pero 3DEXPERIENCE nos ofrece la herramienta *“Plastic Part Filling”*, usada en este trabajo académico para simular la fase de llenado de la rejilla.
- **Fase de solidificación:** tal y como se observa en la Figura 17, esta fase es de mayor duración que la fase de llenado, una vez toda la cavidad está llena de polímero en estado líquido, este debe solidificar y llegar a una temperatura en la cual ya no existe riesgo de deformación, para ayudar a disipar el calor de una manera más uniforme y veloz, se suele dotar al molde de canales de enfriamiento.

Al igual que en la anterior fase, este proceso puede ser simulado con la ayuda de softwares informáticos, que nos ayuden a simular y analizar el proceso de solidificación y poder encontrar posibles fallos de diseño de molde o de pieza, para nuestro trabajo académico, se ha usado la aplicación "*Plastic Part Injection*", si bien es cierto que esta aplicación no es del todo precisa pues no tiene en cuenta ciertas cuestiones muy importantes a la hora de simular el proceso como son la geometría y material del molde o las dimensiones y localización de los posibles canales de enfriamiento

- **Fase de expulsión:** una vez el producto ha alcanzado la temperatura necesaria para salir del molde, este se abre y la pieza ha de ser recogida en un espacio habilitado para ello, para esta fase son de vital importancia los ángulos de salida pues facilitarían el trabajo de los expulsores, así como, tenemos que asegurarnos de que ninguna cara de la pieza está en contrasalida, lo que haría que una vez solidificada la pieza no pudiese despegarse del molde sin romperse, en caso de que esto fuese necesario tendríamos que realizar un molde con elementos móviles que encarecería el proceso y en definitiva la pieza.

Para poder comprobar que a todas las caras de la pieza se les ha aplicado correctamente el ángulo de desmoldeo, los softwares de diseño tienen una herramienta de comprobación, en la cual introduciendo la dirección de desmoldeo y el ángulo mínimo de desmoldeo nos muestra si hay alguna cara en contra salida o con un ángulo de desmoldeo inferior al marcado como mínimo.

En el apartado dedicado al modelado se ha explicado que para este trabajo académico se van a realizar dos diseños, uno con las lamas verticales y horizontales a diferente espesor, y otro diseño con un espesor de pieza uniforme, se va a analizar el análisis de llenado de ambos diseños señalando los distintos problemas que aparecerían en cada uno de ellos, en caso de que el diseño definitivo de la pieza fuera ese. Primero se analizará el diseño con espesor no uniforme y posteriormente el de espesor uniforme para así poder observar con claridad las mejoras que proporciona un mejor diseño en la apariencia final, la aplicación a utilizar será "*Plastic Part Filling*" cuyo método de trabajo se ha explicado en el apartado 5.3.3. de este mismo documento.

Llegados a este punto conviene recordar lo ya mencionado sobre los requisitos técnicos necesarios para trabajar con la herramienta 3DEXPERIENCE, se trata de un software de trabajo muy potente que requiere de equipos muy potentes para poder sacar el máximo partido a la herramienta. Las simulaciones de llenado de molde se suelen hacer en estaciones de trabajo, es decir, potentes equipos con una alta capacidad de procesado que aligeran este proceso, en la realización de este trabajo académico las simulaciones se han tenido que llevar a cabo en ordenadores personales, y cada simulación ha tenido una duración aproximada de unas 40 horas, para aligerar este proceso y ser capaces de corregir posibles fallos, el procedimiento a seguir ha sido realizar simulaciones simplificando la pieza para obtener posibles fallos, y una vez corregidos estos lanzar una simulación final con la pieza definitiva. Una vez definido tanto el diseño definitivo de pieza como las condiciones de inyección, usaremos la aplicación "*Plastic Part Injection*" para obtener datos durante todo el proceso de llenado y durante la fase de solidificación, si hemos dicho que la duración aproximada de simular únicamente el proceso de llenado que son únicamente 10 segundos es de 40 horas, simular el proceso completo de inyección que puede durar más de 1 minuto se puede ir a duraciones de unas 120 horas.

Los distintos resultados que nos ofrece la aplicación de llenado de molde son:

- **“Fill time”** (tiempo de llenado) (segundos): en segundos el tiempo que tarda en llenar el molde, muy importante a la hora de monetizar el producto, pues en función del tiempo de llenado más el tiempo de enfriamiento tendremos el número de piezas a la hora.
- **“Pressure at end of fill”** (presión al final del llenado) (N/m<sup>2</sup>): representa la presión que alcanza en cada punto en el momento final del llenado.
- **“Temperature at end of fill”** (temperatura al final del llenado) (C): al igual que el punto anterior, pero con la temperatura en cada punto en el momento final del llenado.
- **“Bulk temperatura at end of fill”** (temperatura promedio al final del llenado) (C): es una propiedad que ayuda a evaluar la transferencia de calor.
- **“Flow front velocity vector”** (vector de velocidad de flujo) (m/s): mediante vectores representa sobre la pieza por donde va el flujo, es muy útil para saber dónde dos frentes de flujo van a converger.
- **“Gate fill contributions”** (contribución de cada punto de inyección) (porcentaje): representa sobre la pieza que parte llena cada punto de inyección.
- **“Ease of fill”** (facilidad de llenado): en una escala numérica establece la dificultad de llenado de distintas partes de la pieza.
- **“Frozen area at end of fill”** (área solidificada al final del llenado): representa de un color el área de la pieza solidificada al final de la inyección y de otro color la parte que todavía necesita solidificar.
- **“Volumetric shrinkage at end of fill”** (volumen contraído al final del llenado): en porcentaje representa que partes de la pieza contraen más que otras.
- **“Shear stress at end of fill”** (tensión de cizallamiento) (N/m<sup>2</sup>): representa posibles zonas sometidas a una fuerte tensión, que pueden provocar zonas de rotura.
- **“Weld lines”** (líneas de soldadura): indica las posibles zonas donde pueden aparecer marcas superficiales como consecuencia del choque entre flujos, las denominadas líneas de soldadura.
- **“Air traps”** (burbujas de aire atrapadas): indica aquellos puntos dónde el aire quedaría atrapado, de gran utilidad para saber dónde colocar los distintos puntos de escape de aire.
- **“Sink marks”** (marcas de hundimiento o rechupe) (mm): indica las zonas donde debido a las tensiones de contracción se generarían marcas de hundimiento sobre el resultado final.

Haciendo referencia al apartado 3.5. de este documento *“Consideraciones de diseño para la fabricación de materiales plásticos”*, donde se exponían las distintas recomendaciones que debe de seguir el diseñador para que el producto final no tenga ningún tipo de problema superficial, se exponían los distintos problemas que podrían aparecer de no seguirlos. En un primer lugar se analizará el diseño con espesores distintos en el cual no se han seguido dichas consideraciones con el fin de explicar los problemas analizando los resultados, y finalmente analizaremos paso a paso el diseño definitivo de la pieza, comparando los resultados se analizarán las mejoras obtenidas.

Para el análisis del diseño con espesores distintos, únicamente haremos una simulación final con un único punto de inyección lateral para aligerar el proceso de cálculo, los demás parámetros los dejaremos por defecto. Una vez explicadas las condiciones de la simulación vamos a proceder

a analizar los resultados de la primera simulación, en esta primera simulación se ha puesto títulos en las fotos para que identifiquemos como se muestra cada variable.

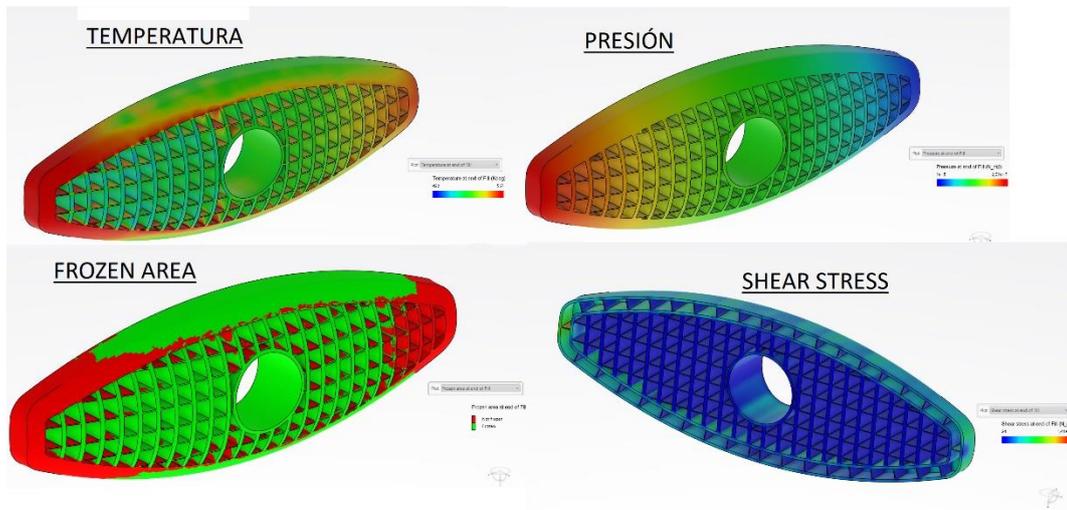


Figura 51. Análisis del primer diseño.

Puesto que, al pasar los resultados proporcionados por el programa a la memoria, la leyenda de los resultados no se puede apreciar, comentar que para los gráficos cualitativos el programa da una escala cromática de azul a rojo siendo azul el dato menor y rojo el dato mayor, para los gráficos en los que diferencia el estado ofrece varios colores indistintamente para cada situación.

En la Figura 51 podemos observar los primeros resultados, si nos fijamos en la parte superior de la imagen donde encontramos los gráficos de presión y temperatura, se pueden identificar varios aspectos:

- Fijándonos en el gráfico de presión vemos como la presión es mayor en un extremo del producto y disminuye hasta llegar al otro extremo, esto es debido a que únicamente se inyecta material por un único punto, alrededor del punto de inyección la presión alcanza un máximo. Esta presión se traduce en un punto débil de la pieza, observando la parte inferior derecha de la imagen “shear stress”, la zona sometida a gran presión provoca una alta tensión de cizalladura sobre el nervio lateral, conociendo los valores de tensión de cizalladura y tensión en cada punto podríamos deducir si el nervio soportaría la fuerza o, por el contrario, rompería.
- Una vez analizada la presión, vamos a pasar a la temperatura, aunque en la imagen no se llegue a apreciar, conviene señalar que el gradiente térmico es de 144 C, es decir, hay un punto de la pieza que está a 422 C y otro que está a 564, vemos que los extremos de la pieza y los nervios de menor espesor tienen una mayor dificultad a la hora de disipar el calor. Este alto gradiente y esta irregularidad a la hora de enfriar la pieza se traduce en la imagen de la esquina inferior izquierda, que representa las partes que han solidificado en verde, frente a las partes que continúan en estado líquido en rojo. Debido a que la solidificación no es uniforme, las partes calientes deformarán las partes ya solidificadas, puesto que continúan disipando calor.

A continuación, se van a analizar los distintos efectos que pueden provocar marcas superficiales en el resultado final de la pieza, principalmente, líneas de soldadura, marcas de hundimiento o rechupe y burbujas de aire atrapadas.

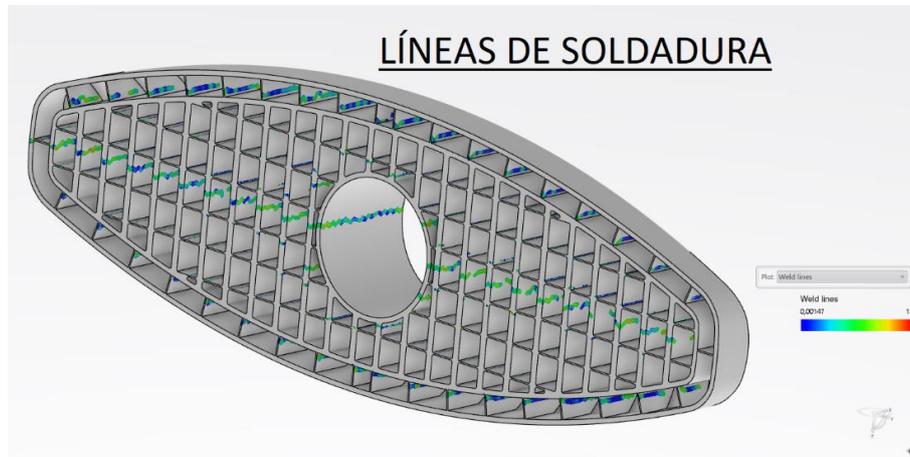


Figura 52. Líneas de soldadura del diseño inicial

En la Figura 52 se pueden observar los puntos donde aparecen líneas de soldadura, conviene recordar que este fenómeno es producido por el choque de dos flujos en contra dirección, en la imagen se pueden identificar tres tipos de línea de soldadura:

- La primera es la que recorre todo el plano central de la pieza, el fluido se dispersa por la parte superior e inferior hasta llegar al plano central donde se encuentran los flujos superior e inferior.
- Líneas de soldadura en las uniones de las lamas verticales con las horizontales, sea cual sea el diseño y sea cual sea el modo de inyección, dos o más corrientes de flujo van a converger en la unión de ambas lamas, sin embargo, es el cambio de sección el que acentúa este efecto.
- Líneas de soldadura en los nervios, al igual que en el punto anterior el cambio de sección va a dejar una marca superficial en los nervios, aunque en este caso esta marca superficial no es importante puesto que es una parte no vista de la pieza, si bien es cierto que con posteriores ajustes de la inyección esta marca puede llegar a desaparecer.

En cuanto a la escala, el programa utiliza una escala de importancia de 0 a 120, basada en una serie de parámetros internos.

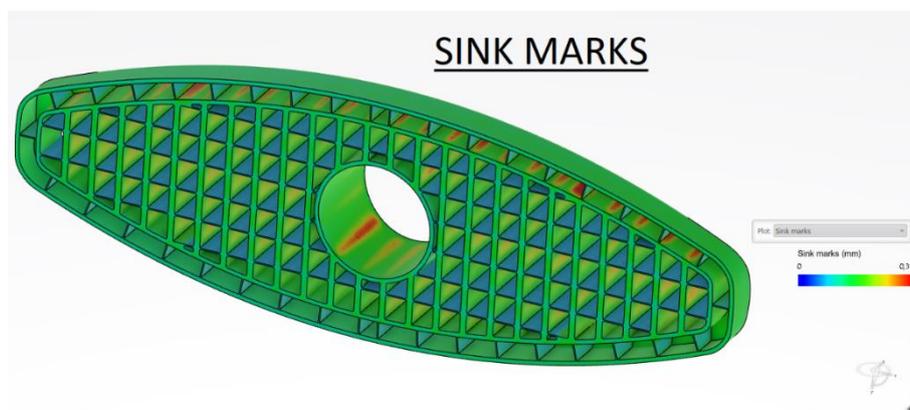


Figura 53. Marcas de rechupe en el diseño inicial

El siguiente aspecto por analizar son las posibles marcas por el efecto denominado “rechupe”, el resultado de este análisis se puede ver en la Figura 53, se denomina rechupe a un hundimiento de material en determinadas zonas, este hundimiento puede ser debido a un inadecuado llenado de molde o a las posibles diferencias de temperatura entre varias zonas, pero principalmente este efecto aparece en la pared contraria a una unión como puede ser un nervio, el programa nos ofrece una medición en milímetros con lo que podría llegar a ceder el material, en este diseño el punto máximo se corresponde con 0,312mm. al igual que en el caso de las líneas de soldadura, en este caso conviene separar las diferencias entre las múltiples posibles marcas y explicar cómo afectaría cada una de ellas al resultado final de la pieza:

- Marcas en el alojamiento central, tal y como hemos comentado en la pared contraria a un plano de unión esta puede ceder, vemos que el efecto más desfavorable aparece en las lamas verticales, de un mayor espesor.
- Marcas de rechupe en el marco interior: al igual que las anteriores aparecen con la unión de las lamas verticales a la pared interior del marco.
- Marcas producidas por el gradiente de temperatura, tal y como se ha indicado en la teoría estas marcas pueden aparecer por diferencias de temperatura elevadas en grandes puntos, estas marcas se corresponden con los puntos naranjas que aparecen de modo esporádico en la pieza.
- Marcas producidas por los nervios, puesto que en el diseño no se ha implementado el desahogo necesario en los nervios para que la unión no provoque marcas superficiales, estas marcas no se aprecian debido a que toda la pieza está contrayendo, en el próximo diseño podremos observar estas marcas.

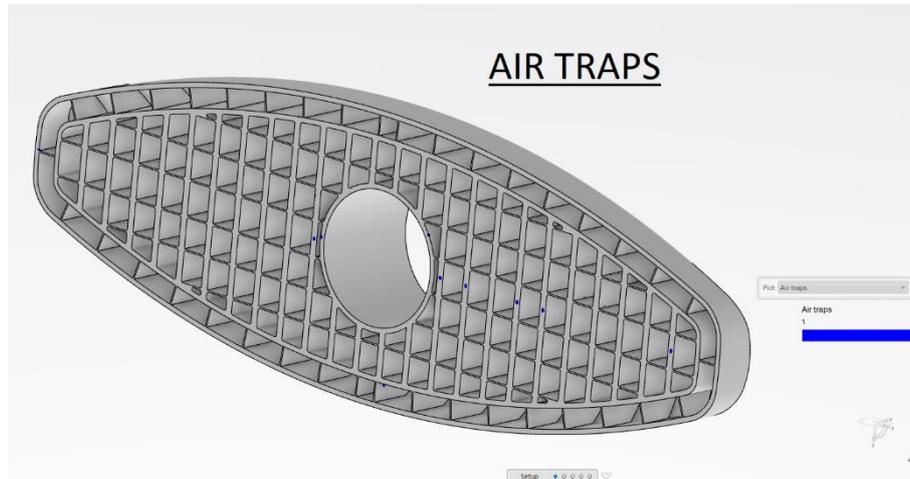


Figura 54. Aire atrapado en el diseño inicial

Finalmente, el último aspecto que vamos a analizar es el aire atrapado dentro del molde una vez finaliza la inyección, una burbuja de aire puede provocar quemaduras, porosidades y falta de material en el aspecto final de la pieza, una manera de solucionar este problema es con agujeros de diámetro muy pequeño por los que el aire pueda escapar, así como, lo más común es que gracias al diseño no sea necesario tomar esta medida.

Analizando la Figura 54 vemos como en la zona central de la pieza hay burbujas de aire atrapadas, lo que nos hace indicar que sería necesario de canales de enfriamiento situados a lo largo de la pieza para mitigar este efecto.

Con los resultados obtenidos del programa podemos indicar que el diseño de esta pieza sería un mal diseño que daría multitud de problemas en el resultado final, problemas que aparecen como consecuencia de un gradiente de temperaturas inadecuado el cual, a su vez aparece debido a una inadecuada inyección, un único punto de modo asimétrico y por un inadecuado diseño de la pieza. Todo esto se traduce en una pieza que contraerá de manera no uniforme, por lo que las dimensiones de la pieza no entrarán dentro de las tolerancias establecidas, líneas de soldadura en caras vistas de la pieza, en concreto en cada canal de enfriamiento las esquinas quedarán marcadas, y hundimiento de material, “rechupes”.

A continuación, se va a proceder al análisis del diseño definitivo de la pieza de espesor uniforme, el objetivo final de este diseño es eliminar o mitigar todos y cada uno de los distintos problemas detectados en el primer análisis.

Mientras que con el primer diseño se ha realizado una única simulación, con el diseño definitivo se ha ido paso a paso simulando la pieza desde su versión más simple hasta la versión definitiva, el motivo de realizar esta simulación paso a paso no es otro que la propia complejidad del programa, para poder avanzar en el desarrollo del trabajo se han realizado simulaciones simples con duraciones menores hasta estar seguros y pasar a realizar la simulación final con una duración aproximada de unas 60 horas, con este método se pretende demostrar que en numerosas situaciones no es necesario realizar simulaciones complejas para comprobar ciertos aspectos, encargar una simulación a una empresa externa puede ser muy costoso por lo que hay que estar seguros de que el diseño no contiene errores que serían fácilmente solucionables.

Lo más costoso de procesar para el programa son la multitud de agujeros de los que se compone la pieza, por ello los pasos a seguir serán simulaciones con un único punto de inyección, y poco a poco se irán construyendo los distintos nervios de la pieza. A la hora de realizar simulaciones con diseños no terminados, los objetivos tienen que ser concisos y hay que tener mucho cuidado a la hora de extrapolar resultados, por ejemplo, en nuestro caso tener toda la superficie exterior cubierta nos va a provocar unos valores de tensiones, temperaturas y tiempos de inyección muy elevados en comparación con lo que sería el diseño final, esto es debido al hecho de que hay un mayor volumen de material que inyectar, y una mayor cantidad de volumen que está generando calor en el interior. El objetivo al realizar esta simulación simplificada es conseguir identificar posibles puntos críticos en la pieza, donde se pueden formar rechupes o posibles líneas de soldadura, si bien es cierto, que puesto que las distribuciones de las corrientes de flujo sobre la pieza final no van a ser exactamente las mismas.

Con las siguientes simulaciones se pretende obtener resultados concretos, a partir de ahora en los resultados no aparecerá el título y se van a presentar en forma de guion con el mismo orden en que se han analizado los resultados del primer análisis. En la Figura 55, podemos ver la primera simulación con un único punto de inyección.

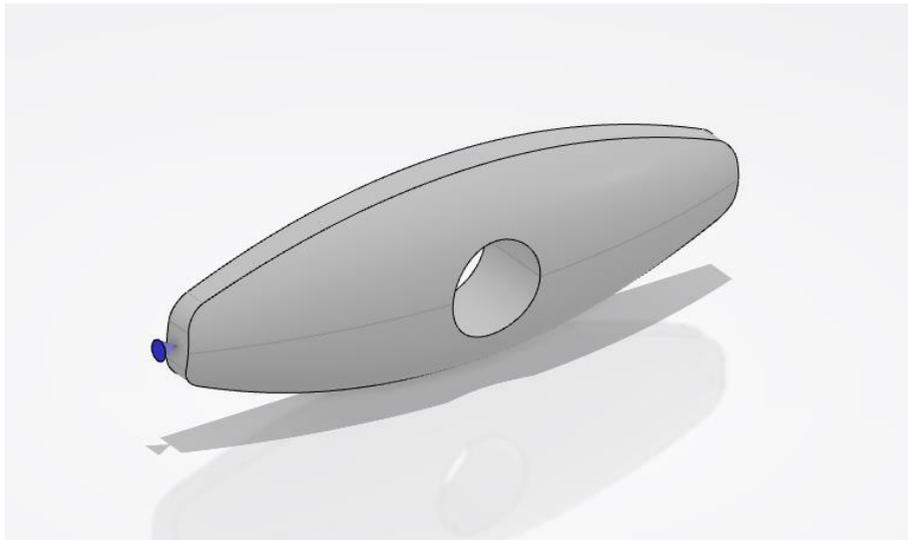


Figura 55. Simulación inicial con diseño definitivo

- Con respecto al reparto de presiones sobre la pieza, al ser el mismo sistema de inyección, un único punto de inyección lateral, el diseño está sometido a la misma distribución de presiones, pero a diferencia del punto anterior vemos como únicamente son los nervios laterales los que adquieren fuertes valores de tensión de cizalladura, el aumentar el espesor en las lamas horizontales igualándola a las verticales, ha supuesto un mejor reparto de las tensiones en ese punto
- En la gráfica de temperatura en el instante final de la inyección, ya podemos observar una de las mejoras que estábamos buscando con este nuevo sistema de inyección, una mejor distribución de la temperatura, y una mejor solidificación, lógicamente la zona más cercana al punto de inyección será la zona más caliente, pero la solidificación será uniforme, este fenómeno es fácilmente observable en la Figura 56. Distribución de temperaturas en el diseño simplificado, donde se puede observar esta uniformidad y los datos del gradiente de temperaturas, es decir la diferencia entre el punto de máxima y de mínima temperatura, en este caso el gradiente de temperaturas son  $87^{\circ}\text{C}$ , mucho menor que en el caso inicial que era igual a  $144^{\circ}\text{C}$ . Si bien es cierto que hablar de valores absolutos no es fiable puesto que la geometría de la pieza no es definitiva, esta diferencia en el gradiente de temperaturas añadido a un gráfico mucho más uniforme nos hace indicar que vamos por el buen camino.

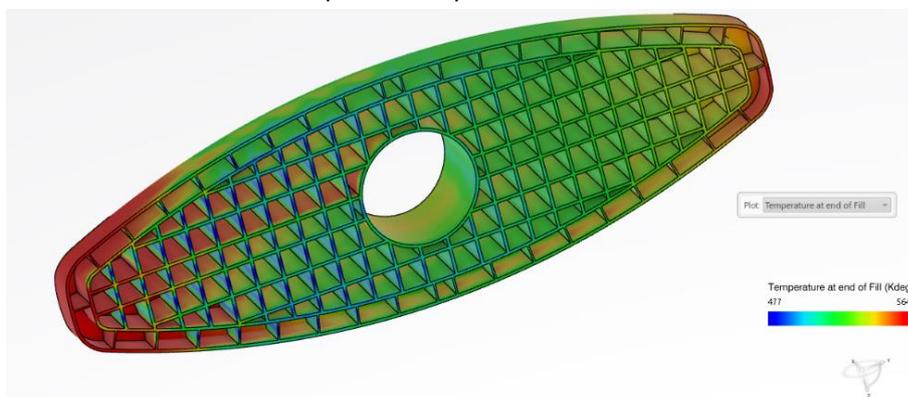


Figura 56. Distribución de temperaturas en el diseño simplificado

- El siguiente punto de interés son las posibles líneas de soldadura que pueden aparecer sobre la pieza, analizando los resultados de la Figura 57, encontramos que en mitad de cada lama o nervio aparece una línea de soldadura, si bien es cierto que hemos eliminado las líneas de soldadura en las uniones entre lamas, que era nuestro objetivo, hay que estudiar porque aparecen tantas líneas de soldadura sobre nuestro diseño, las distintas variables pueden ser:
  - o Taponamiento de la superficie exterior, para el programa tener que llenar toda la superficie exterior puede estar llevando a choques indeseados en el punto medio de cada lama.
  - o Un único punto de inyección, al realizar la inyección con un único punto de inyección, hace que el flujo se tenga que repartir por toda la pieza provocando convergencias entre distintos flujos indeseadas.
  - o Una mala distribución de temperaturas, esta variable está descartada después de observar la Figura 56.

Llegados a un punto en el que el diseñador detecta un problema en el diseño, y tiene varias variables que han podido provocar tal problema, ya se ha comentado que la manera de proceder ha de ser realizar varias simulaciones para ir descartando una a una las distintas variables.

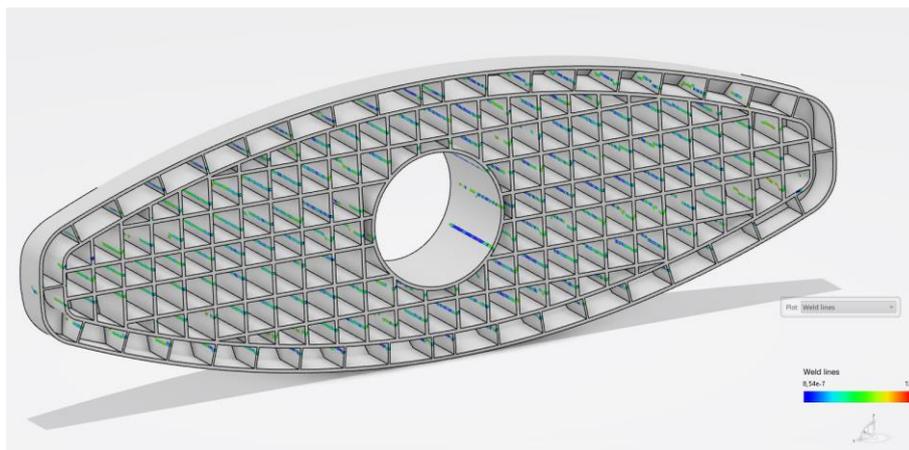


Figura 57. Líneas de soldadura en el diseño simplificado

- Marcas de hundimiento o rechupe, recordamos que, en la versión inicial del diseño, la mala distribución de temperaturas unido al hecho de una gran diferencia de espesor nos provocaba multitud de marcas en las superficies de la pieza, teóricamente al igualar espesores y conseguir una buena distribución de temperaturas a lo largo de toda la pieza, estas marcas deberían de desaparecer, pues bien, si se observa la Figura 58, únicamente se mantienen las marcas en el marco interior y en el alojamiento para la insignia.

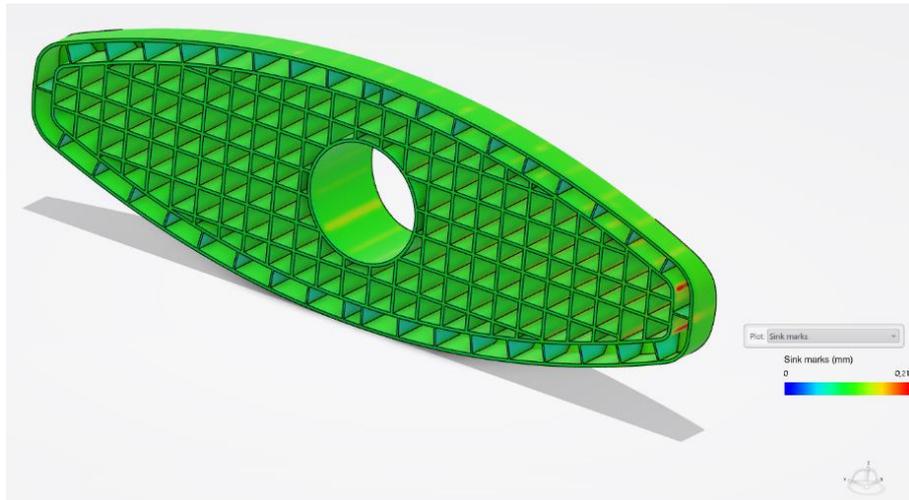


Figura 58. Marcas de hundimiento en el diseño simplificado

Analizando los resultados podemos concluir que con la mejora del diseño hemos resuelto todos aquellos problemas que se indicaron a resolver en el análisis inicial, una mala distribución de temperaturas, marcas de hundimiento y líneas de soldadura en las uniones entre lamas. Sin embargo, en el análisis de líneas de soldadura han aparecido numerosas marcas que hay que eliminar, es muy probable que el inyectar por un único punto, una pieza de tan grandes dimensiones nos esté generando esos inconvenientes, por lo que nuestra siguiente simulación va a consistir en simular sobre el diseño simplificado un análisis de llenado de molde con dos puntos de inyección tal y como se observa en la Figura 59. La protrusión que se observa en la imagen debajo del punto de inyección (flecha azul), se ha realizado para ubicar correctamente el punto de inyección, simularía el final del bebedero que rompería en la fase de expulsión. Con este diseño se pretende mejorar los puntos conflictivos de la versión anterior sin llegar a comprometer los buenos resultados ya obtenidos.

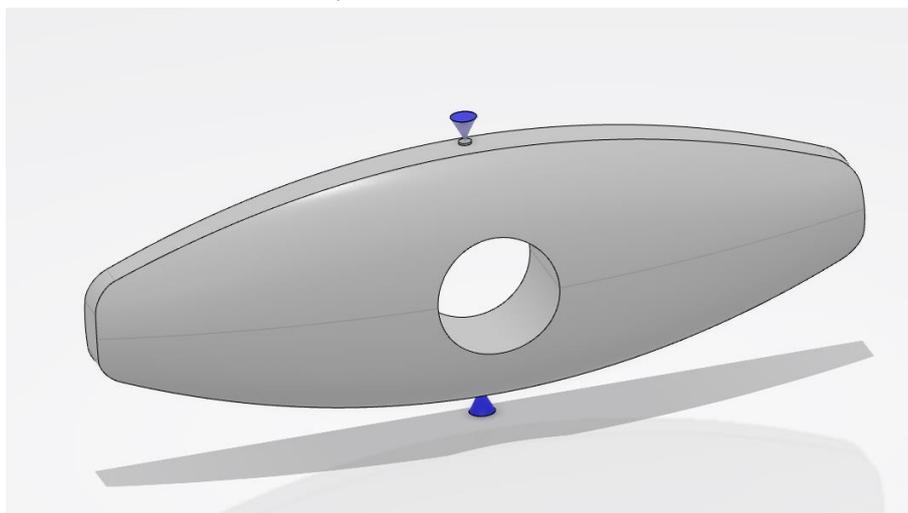


Figura 59. Simulación con dos puntos de inyección

Al igual que en los dos casos anteriores, iremos analizando punto por punto y siguiendo el mismo orden de análisis.

- El primer punto por analizar es la distribución de presiones, por teoría la presión es mayor en las zonas cercanas a los puntos de inyección y va disminuyendo conforme va avanzando el material, tal y como se observa en la Figura 60.

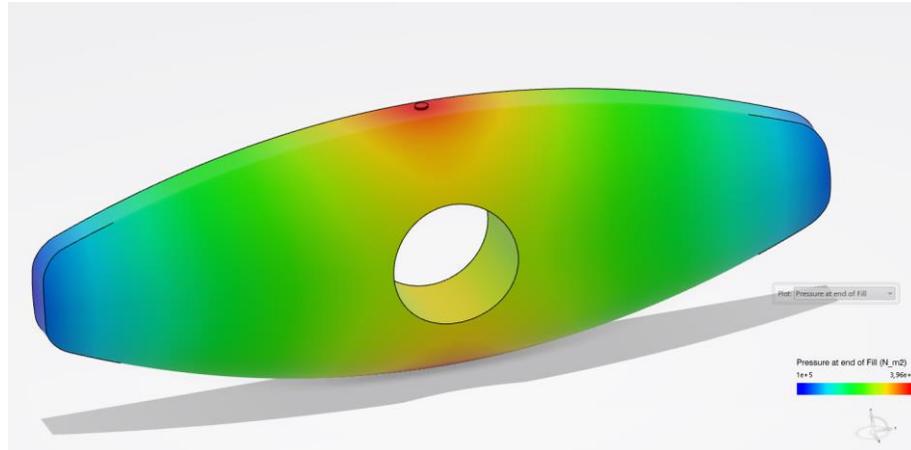


Figura 60. Distribución de presiones, inyección por dos puntos

Consecuencia directa de la presión es la tensión de cizalladura “*Shear stress*”, en el anterior diseño veíamos como los nervios laterales sufrían demasiado, y seguramente romperían, en este caso los nervios que están expuestos directamente al incremento de presión son los nervios situados en el plano vertical, sin embargo, tal y como se observa en la Figura 61, este hecho ya ha sido previsto y se ha dotado al diseño de dos nervios más juntos en el plano vertical lo que hace que entre ambos se repartan las posibles tensiones. Con este diseño conseguimos una pieza libre de tensiones que pudieran llegar a comprometer el estado íntegro de esta. Comentar también que las máximas tensiones se producen como es de esperar en los bebederos, facilitando así la separación de estos con el producto solidificado.

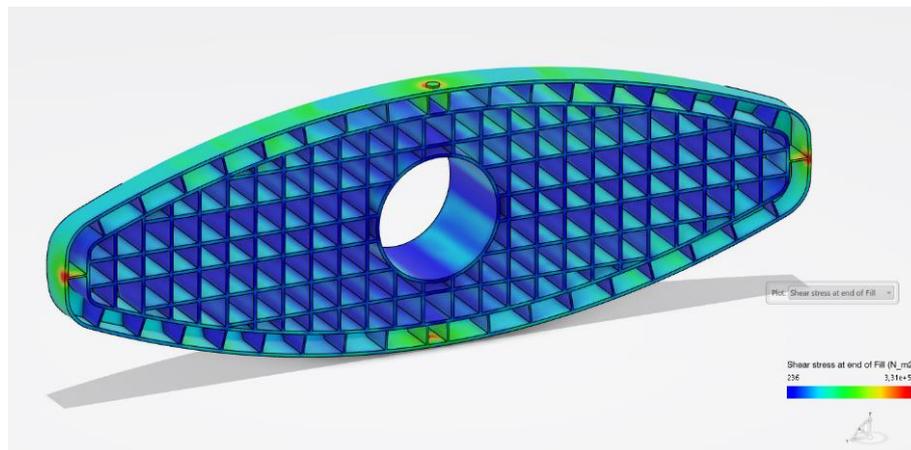


Figura 61. Tensión de cizalladura, inyección por dos puntos

- En este caso no se le va a prestar atención a la distribución de temperaturas, pues al igual que en el caso anterior hemos conseguido una distribución uniforme.
- Llegamos al punto conflictivo de la simulación anterior, la aparición de líneas de soldadura indeseadas en el diseño, llegando a la conclusión que éstas podían ser debidas a un inadecuado número de puntos de inyección, o debido a la superficie exterior. Analizando la Figura 62, vemos como efectivamente, todas aquellas líneas que

aparecieron en mitad de las lamas interiores han desaparecido, dando lugar a otras líneas de soldadura de color azul oscuro, que pueden llegar a considerarse despreciables, sin embargo, un hecho que va a requerir de toda nuestra atención es la línea de soldadura que aparece a lo largo de todo el plano centra horizontal, a través de la definición de línea de soldadura, este fenómeno no debería de sorprendernos, pues las corrientes de los dos puntos de inyección han de encontrarse en el plano central.

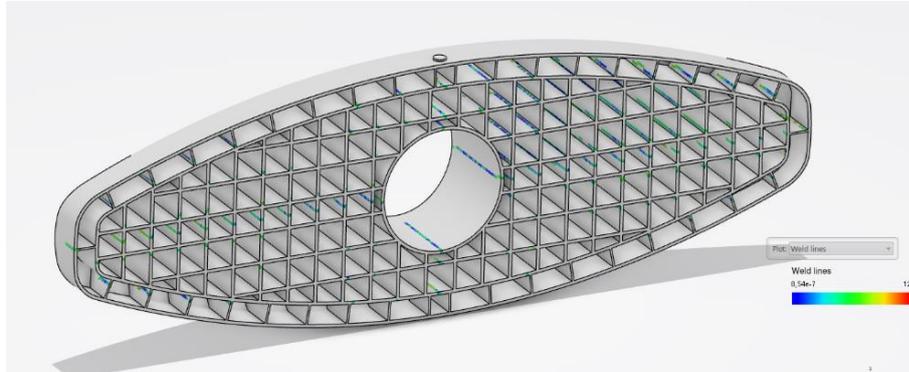


Figura 62. Líneas de soldadura, inyección por dos puntos

- Las marcas de hundimiento no deberían preocuparnos, pues hemos conseguido controlarlas unificando el espesor.

Como conclusión, podemos decir que con dos puntos de inyección hemos conseguido mitigar los problemas que aparecían derivados a la inyección por un único punto lateral, tras realizar varias pruebas sobre modelos simplificados estamos en disposición de realizar una prueba definitiva con dos puntos de inyección y el diseño final de la pieza y analizar los resultados.

Igual que en las simulaciones de diseños simplificados no hemos analizado todas y cada una de las gráficas, pues tal y como se explicó lo que se buscaba eran obtener resultados concretos, en esta simulación al tratarse de una simulación definitiva se van a analizar todos aquellos resultados que nos ofrece el programa que no hayan sido analizados ya.

- Cuando se analizaron los resultados obtenidos con la pieza simplificada, no se mencionaron en ningún momento datos acerca de presiones, debido a que, estos podían estar falseados por la inadecuada forma del objeto, la distribución de presiones en cambio, sí que va a ser la misma que en la Figura 60, por lo tanto, de este análisis debemos de quedarnos con el punto de máxima presión y ver si estamos dentro de los rangos admisibles. Por teoría la presión dentro del molde no debería de superar los  $70 \text{ MN/m}^2$ , y el punto de máxima presión tiene una presión de  $28 \text{ MN/m}^2$ , por lo que estaríamos dentro del rango permitido.
- Una vez se ha analizado el parámetro de presión, hemos de analizar el parámetro temperatura, durante todos los análisis anteriores le hemos dado mucha importancia a que la distribución de temperaturas a lo largo del molde ha de ser lo más uniforme posible para que el proceso de solidificación no deje secuelas en el resultado final, podemos observar la distribución en la Figura 63, donde podemos distinguir cuatro zonas calientes correspondientes con los extremos de la pieza, lo que nos hace indicar que la pieza solidificará desde el interior al exterior de un modo uniforme. El gradiente de temperaturas es de  $79 \text{ }^\circ\text{C}$ , desde los  $485 \text{ }^\circ\text{C}$  de un punto interior hasta los  $564 \text{ }^\circ\text{C}$  que

alcanzan los bebederos, este gradiente está dentro de los límites aceptables en una pieza de estas dimensiones.

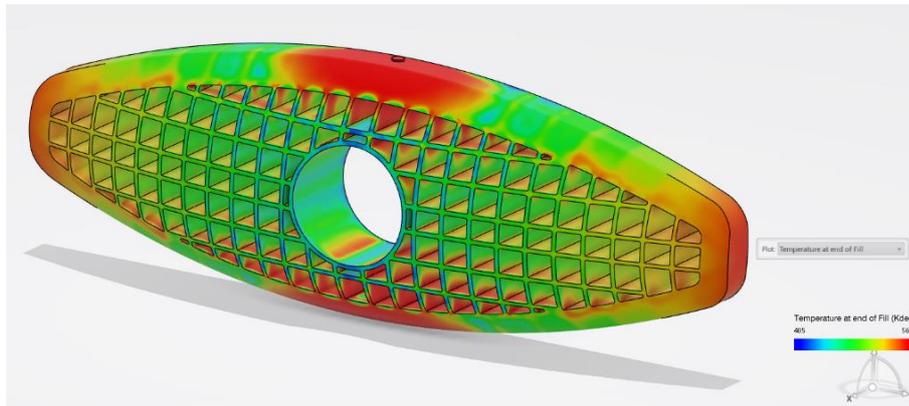


Figura 63. Distribución de temperaturas en el diseño definitivo

- El hecho de que la distribución de temperaturas sea uniforme, nos hace indicar que el llenado del molde es correcto y que no van a aparecer líneas de soldadura por este motivo, pero como se ha visto en el análisis de la pieza simplificada, pueden aparecer líneas de soldadura por otros motivos, por lo que vamos a analizar la Figura 64, en el diseño inicial de espesores distintos y con un único punto de inyección, aparecían líneas de soldadura en las uniones de las lamas con una intensidad fuerte, en el diseño simplificado con un único punto de inyección cada lama tenía una línea de soldadura en la parte central, se consiguió mitigar este problema añadiendo un segundo punto de inyección sobre el diseño y finalmente este problema ha desaparecido en el diseño final, dejando únicamente una línea de soldadura central que se ha mantenido a lo largo de todos los análisis y que es consecuencia de la propia inyección, esta línea no podemos hacerla desaparecer con el diseño de la pieza, pero conociendo de su existencia podremos mitigar su efecto o bien haciendo pasar un canal de enfriamiento por el plano central que ayude en la disipación de calor de esa zona, o bien ajustando los parámetros de velocidad, presión y temperatura en la inyección.

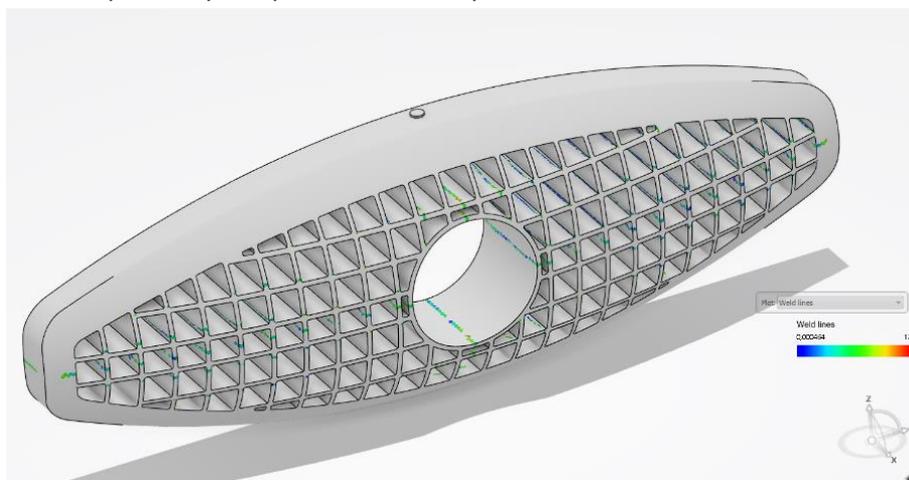


Figura 64. Líneas de soldadura en el diseño definitivo

- Por teoría sabemos que las principales marcas superficiales que pueden aparecer son las líneas de soldadura, las quemaduras por un mal llenado de molde o una velocidad

excesiva y los hundimientos o rechupes que aparecen por una mala distribución de la temperatura o en uniones, como ya hemos analizado las líneas de soldadura, y como la velocidad de flujo es función directa del caudal que proporciona la máquina y esto no aparece reflejado en el análisis, únicamente nos queda por analizar el efecto “rechupe” de la Figura 65 y las distintas causas que pueden llegar a producirlo, en el análisis del diseño inicial distinguíamos entre:

- Marcas superficiales generadas por los nervios, son las que aparecen en el marco, como consecuencia de la unión del nervio y el marco exterior, este problema puede solucionarse con un desahogo en la unión entre el nervio y el marco o reduciendo el espesor de los nervios.
- Marcas en el alojamiento central, sobre todo preocupante la marca en la unión de una lama horizontal con una lama vertical y con el alojamiento central, fácilmente solucionable separando esa unión.

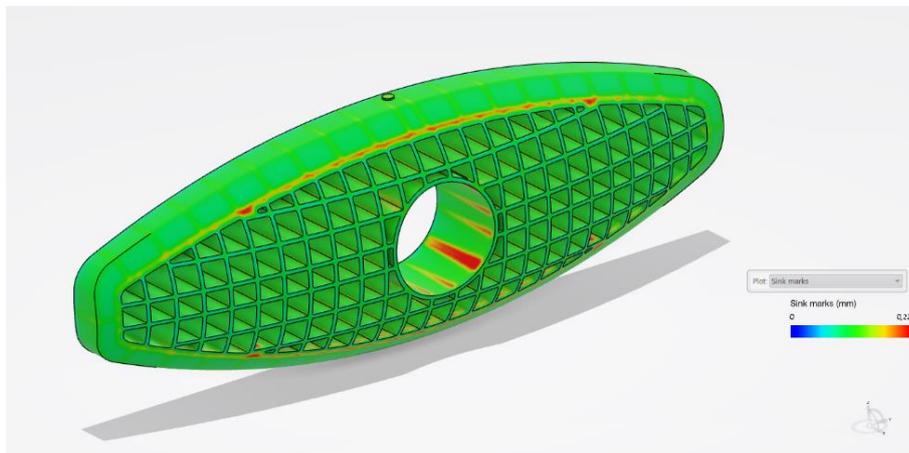


Figura 65. Marcas de hundimiento en el diseño definitivo

- El último aspecto por analizar son las posibles burbujas de aire atrapadas dentro del molde, 3DEXPERIENCE considera el molde cerrado completamente por lo que es normal que siempre quede alguna burbuja encerrada, el método usual para que no quede aire dentro del molde es el propio ajuste que tienen los expulsores en las cavidades, pero en el caso de que quedasen muchas burbujas dentro del modelo, podría llegar a ser necesario alguna cavidad específica para la salida del aire, sin embargo podemos observar en la Figura 66 que estas cavidades no son necesarias pues apenas hay burbujas de aire en el modelo.

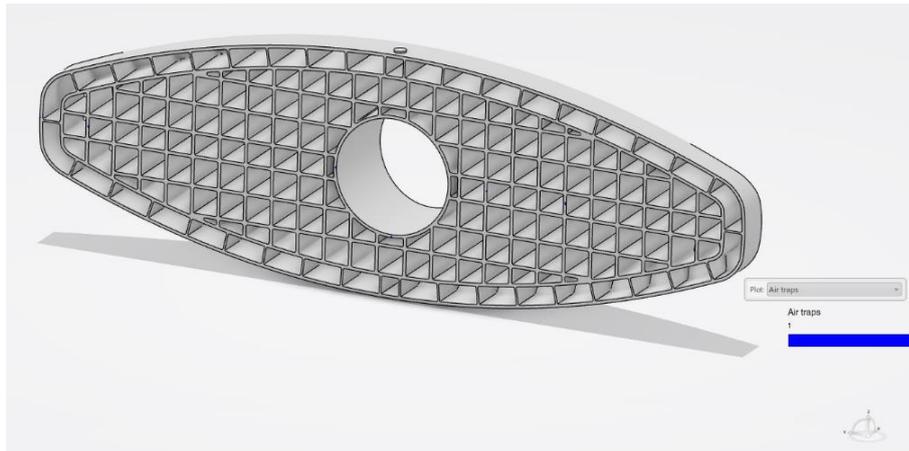


Figura 66. Burbujas de aire en el modelo definitivo

Con las anteriores simulaciones de llenado de molde podemos concluir que el diseño de la pieza es el correcto, sin embargo, tener únicamente dos puntos de inyección en el diseño en una pieza de semejantes dimensiones podría llevarnos a múltiples problemas, aprovechando la última simulación realizada ya con el programa “*Plastic Part Inyection*”, donde nuestro objetivo es analizar los distintos resultados que nos ofrece esta aplicación, realizaremos la simulación con seis puntos de inyección, dada la geometría del molde es necesario que el sistema de inyección este en la cara vista de la pieza, por lo que al inyectar por seis puntos estos ya no pueden ser colocados en el lateral, y han de estar localizados en la rejilla frontal, ya hemos visto que los puntos de inyección dejan marcas de inyección, y que estas no son deseables en una cara vista, por lo que la simulación por seis puntos nos permitirá analizar una situación muy común en ingeniería dónde tenemos que analizar posibles pros y contras y decidir.

En la 67, se puede ver cómo están localizados los distintos puntos de inyección.

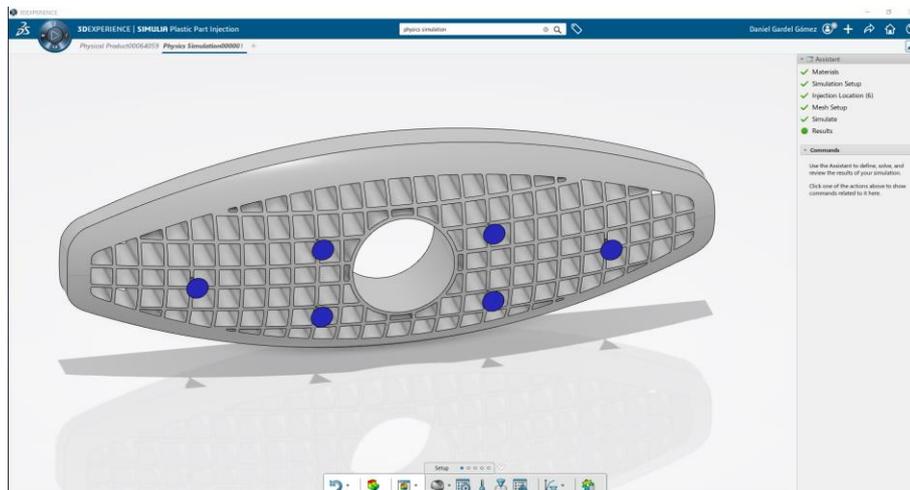


Figura 67. Simulación de inyección con seis puntos

Primero de todo explicar las diferencias entre “*Plastic Part Filling*” y “*Plastic Part Inyection*”, ya hemos dicho que el primero únicamente simula el llenado de molde y el segundo simula también la etapa de solidificación, sin embargo, existen más diferencias que se pueden observar en la Figura 68, existe la posibilidad de cambiar entre la parte de llenado “*fill*” y la parte de solidificación “*pack*”, así como, existe la posibilidad de analizar la evolución de las distintas

gráficas a lo largo del tiempo de simulación, comentar que las distintas variables evaluadas son parecidas entre ambos programas.

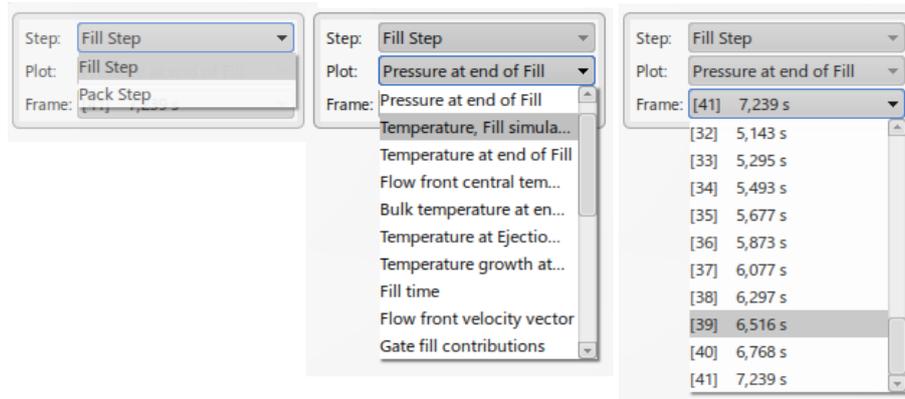


Figura 68. Menú interactivo de Plastic Part Injection

Puesto que este programa nos ofrece multitud de resultados, 41 iteraciones para el proceso de llenado con una gran variedad de variables, vamos a analizar aquellos aspectos que mejoren la inyección por dos puntos y aquellos que sean nuevos en esta aplicación:

- Una de las principales razones por las que se han triplicado los puntos de inyección son los altos valores de presión obtenidos, lo que nos provocaría altas tensiones a soportar por el núcleo y la cavidad del molde.
- La distribución de temperaturas es totalmente distinta al cambiar la localización y el número de puntos de inyección, aunque sigue siendo uniforme y por consiguiente no se producen marcas de hundimiento debidas a la distribución de temperaturas.
- En cuanto a las líneas de soldadura, en la anterior simulación comentábamos que los flujos de los dos puntos de inyección confrontaban en el plano central, ahora con la situación de la Figura 67, tendremos una línea de soldadura en el plano horizontal y otra en el plano vertical, pero de menor importancia por lo que nos será más sencillo mitigarla.
- Las marcas de rechupe principalmente podían aparecer por una distribución no uniforme de temperaturas o por un mal diseño de la pieza, en anteriores simulaciones comprobamos que las marcas debidas al diseño no eran importantes, y como la distribución de temperaturas es uniforme no tendría que preocuparnos la aparición de estas marcas.

Analizando los resultados obtenidos se puede concluir que al inyectar por seis puntos hemos mejorado en tiempo de inyección, 7 segundos frente a 11, se han reducido las velocidades de flujo, reduciendo el efecto de líneas de soldadura, hemos reducido las presiones y todo esto sin añadir ningún inconveniente al proceso, en la Figura 69 podemos observar cómo con seis puntos de inyección el volumen de cada punto se reduce.

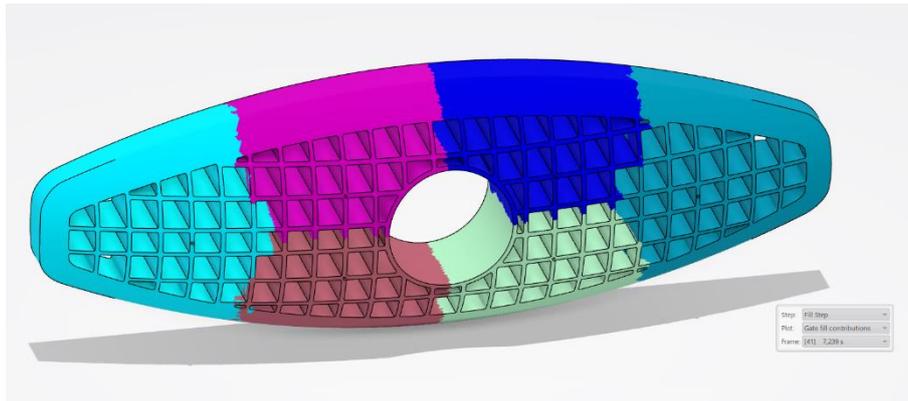


Figura 69. Volumen inyectado por los distintos puntos de inyección

Una vez se ha analizado la fase de llenado, vamos a analizar las distintas variables analizadas en el apartado dedicado a la fase de solidificación:

Primero de todo será indicar el tiempo total del ciclo, 71,259 segundos, comentar que en esta fase disponemos de 76 espacios de tiempo donde poder ver la evolución de la presión y la temperatura, todas las demás variables están calculadas al final de la etapa pues no tienen interés durante.

En la anterior fase únicamente podíamos hablar de la temperatura y la presión al final de la etapa, es muy interesante ver cómo evolucionan estos parámetros a lo largo del tiempo de inyección, puesto que no podemos visualizar este avance gráficamente en un documento pdf, únicamente decir que tanto la evolución de la presión como de la temperatura no registra ningún tipo de anomalía y es una evolución uniforme.

Un aspecto muy importante que controlar son las tensiones finales que sufre la pieza, si observamos la Figura 70, vemos como toda la tensión de la pieza se reparte entre los distintos nervios por igual, una distribución no uniforme de tensiones provocaría puntos de tensión máxima muy fuertes que podrían deformar o inclusive llegar a romper la pieza, por lo tanto, este análisis nos hace indicar que hemos hecho un gran diseño, el siguiente paso sería verificar que este valor de tensión es admisible.

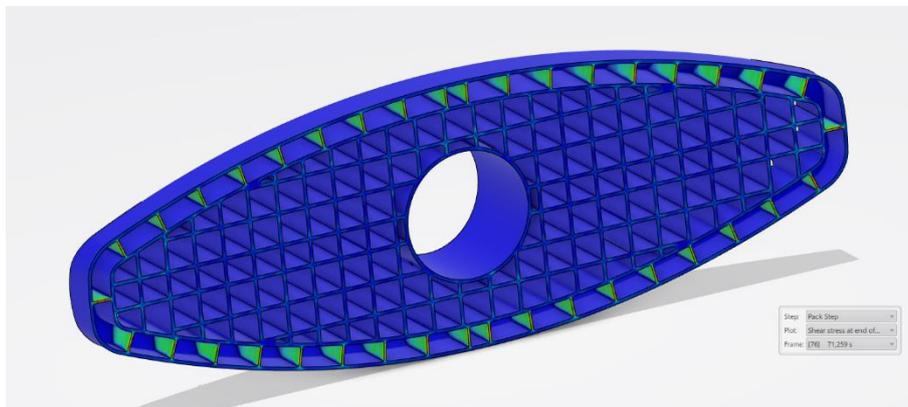


Figura 70. Tensión de cizalladura al final del ciclo de inyección

La siguiente Figura 71, representa el tiempo de solidificación de los distintos puntos de la pieza, podemos ver como la pieza solidifica en dos tiempos, un instante inicial de solidificación para toda la pieza, y un segundo instante en el cual solidifican los radios de acuerdos entre lamas, no

hay puntos de la pieza que solidifiquen a distintos niveles, únicamente los radios que es un hecho normal, por lo que el diseño de la pieza y del sistema de inyección también se puede dar por válido viendo el análisis de solidificación.

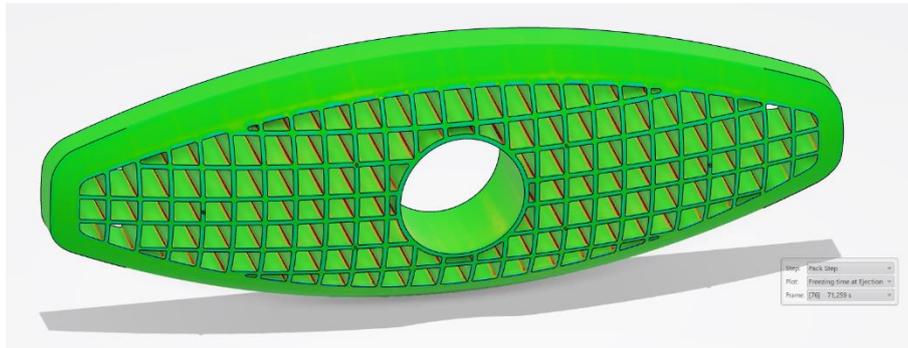
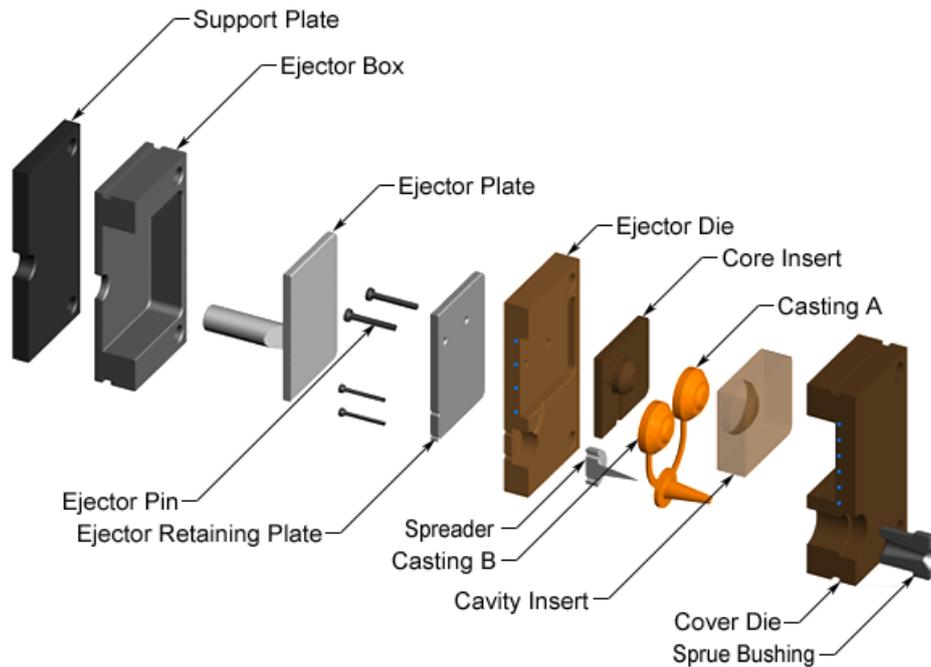


Figura 71. Tiempo de solidificación de los distintos puntos de la pieza

## 6.5. DISEÑO DE MOLDE

Con el diseño definitivo de la pieza realizado, es momento de diseñar el molde para la inyección, tanto la explicación como el diseño del molde se van a realizar con unos fines académicos, es decir, el objetivo principal de este proyecto/trabajo académico es entender el proceso de desarrollo de un nuevo producto del sector del automóvil, puesto que una de las características principales de este sector es la complejidad y exactitud necesarias en las superficies que componen las distintas piezas, el proceso de fabricación tendrá que ser un proceso robusto y que proporcione una gran precisión, en concreto será una pieza de material plástico fabricada por moldeo por inyección, en el proceso de desarrollo de un nuevo producto es necesario el uso de herramientas CAD/CAE/CAM, para el diseño y simulación de este nuevo producto, el ciclo de vida de un producto de estas características en sus etapas de desarrollo requiere de una gran inversión en tiempo y personal para que el diseño sea lo suficientemente bueno como para que el resultado final cumpla con los acabados superficiales y las tolerancias establecidas. Por lo tanto, el fin del trabajo es desarrollar, analizar y explicar todo este proceso de desarrollo, sin entrar en gran precisión de detalle.

Una vez explicado el contexto, es momento de exponer como se lleva a cabo el proceso de diseño del molde para la inyección de plásticos. Vamos a empezar por analizar las distintas partes de las que se compone un molde como el de la Figura 72.



Copyright © 2007 CustomPartNet

Figura 72. Elementos de un molde de inyección de plástico

Comúnmente se conoce por molde a las dos piezas que encierran la forma del producto final, estas dos piezas se corresponden con lo que en la imagen denomina core y cavity, que son el macho y la hembra del molde, o lo que sería la traducción directa núcleo y cavidad. Se entiende por molde únicamente estas dos piezas porque son las piezas que varían en función de la pieza, las demás piezas son piezas estándar que o bien son parte de la máquina o bien son piezas normalizadas que se añaden al proceso, aunque en el apartado teórico se explicaron las principales piezas de las que se compone un molde genérico, a continuación vamos a analizar las funciones que realizan las distintas partes del molde de la Figura 72, pues el molde de la rejilla va a tener la misma estructura, con la salvedad de que no va a ser multi cavidad:

- Support plate (plato de soporte), sobre él se fijan las demás piezas que componen el molde.
- Ejector box (placa de expulsión), soporta el sistema de expulsión de la pieza.
- Ejector plate, pin and retaining plate (plato expulsor, expulsores y plato retenedor), estos tres componentes forman el sistema de expulsión de la pieza, el número de expulsores varía en función de la pieza.
- Ejector die (troquel expulsor), es la parte que acompaña al núcleo, esta parte y el núcleo pueden ser una misma
- Core insert (macho o molde núcleo): la forma del producto final se consigue entre el core y el cavity, separados ambos por una línea de partición.
- Cavity Insert (hembra o molde cavidad): contiene la forma de la parte restante de la pieza, macho y hembra encierran la forma del producto a llenar con material plástico viscoso.
- Casting A, B (Producto final A y B): el molde de la imagen es un molde con dos cavidades, es decir, en cada inyección salen dos piezas acabadas.

- Cover die, es la placa final que soporta la cavidad del molde y por donde entra la inyección, esta pieza suele ser característica de cada máquina y en ella se coloca la parte hembra del molde, la cual se ha provisto del canal bebedero coincidente con el canal de inyección del cover die.
- Sprue Brushing (sistema de inyección), es el canal por donde entra el material plástico en estado viscoso.
- Canales de enfriamiento, calentamiento, aunque no están señalados si nos fijamos en la parte del cover die y del ejector die, hay un conjunto de canales que atraviesan dicha placa. Por estos canales pasará un flujo caliente para calentar el molde antes de la inyección y un flujo frío durante la inyección para conseguir disipar el calor con mayor facilidad y de un modo más uniforme.

En anteriores apartados se ha explicado las distintas fases que componen un ciclo de inyección, por lo que en este apartado únicamente haremos hincapié en que sucede en cada fase:

- Fase de llenado, con el molde cerrado, plato de núcleo unido con el plato de cavidad y los expulsores cara con cara con la cara externa de la pieza, entra material plástico por los bebederos hasta llenar por completo el molde.
- Fase de solidificación, cualquier material plástico en su proceso de solidificación sufre cierta contracción, es decir, reduce su tamaño, por lo que el hueco destinado al producto tendrá que estar sobredimensionado para que una vez la pieza acabe de contraer quede con las medidas adecuadas. En este proceso de contracción la pieza queda adherida al núcleo del molde.
- Fase de expulsión, a la vez que se levanta el plato cavidad, el sistema de expulsores avanza empujando la pieza a la vez que la separa del plato núcleo para así poder ser retirada.

Una vez definidas las características y componentes que debe tener el molde, estamos en disposición de presentar lo que va a ser el diseño del molde para la rejilla frontal del automóvil, al igual que el diseño de la rejilla para el diseño del molde va ser necesario el uso de un potente software CAD, que sea capaz de trabajar con superficies y modelos complejos.

Es de vital importancia que el diseño del molde se realice en paralelo al diseño de la pieza, es decir, el modelado de la pieza tiene que ir en concordancia con el molde, durante la fase de modelado de la pieza se ha de tener en cuenta cual será la dirección de desmoldeo, donde vamos a ubicar la línea de partición, etc., el simple hecho de realizar un diseño de pieza con un elemento en contrasalida va a implicar el uso de un molde móvil y el incremento de los costes.

Finalmente, puesto que se han llevado a cabo dos diseños, un diseño de espesor no uniforme y un diseño definitivo con espesor uniforme, el molde se ha diseñado con respecto al diseño definitivo, el cual se puede observar en la Figura 50.

Para el diseño del molde es necesario seguir una serie de pasos, primero se ha de definir la línea de partición, en nuestro caso el modelado se realizó pensando en ello, la línea de partición se va a situar sobre la cara plana trasera, por lo tanto, la marca superficial no tendrá ninguna importancia para la estética de la pieza. Una vez nos queda definido el plano de partición, podemos clasificar el molde en molde de una parte, donde el volumen destinado a rellenar de material plástico se encuentra o bien en el core o bien en el cavity, o bien molde en dos mitades,

donde el volumen queda repartido entre el core y el cavity, en nuestro caso el molde es de una única mitad.

Si recordamos el funcionamiento del ciclo del molde, una vez se acaba la fase de llenado la pieza contrae y esta queda adherida al core, por lo tanto, de cara a nuestro diseño, el core va a tener todos los insertos necesarios para hacer el rejillado, el alojamiento de la insignia y los nervios, mientras que el cavity únicamente se compone de la cara exterior de la pieza.

Una vez definidos el core y el cavity, nos queda por definir el sistema de expulsión y el sistema de inyección:

- Sistema de expulsión, está ubicado en la parte del núcleo, core, para ayudar a despegar la pieza en la fase de expulsión, en el caso de que la pieza este mal diseñada, en cuanto a que pueda contener alguna cara a contrasalida o alguna cara sin ángulo de desmoldeo, los expulsores empujarían la pieza y esta quedaría dañada.
- Sistema de inyección, la decisión de dónde debe de estar situado el sistema de inyección, es una decisión que se debe de tomar teniendo en cuenta la geometría de la pieza, si bien es cierto que su ubicación usual es en la zona del cavity, por lo tanto, nuestro diseño se ha realizado siguiendo esa regla.

Una vez definida la localización del sistema de inyección, el siguiente paso consiste en definir el número de puntos de inyección y la ubicación de estos, teniendo siempre en cuenta que en el resultado final los puntos de inyección dejan una marca superficial.

El siguiente paso es definir el sistema de distribución y el tipo de ataque o compuerta, como se puede observar en la Figura 73, en caso de que la elección del sistema de inyección sea de ataque lateral se tendría que seleccionar el sistema de ataque lateral, mientras que en el caso de diseñar un sistema de ataque frontal podríamos elegir entre el sistema de espiga o de aguja.

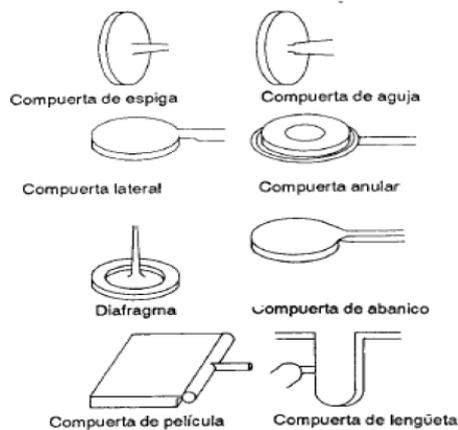


Figura 73. Posibles sistemas de ataques

Cuando se tiene más de un punto de inyección, el sistema puede ser un sistema equilibrado, donde el material llega al mismo tiempo a todos los puntos de inyección, o no equilibrado, el material llega más tarde a los puntos más lejanos del sistema de inyección como vemos en la Figura 74.

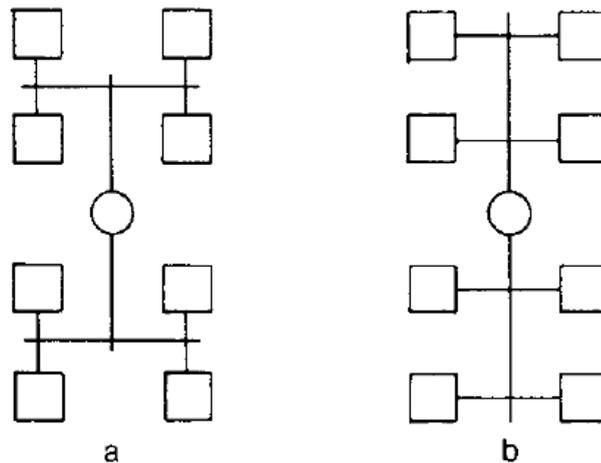


Figura 74. Sistema de distribución del sistema de inyección

Ya hemos definido como va a ser el molde de inyección de la pieza del caso práctico, ahora, aunque no se va a realizar un diseño de molde en detalle con análisis de enfriamiento de la pieza, de presiones, etc., se van a seguir una serie de pautas para calcular las dimensiones y el número de expulsores, los cuales ya hemos comentado que son elementos normalizados, que al igual que las placas se tendrían que coger de un catálogo comercial, sin embargo para la realización de este trabajo, como el objetivo es entender el proceso de diseño y el funcionamiento, se han diseñado estos elementos en vez de buscarlos en catálogos comerciales.

Ya se ha comentado que no se va a detallar el proceso de cómo se han modelado las distintas partes que componen el molde, podemos ver el resultado en la Figura 75, en la parte izquierda de la imagen vemos la parte del núcleo en detalle, y en la parte derecha vemos la placa correspondiente a la cavidad con los agujeros en las esquinas para las guías del molde, y unos taladros que atraviesan la pieza longitudinalmente que son los canales de enfriamiento, el sistema de expulsión se encuentra en la cara no vista del núcleo.

Aprovechando el cálculo del presupuesto del proyecto, se ha estimado el cálculo del coste del molde por dos métodos distintos, el método de Boothroyd y el método de Corrado Poli, ambos calculan las dimensiones que debe de tener el molde, pero como Boothroyd además calcula el número de expulsores necesarios en función del área de la pieza, se va a considerar las dimensiones obtenidas por Boothroyd para el diseño.

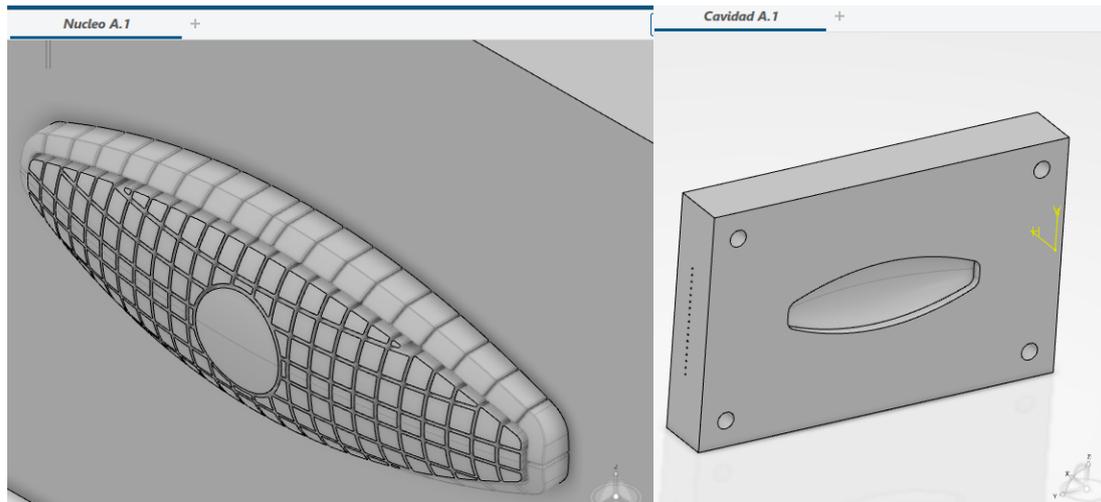


Figura 75. Núcleo y cavidad del molde de la rejilla.

## 6.6. PLAN DE FABRICACIÓN

Dentro del proyecto académico, desarrollo de una pieza del sector del automóvil por moldeo por inyección de plástico, se marcó como objetivo definir el ciclo de vida del producto, y analizar las distintas fases que tienen que ver con el área de ingeniería dedicada al desarrollo de productos, la última fase que se va a analizar es la etapa de fabricación.

Aunque esta fase parezca que puede estar desligada del resto de etapas del ciclo de vida, se ha visto que esta visión es cosa de la ingeniería tradicional, con la aparición de la ingeniería colaborativa se busca integrar todas las fases en el desarrollo del producto, si en el apartado dedicado al diseño del molde se comentó que en la fase de diseño de la pieza se tenía que tener en cuenta el diseño del molde, en el diseño de la pieza es importante pensar en el proceso y la técnica de fabricación del molde.

En nuestro caso el proceso de fabricación del molde va a ser el mecanizado, con los posteriores rectificadores necesarios para aplicar la rugosidad superficial demandada a la cara vista de la pieza, por lo tanto, el diseño de la pieza deberá de tener las características necesarias para poderse realizar por mecanizado, no pueden existir aristas vivas, de ahí el redondeo, y el mecanizado de superficies complejas va a conllevar el empleo de una herramienta de punta fina.

## 6.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez finalizada la fase de diseño y simulación, el diseñador tiene que ser capaz de afirmar con seguridad que el diseño del producto es lo suficientemente bueno como para que el resultado final de la inyección sea el óptimo.

Durante la fase de diseño de este trabajo académico se ha intentado reflejar lo que es esta fase en un equipo de diseño de una empresa, se han de hacer y simular multitud de diseños y versiones, realizar prototipos, verificar procesos, ..., para poder estar seguros de que el producto final cumple con los requisitos de calidad y el diseño es el óptimo para su montaje y fabricabilidad lo que en inglés se conoce como el método DFMA "*Design For Manufacturing and Assembly*", conviene recordar que el coste de realizar un cambio en las fases finales de la etapa de fabricación es exponencialmente mayor a realizarlo en las fases de diseño.

Primero de todo vamos a analizar la fase de modelado o diseño de pieza, en dicho apartado se comentó la importancia de modelar la pieza con una buena estrategia de modelado, para verificar la estrategia se realizó un primer diseño con espesores distintos para posteriormente unificar todos los espesores en lo que sería un diseño definitivo. El diseño inicial se realizó con unas características geométricas determinadas, es decir, una longitud, ancho y altura determinados, así como de un hueco interior para la insignia de una medida determinada. Por lo que el diseño debe de ser capaz de soportar cualquier cambio sin variar ninguna de esas características. Efectivamente, cambiando el espesor de las operaciones involucradas conseguimos obtener un nuevo diseño de pieza sin que se vieran afectadas las dimensiones importantes por lo que podemos concluir que se ha realizado un buen diseño con una buena estrategia de modelado.

Una vez se obtuvo un diseño final bueno, se pasó a la fase de simulación del proceso de fabricación, en este caso de la simulación del moldeo por inyección, recordar que inicialmente se hizo una simulación de llenado del diseño inicial con espesor no uniforme para analizar las consecuencias de un mal diseño, posteriormente se simuló el llenado de la pieza final, explicando como una simplificación de la pieza puede darnos buenos resultados ahorrando gran cantidad de tiempo de procesado, y finalmente se realizó el análisis de llenado y solidificación con las condiciones finales del proceso.

El análisis de todos estos resultados ya se ha obtenido en el apartado correspondiente, sin embargo, y a modo de resumen, pudimos observar como un mal diseño conlleva una serie de problemas asociados que van a llevar a un mal resultado final, un buen diseño elimina todos los posibles problemas asociados al diseño, y como finalmente con las condiciones apropiadas el proceso se ha de comportar según lo esperado y ofrecemos un resultado óptimo.

A modo de conclusión podemos decir que las herramientas de simulación del proceso de moldeo por inyección que ofrece 3DEXPERIENCE, son herramientas muy potentes que pueden ser de gran ayuda al ingeniero de desarrollo de productos en su vida laboral para poder verificar la bondad de sus diseños, sin embargo, el tiempo de procesado de estas herramientas en ordenadores de perfil técnico normal es muy grande.

## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

El proyecto académico realizado en el marco del Trabajo Fin de Máster *“Análisis del Proceso de Diseño y Optimización de Piezas para el Conformado por Inyección de Plástico con herramientas PLM aplicado al sector de Automoción”* ha permitido integrar los conocimientos del Máster Universitario en Ingeniería Industrial de forma aplicada y fortalecer las competencias relacionadas con el Diseño y Fabricación de Productos. En el proyecto no solo se ven integradas competencias del área de desarrollo de productos, también se ven reflejadas áreas como la selección de materiales, las distintas técnicas de diseño para fabricación o la gestión de proyectos.

Con la ayuda de las distintas metodologías de diseño para fabricación, se ha obtenido el diseño final de una pieza característica del sector de automoción a fabricar por moldeo por inyección. Para poder obtener un diseño robusto primero de todo se ha tenido que realizar una revisión teórica específica, que sirviese de preámbulo al caso práctico, contextualizando tanto la gestión del ciclo de vida de un producto como las distintas técnicas de fabricación para materiales plásticos así como aquellas herramientas de diseño avanzadas que ayudan en la etapa de diseño de producto.

Una vez introducido el marco teórico del caso práctico, se procedió a desarrollar la etapa de diseño de detalle, donde se ha aplicado un diseño riguroso y con unos criterios de modelado claros, en el caso práctico se han demostrado las competencias adquiridas a lo largo de la vida académica con un diseño capaz de transformarse sin que sus requisitos dimensionales se viesen afectados en un programa de diseño totalmente nuevo para el alumno. Con respecto a la aplicación 3DEXPERIENCE, es importante destacar que es una plataforma novedosa como herramienta para el ámbito de la ingeniería. El proyecto ha demostrado que un ingeniero de desarrollo de productos debe ser capaz de adaptarse a cualquier herramienta de modelado 3D en un mundo cambiante, como son las herramientas avanzadas de diseño y, en particular, a un software en fase de desarrollo. La experiencia ha permitido testear los continuos cambios que sufren en general y, como ejemplo, comentar que durante el periodo de realización del documento académico la plataforma ha sufrido cuatro actualizaciones.

Otro aspecto muy importante en proyectos de desarrollo de nuevos productos son las lecciones aprendidas durante su realización para que sirvan de guía en futuros proyectos. Con respecto al software 3DEXPERIENCE, es muy importante dominar la herramienta antes de empezar con el desarrollo del proyecto, es decir, es necesario un proceso de formación y capacitación adecuada a la herramienta que se va a utilizar. Por otra parte, es necesario trasladar el proyecto general a la herramienta de Gestión del Ciclo de Vida del Producto (PLM), esto es, se tiene que personalizar el proyecto, etapas, puertas de aprobación y carpetas de almacén. Para el inicio del proyecto y para todo el equipo de trabajo es importante planificar el aprendizaje y realizar

aquellos cursos de formación necesarios para el desarrollo del proyecto que ayudarán a que el programa no sea un cuello de botella una vez empezado el diseño.

En referencia al programa como un cuello de botella, la formación del alumno como ingeniero de desarrollo de productos y su formación en el área permitieron iniciar el proyecto con una pieza compleja y característica del sector que nos permitiese analizar todos los distintos problemas a encontrar en un diseño de este tipo, sin embargo, el proceso de simulación ralentizó el desarrollo de trabajo, al ser realizado en un equipo informático no profesional y dedicado a dichas simulaciones. De cara a futuros proyectos dedicados al Análisis del proceso de diseño y conformado de piezas para inyección plástica con 3DEXPERIENCE se recomienda empezar analizando piezas sencillas, e ir complicando su diseño.

Con la realización de este Trabajo Fin de Máster, se ha iniciado el proceso de implantación de 3DEXPERIENCE en el Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación del Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales de la Universidad Politécnica de Valencia. Particularmente en las asignaturas impartidas en la especialidad de Diseño y Fabricación de Productos del Máster de Ingeniería Industrial, por lo que este documento académico podrá servir de guía a futuros alumnos de dichas asignaturas, incluso a aquellos que quieran incluir en su Trabajo Final de Máster el desarrollo de productos con 3DEXPERIENCE.

Finalmente ,hay que hacer balance del trabajo realizado para ver cómo se podría continuar y complementar. Con este proyecto se ha intentado simular el ciclo de vida de un nuevo producto, centrándonos en la fase de diseño de una pieza para el conformado por inyección de plásticos, pero aunque demos por válido el diseño y el plan preliminar del proceso de fabricación sería interesante continuar este proyecto.

Teóricamente durante el trabajo se ha explicado el concepto de PLM, y aunque se ha utilizado el PLM 3DEXPERIENCE para la gestión del proyecto y sus aplicaciones de modelado y análisis, el ciclo de vida no se ha completado por lo que sería interesante documentar fases posteriores como fabricación-producción, uso del producto y fin de vida.

Otro punto donde se puede trabajar en una mejora es en el diseño de molde, para este caso práctico se ha diseñado el molde de forma general sin tener en cuenta aspectos muy importantes como puede ser la geometría de la máquina o la estandarización de elementos como son los expulsores, realizar un buen diseño de molde es algo que requiere un gran trabajo de búsqueda de información.

Para finalizar se puede decir que el desarrollo de este Trabajo ha supuesto una satisfacción puesto que se han adquirido las competencias actualizadas en el área de Diseño, Desarrollo y Fabricación de Productos, por cómo se han integrado los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación en el Máster Universitario en Ingeniería Industrial y, especialmente, durante el último curso del Máster donde se cursaron las asignaturas correspondientes con la especialidad de diseño y fabricación teniendo la oportunidad de trabajar con herramientas de apoyo a la ingeniería industrial avanzadas.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## **Libros y artículos de revista**

Boothroyd, Geoffrey. Product design for manufacture and assembly / Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston A. Knight. Boca Raton, Fl: CRC Press, cop. 2011. 3rd ed.

Swift, K. G. Process selection: from design to manufacture / K.G. Swift, J.D. Booker. Oxford: ButterworthHeinemann, 2003. 2nd ed

Corrado Poli. Design for manufacturing: a structured approach. Boston: ButterworthHeinemann, cop. 2001

Bralla, J.G. Design for Manufacturability. McGraw Hill.

Project Management Institute, 2013. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (guía del PMBOK®) -- Quinta edición.*

Definicion.de: Definición de plástico (). *Autores: Julián Pérez Porto y Ana Gardey. Publicado: 2013. Actualizado: 2015.*

Geoffrey Boothroyd. Product Design for Manufacture and Assembly. Third edition 2011.

## **Páginas Web**

INDUSTRIA 4.0 de conexión industriales (10 de junio de 2016)

<http://conexionindustriales.com/la-industria-4-0/>

Colaboradores de Wikipedia. Referencia bibliográfica [en línea]. Wikipedia, la enciclopedia libre, 2017 [fecha de consulta: 17/06/2017]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Termopl%C3%A1stico>

Colaboradores de Wikipedia. Referencia bibliográfica [en línea]. Wikipedia, la enciclopedia libre, 2017 [fecha de consulta: 17/06/2017]. Disponible en [https://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico\\_termostable](https://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico_termostable)

Colaboradores de Wikipedia. Referencia bibliográfica [en línea]. Wikipedia, la enciclopedia libre, 2017 [fecha de consulta: 03/09/2017]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Presupuesto>

Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales. Universidad politécnica de Valencia.

Referencia en línea. [https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15\\_4.html](https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_4.html)



Análisis del Proceso de Diseño y  
Optimización de Piezas para el  
Conformado por Inyección de  
Plástico con herramientas PLM  
aplicado al sector de Automoción

# PRESUPUESTO

Daniel Gardel Gómez

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA



# **PRESUPUESTO**

## **1. NECESIDAD DEL PRESUPUESTO**

Para entender la necesidad de que en un proyecto exista presupuesto, es necesario entender que es un presupuesto, y más concretamente la definición de presupuesto acorde al área de proyectos, *“se llama presupuesto al cálculo y negociación anticipada de los ingresos y gastos de una actividad económica, sea personal, familiar, empresarial o pública”*. Por lo tanto, y aplicado al área de proyectos y más concretamente al área de desarrollo de un nuevo producto, el presupuesto es aquel documento que se realiza en las fases iniciales del diseño y dónde se recogen los gastos e ingresos que afectan a dicho proyecto.

Todo nuevo proyecto, producto o actividad empresarial, su fin es la comercialización, por ello el proyecto ha de estar monetizado desde las primeras fases, incluso, es conveniente que se realice un primer presupuesto de aproximación antes de empezar un nuevo proyecto o desarrollo de producto, de aquí el carácter anticipado en la definición de presupuesto. En las primeras fases del ciclo de vida se realizan análisis de mercado con los posibles beneficios que puede generar el nuevo producto, si resulta que con el primer presupuesto los gastos de desarrollo van a ser mayores que los ingresos futuros, el proyecto no va a poder ser llevado a cabo en esas condiciones. Finalmente, y una vez el proyecto/desarrollo de un nuevo producto está llegando a sus fases finales, se puede realizar un presupuesto detallado incluyendo los distintos gastos e ingresos en los que ha incurrido el proyecto.

## **2. CONTENIDO DEL PRESUPUESTO**

### **2.1. Presupuesto de un nuevo producto de moldeo por inyección**

Dependiendo del tipo de proyecto, el presupuesto va a tener una serie de características distintas, en nuestro caso el proyecto es el desarrollo de un nuevo producto que se va a fabricar por moldeo por inyección. Como nuevo producto, el fin último de este es la comercialización, por lo que, a la hora de diseñar el producto y el plan de fabricación, hay que tener presente los ingresos que se esperan percibir con el nuevo producto.

En el presente apartado se pretende hacer una pequeña introducción a los gastos principales de este tipo de proyectos, haciendo hincapié en los gastos particulares y no en los gastos generales asociados a la gestión de proyectos, al hablar de proyectos o de desarrollo de nuevos productos no se llega a obtener beneficios hasta la fase de comercialización.

Todo proyecto de ingeniería o empresarial es llevado a cabo por un equipo multidisciplinar, por lo tanto, un gasto fijo en el proyecto va a ser la remuneración del equipo, esta remuneración puede ser en forma de contrato por obra o contrato por horas, en ambos casos la efectividad del equipo repercutirá directamente en el gasto final.

Al igual que existe el gasto en el personal que desarrolla el producto, existen numerosos gastos asociados al mantenimiento de instalaciones, equipos, etc., gastos en definitiva que no son del alcance de un trabajo académico.

Por lo tanto, por una parte tenemos el gasto en personal, y por otra parte tenemos el gasto asociado al desarrollo y fabricación del producto como tal, sobre el que incidiremos en este capítulo, haciendo un resumen del contenido del presente proyecto, recordamos que las primeras fases se correspondían con fases de diseño y desarrollo donde definimos el proceso de diseño y las distintas herramientas usadas para este fin, y una fase final desarrollada a modo teórico que es el plan de fabricación, por lo tanto los gastos que se van a incluir en el presupuesto son los siguientes:

- Gasto en herramientas informáticas/software, en el proceso de diseño se usan multitud de herramientas informáticas, softwares para el correcto desarrollo del producto, todos estos programas pertenecen a distintas empresas como se puede observar en la Figura 29. Principales sistemas PLM, y estas empresas cobran licencias por equipo para usar dichos programas, y usar estos programas sin adquirir la licencia es incurrir en un delito.
- Molde, cada nuevo producto que se desarrolla para ser fabricado por el proceso de moldeo por inyección, necesita de un molde particular, el coste de fabricar el molde es el coste principal de cualquier pieza diseñada por esta técnica.
- Amortización de maquinaria, el molde se introduce en una máquina inyectora, puesto que la fabricación de piezas de plástico se realiza en industrias específicas, el coste de amortización de maquinaria suele ser despreciable.
- Coste de la materia prima, el coste de fabricar una pieza es el equivalente al porcentaje de amortización de la maquinaria, el gasto energético y el volumen de material empleado en dicha pieza.

En el desarrollo del presupuesto para el proyecto académico se ha prestado especial atención al cálculo del coste del molde, si bien, el cálculo de este coste no es del todo exacto si lo es para nuestros intereses desde el punto de vista del diseñador.

Si recordamos el título de este trabajo académico, *“Análisis del Proceso de Diseño y Optimización de Piezas para el Conformado por Inyección de Plástico con herramientas PLM aplicado al sector de Automoción”*, en concreto se ha desarrollado el diseño y plan de fabricación para la rejilla frontal de un automóvil y todo el diseño ha sido llevado a cabo por la misma persona, pero conviene explicar cómo se hubiera llevado a cabo el desarrollo de este nuevo producto en el mundo empresarial actual, basado en la ingeniería colaborativa.

Partimos de una empresa del sector de automoción fabricante de automóviles, esta empresa quiere desarrollar un nuevo vehículo con componentes totalmente novedosos, entre ellos la rejilla en cuestión, esta empresa poseerá varios equipos, o varias empresas anexas cada una especializada en un sector, carrocería, piezas de plástico, llantas, etc., la empresa será la encargada de realizar la primera fase de análisis donde indicará las pautas a seguir en el diseño, el cual se pondrá en manos de la red de equipos multidisciplinares creada para ello. Pues bien centrémonos en el equipo de desarrollo de la rejilla frontal, la empresa les habrá indicado las pautas a seguir en cuanto a diseño y en cuanto a costes, por lo que el equipo ha de ser capaz de realizar un diseño que cumpla con las expectativas de la empresa, una vez terminado el diseño

este irá a manos de una tercera empresa encargada del diseño y fabricación de moldes, la cual proporcionará un presupuesto detallado sobre el coste del molde y finalmente el molde adjunto a los planos detallados de la pieza irá a manos de una cuarta empresa que estará especializada en el sector de inyección de plásticos, que será la encargada de realizar la producción de piezas. Todo el supuesto anterior puede variar en función de las distintas posibilidades de las que dispongan las empresas.

Una vez explicado el desarrollo del plan de procesos para nuestro producto, se van a remarcar ciertos aspectos, el primero es el de un presupuesto cerrado para el desarrollo del nuevo producto, el segundo es acerca del presupuesto, se ha comentado que el coste principal de este tipo de proyectos va a ser el coste del molde, por encima del coste individual de cada pieza y la última afirmación es acerca del momento exacto en el que el diseñador conoce el precio del molde, que es una vez la fase de diseño está acabada. Pues bien pongámonos en el supuesto de que el coste del molde supera el presupuesto inicial destinado al desarrollo del nuevo producto, la empresa entraría en pérdidas por lo que como diseñadores tendríamos que volver a rediseñar el producto para adecuarlos a un molde más sencillo, y recordando la Figura 2, el coste de realizar un cambio en una fase avanzada del ciclo de vida del producto es elevado, por lo que, aunque fuésemos capaces de rediseñar el producto de tal manera que se pudiesen seguir obteniendo beneficios, estos no serían tan altos como si el rediseño se hubiese hecho en una fase inicial.

Durante el siguiente apartado se va a analizar, explicar, aplicar y comparar dos métodos para el cálculo del coste del molde, ambos métodos ofrecen valores de coste aproximados y nos permiten anticiparnos a la situación explicada anteriormente.

## **2.2. Cálculo del coste del molde**

Existen multitud de libros y autores que hablan acerca del proceso de inyección de plásticos, y que establecen su propio método para estimar el coste del molde, para el cálculo del presupuesto del desarrollo de la rejilla vamos a realizar una estimación del cálculo del coste del molde por el método de Boothroyd, explicado en el libro *“Design for Manufacture and Assembly. Third edition 2011.”*, y por el método realizado por Corrado Poli. Al realizar el estudio del coste por dos métodos distintos podremos comprobar como de preciso es el cálculo del coste del molde a través de estos métodos.

### 2.2.1. Estimación del coste del molde por el método Boothroyd & Dewhurst

Para el cálculo del coste se va a seguir el mismo orden y procedimiento que Boothroyd utiliza en su explicación, comentar que Boothroyd establece el coste en dólares, y que como el libro data de 2011, si queremos hacer una comparativa con el método de Corrado Poli, tendremos que utilizar una moneda con un orden de magnitud similar, y como el resto del presupuesto se va a realizar en euros, es lógico que hagamos la conversión del dólar al euro con los valores de 2011, buscando el factor de conversión de 2011 encontramos que aproximadamente era igual a 1,35.

El primer coste, es lo que el autor denomina coste del molde base, la fórmula es la siguiente:

$$C_b = 1000 + 0,45A_c h_p^{0,4}$$

Donde:

$C_b =$  Coste del molde base (\$)

$A_c =$  Área del molde ( $cm^2$ )

$h_p =$  El espesor combinado de la pieza y las placas del molde (cm)

Para el cálculo del área del molde y del espesor combinado de la pieza y las placas del molde, Boothroyd establece que la distancia entre la cavidad y las caras externas del molde ha de ser de un mínimo de 7,5cm ampliable en función de ciertas características de diseño que complicarían el molde y que en ningún caso nuestro diseño cumple.

Teniendo en cuenta que las dimensiones de la pieza son 1200x400x160 mm:

$$\text{Resultado} \rightarrow C_b = 14196\$ = 19465\text{€}$$

El coste anterior incluye las preformas de las dos cavidades, los pilares, casquillos de inyección, etc., pero para conseguir la forma deseada hay que procesar el molde, Boothroyd hace un cálculo aproximado de las distintas horas que va a llevar a cabo obtener la forma final del molde, y una vez conocidas las horas y el salario base del operario, para obtener el coste únicamente será necesario realizar la multiplicación.

Primero de todo hace una estimación de las horas de procesado de las dos cavidades:

$$M_b = 50 + 0.023A_p h_p^{0,4}$$

Donde:

$M_b =$  Horas de procesado del molde (h)

$A_p =$  Área proyectada de la pieza ( $cm^2$ )

Teniendo en cuenta las dimensiones de la pieza obtenemos un total de horas de procesado de molde de:

$$\text{Resultado} \rightarrow M_b = 1145h$$

Por teoría comentamos la necesidad de introducir expulsores en el diseño para facilitar la fase de expulsión, y para poder eliminar el aire atrapado dentro del molde, Boothroyd tiene en cuenta según el número de expulsores un número de horas de procesado, en concreto el establece 2,5 horas por cada expulsor, y añade una fórmula para calcular el número de expulsores necesarios en la pieza.

$$N_e = A_p^{0,5} ; M_e = 2,5N_e$$

Donde:

$N_e =$  Número de expulsores

$M_e =$  Horas de procesado de los expulsores (h)

$$\text{Resultado } N_e = 70 \text{ expulsores ; } M_e = 175h$$

La siguiente consideración que hace el autor es sobre la complejidad de la pieza, y es que no es lo mismo tener que procesar un prisma regular que una superficie con múltiples agujeros y protrusiones, así como, no es lo mismo una pieza simétrica con multitud de operaciones repetidas que una pieza asimétrica, el autor también tiene en cuenta este hecho.

Se establece un cálculo de horas en función del número de complejidades internas y externas, el número de operaciones distintas o cambios de herramienta necesarios, es decir, si yo tengo un taladro interior será una superficie, si tengo un cambio de plano es decir dos caras planas a 90 grados en el exterior esto serán dos superficies y así sucesivamente.

$$M_x = 5,83(X_i + X_o)^{1,27}$$

$$X_{x;x=i \text{ ó } x=o} = 0,1N_{sp}$$

$$N_{sp} = N_{spT}^{0,766} \text{ en caso de ser simétricas}$$

Donde:

$M_x =$  Horas causadas por la complejidad geométrica (h)

$X_i =$  Complejidad interna cavity

$X_o =$  Complejidad externa core

$N_{sp} =$  Número de superficies distintas

$N_{spT} =$  Número de superficies totales

Si nos fijamos en la Figura 75, donde aparecen el diseño del core y del cavity, podemos observar que por multitud de protrusiones necesarias en el núcleo, siempre se va a componer de las mismas operaciones, un operación para obtener la superficie superior y un perfilado para obtener la forma de la protrusión, y este proceso se repetirá tantas veces como protrusiones tiene el molde. En el cavity el número de operaciones es el mismo, un perfilado y un acabado para la superficie cóncava.

Lo que nos da un tiempo de operación:

$$M_x = 0,76h$$

Si multiplicamos esta cantidad por el número de protrusiones elevado a 0,766 que es el coeficiente que establece Boothroyd, obtenemos un resultado de:

$$M_{xt} = 74h$$

El siguiente aspecto que puede complicar la geometría del molde y añadir horas de procesado es la forma de la línea de partición, Boothroyd calcula las horas de procesado dedicadas a la línea de partición con la siguiente ecuación:

$$M_s = f_p A_p^{0,5}$$

Donde:

$M_s$  = Horas causadas por la complejidad de la línea de partición ( $h$ )

$f_p$  = Coeficiente en función de la forma de la línea de partición

El valor de  $f_p$  viene determinado por la tabla de la Figura 76

Parting Surface Classification	
Parting Surface Type	Factor ( $f_p$ )
Flat parting plane	0
Canted parting surface or one containing a single step	1.25
Two to four simple steps or a simple curved surface	2
Greater than four simple steps	2.5
Complex curved surface	3
Complex curved surface with steps	4

Figura 76. Cálculo del coeficiente  $f_p$  según Boothroyd

Como la línea de partición es plana, el valor de  $f_p$  y por consiguiente de las horas causadas por la complejidad de la línea de partición es igual a cero.

Finalmente, dos aspectos con gran importancia sobre el producto final son la tolerancia y el acabado superficial, no es lo mismo una tolerancia estricta y un acabado superficial tipo espejo, que una tolerancia mucho más permisiva con un acabado basto.

El autor establece un porcentaje de aumento de las horas correspondientes al procesado de molde, al procesado de los expulsores y a la complejidad de la pieza, en función del acabado superficial del producto según la tabla de la Figura 77, para nuestro caso el resultado que se ha tenido en cuenta es un Opaque, high gloss de un 25% correspondiente con un acabado SPE No.2.

Percentage Increases for Different Appearance Levels	
Appearance	Percentage Increase
Not critical	10
Opaque, standard (SPE #3)	15
Transparent, standard internal flaws or waviness permissible	20
Opaque, high gloss	25
Transparent, high quality	30
Transparent, optical quality	40

Figura 77. Porcentaje de incremento para distintos acabados superficiales

Finalmente, el autor aproxima que la tolerancia únicamente influye en las horas estimadas por complejidad geométrica, y al igual que para la rugosidad superficial indica un valor porcentual de incremento según la tabla de la Figura 78, en concreto de acorde a plano el incremento será de un 10%.

Percentage Increases for Tolerance		
Tolerance Level	Description of Tolerances	Percentage Increase
0	All greater than $\pm 0.5$ mm	0
1	Most approx. $\pm 0.35$ mm	2
2	Several approx. $\pm 0.25$ mm	5
3	Most approx. $\pm 0.25$ mm	10
4	Several approx. $\pm 0.05$ mm	20
5	Most approx. $\pm 0.05$ mm	30

Figura 78. Porcentaje de incremento para distintos valores de tolerancia

Por lo tanto, por un lado, tenemos un coste fijo aproximado de unos 20000€, y un consumo de horas de procesado de 1750h, teniendo en cuenta un valor aproximado de coste horario para un operario cualificado de unos 35€/h, el coste total del molde asciende a 80715€

Haciendo una recopilación de todos los datos en la Tabla 5

<i>Descripción</i>	<i>Coste</i>
<i>Coste del molde</i>	19465€
<i>Horas de procesado del molde</i>	1145h
<i>Horas de mecanizado de los expulsores</i>	175h
<i>Horas asociadas a la complejidad de mecanizado</i>	74h
<i>Horas por la línea de partición</i>	0h
<i>Horas asociadas a la rugosidad superficial</i>	348,5 h
<i>Horas asociadas a la tolerancia geométrica</i>	7,4h
<i>Horas totales</i>	1750h
<i>Coste del operario por hora</i>	35€/h
<b><i>Coste total del molde</i></b>	<b>80715€</b>

Tabla 5. "Cálculo del coste del molde según Boothroyd"

### 2.2.2. Estimación del coste del molde por el método Corrado Poli

El análisis del autor va más allá de únicamente estimar el coste del molde de inyección plástica, el autor establece una estimación del coste total de la pieza final de plástico, y divide este coste en el coste del molde, el coste del proceso y el coste del material.

$$C_r = \left(\frac{6980}{N}\right)C_d + 0,1224C_e + 0,00182C_m$$

Donde:

$C_r$  = Coste total de la pieza de inyección plástica (\$)

$C_d$  = Coste total del molde de inyección de plástico (\$)

$C_e$  = Coste del proceso (\$)

$C_m$  = Coste del material (\$)

$N$  = Tamaño de lote

Vamos a empezar explicando cómo estima el autor el cálculo total del molde. El autor afirma que este coste es función directa de lo que él denomina coste de construcción de molde y coste del material del molde.

$$C_d = 0,8C_{dc} + 0,2C_{dm}$$

Donde:

$C_d$  = Coste total del molde de inyección de plástico (um)

$C_{dc}$  = Coste de construcción del molde (um)

$C_{dm}$  = Coste del material del molde (um)

- Cálculo del coste de procesado del molde  $C_{dc}$

Al igual que en el método Boothroyd en el coste de construcción del molde se incluye un coeficiente en función de la complejidad, además Corrado añade un tercer coeficiente en función de la tolerancia.

$$C_{dc} = C_b C_s C_t$$

Donde:

$C_b$  = Coeficiente de complejidad básica (um)

$C_s$  = Coeficiente de complejidad secundaria (um)

$C_t$  = Coeficiente de calidad tolerancia y acabado superficial (um)

Vamos a empezar por el primer coeficiente  $C_b$ , para su selección el autor creó la tabla de la , donde a través de una serie de parámetros de entrada obtendremos el parámetro  $C_b$ , dichos parámetros son los siguientes:

- (L, B, H), es el resultado de inscribir la pieza en un prisma rectangular de base (LXB) y altura H.
- Identificar si la pieza tiene protrusiones laterales en el sentido contrario a la apertura del molde
- Definir si la pieza se encuentra únicamente en una parte del molde o en las dos.

- Definir si el perímetro de la pieza en un corte cualquiera es de espesor constante,

Aplicando todas estas características a nuestro caso, nos sale la coordenada (0,8), y el número de la esquina derecha. L es mayor que 428 mm, no hay protrusiones laterales en contrasalida, el espesor es constante y la pieza se encuentra en una única parte del molde.

$$\text{Resultado} \rightarrow C_b = 4,28$$

El siguiente coeficiente  $C_s$  es en función de los elementos de detalle existentes dentro de la cavidad, y se calcula de acuerdo con la Figura 79, los parámetros de entrada son el número de cavidades/agujeros/nervios, el parámetro L antes mencionado y la existencia de protrusiones laterales en la dirección contraria al desmoldeo.

Para nuestro caso está claro sin hacer el cálculo que es “Large Part” y “Very high cavity detail”, con estos parámetros nos situamos en la tabla inferior y obtenemos el valor:

Feature		Number of Features (n)	Penalty per Features	Penalty
Holes or Depressions	Circular		2n	
	Rectangular		4n	
	Irregular		7n	
Bosses	Solid (9)		n	
	Hollow (9)		3n	
Non-peripheral ribs and/or walls and/or rib clusters (8)			3n	
Side Shutoffs	Simple (8)		2.5n	
	Complex (8)		4.5n	
Lettering (10)			n	
			Total Penalty	

**SMALL PARTS (L < 250 mm)**  
 Total Penalty <10 => Low cavity detail  
 10 < Total Penalty <20 => Moderate cavity detail  
 20 < Total Penalty <40 => High cavity detail  
 Total Penalty >40 => Very high cavity detail

**MEDIUM PARTS (250 < L < 400 mm)**  
 Total Penalty <15 => Low cavity detail  
 15 < Total Penalty <30 => Moderate cavity detail  
 30 < Total Penalty <60 => High cavity detail  
 Total Penalty >60 => Very high cavity detail

**LARGE PARTS (L > 400 mm)**  
 Total Penalty <20 => Low cavity detail  
 20 < Total Penalty <40 => Moderate cavity detail  
 40 < Total Penalty <80 => High cavity detail  
 Total Penalty >80 => Very high cavity detail

1 in = 25.4 mm, 100 mm/25.4mm = 3.94 in

**Table 4.1** Subsidiary complexity rating,  $C_s$ . (The numbers in parentheses refer to notes found in Appendix 4.A.)

		Fourth Digit	
		Without Extensive (7) External Undercuts (5)	With Extensive (7) External Undercuts (5)
Third Digit	Cavity Detail (6)	Low	0
		Moderate	1
		High	2
		Very High	3

Figura 79. “Cálculo del coeficiente de complejidad  $C_s$ ”

$$\text{Resultado} \rightarrow C_s = 2,05$$

Finalmente, el último coeficiente es el relativo al acabado superficial y a la tolerancia  $C_t$ , al igual que en los anteriores casos este coeficiente se puede obtener a través de la tabla de la Figura 80, la tabla tiene como entradas la rugosidad superficial ( $R_a$ ), y dos posibles clasificaciones de tolerancia estrecha o comercial ( $T_a$ ), debido a las estrictas tolerancias con las que trabaja el sector del automóvil, y como la superficie exterior de la rejilla tiene que tener un muy buen acabado superficial, ya se ha comentado en el método de Boothroyd que el acabado superficial se corresponde con un valor de SPE No.2, el parámetro  $C_t$  obtiene el valor más restrictivo de la tabla.

$$\text{Resultado} \rightarrow C_t = 1,15$$

**Table 4.2** Tolerance and surface finish rating,  $C_t$ . (The numbers in parentheses refer to notes found in Appendix 4.A.)

		<i>Sixth Digit</i>			
		Commercial Tolerance, $T_s$		Tight Tolerance, $T_s$	
		0		1	
<i>Fifth Digit</i>	Surface Finish, $R_s$	SPI 5-6	0	—	—
		SPI 3-4	1	1.00	1.05
		Texture	2	1.05	1.10
		SPI 1-2	3	1.10	1.15

*Figura 80. "Cálculo del coeficiente de tolerancia  $C_t$ "*

Por lo que el resultado final del parámetro coste de construcción del molde  $C_{dc}$  para nuestro caso práctico, desarrollo de la rejilla frontal de un automóvil es:

$$\text{Resultado} \rightarrow C_{dc} = 10,09$$

**1 in = 25.4 mm; 100 mm/25.4 mm = 3.94 in**

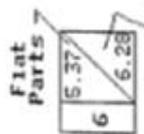
		<b>SECOND DIGIT</b>																
		L < 250 mm (4)					250mm < L < 480mm					L > 480 mm						
		Number of External Undercuts (5)					Number of External Undercuts (5)					Number of External Undercuts (5)						
		zero one	two	three	More than two	zero one	two	three	More than two	zero one	two	three	More than two	zero one	two	three	More than two	
<b>BASIC COMPLEXITY</b>	Fiat Parts  Box-Shaped Parts	0	1.00	1.23	1.38	1.52	1.42	1.65	1.79	1.94	1.83	2.07	2.33	2.33	2.58	2.84	3.10	3.36
		1	1.64	1.87	2.02	2.16	2.89	3.12	3.27	3.41	4.28	4.51	4.77	4.77	5.64	5.87	6.02	6.16
	2	1.14	1.37	1.52	1.66	1.61	1.84	1.99	2.13	2.27	2.09	2.32	2.59	2.59	2.82	3.05	3.29	3.52
	3	1.85	2.09	2.24	2.38	2.99	3.22	3.37	3.51	4.42	4.65	4.92	4.92	5.79	6.02	6.25	6.49	6.72
	4	1.28	1.51	1.66	1.80	1.81	2.04	2.19	2.33	2.34	2.58	2.84	2.84	3.71	3.94	4.18	4.42	4.65
	5	1.92	2.15	2.29	2.44	3.38	3.61	3.76	3.90	5.01	5.24	5.50	5.50	6.37	6.60	6.84	7.08	7.32
<b>FIRST DIGIT</b>	Parts whose peripheral height from a planar dividing surface is constant (2)	0	2.33	2.57	2.71	2.86	2.75	2.98	3.13	3.27	3.17	3.40	3.65	3.65	3.88	4.12	4.36	4.60
		1	3.19	3.43	3.57	3.72	4.44	4.68	4.82	4.97	5.83	6.07	6.33	6.33	7.20	7.44	7.68	7.92
	2	2.98	3.21	3.36	3.50	3.52	3.75	3.89	4.04	4.04	4.28	4.51	4.51	5.38	5.62	5.85	6.08	
	3	3.73	3.97	4.11	4.26	5.20	5.43	5.58	5.72	6.82	7.06	7.32	7.32	8.19	8.43	8.67	8.91	
	4	4.20	4.43	4.58	4.72	4.62	4.85	4.99	5.14	5.03	5.27	5.53	5.53	6.40	6.64	6.88	7.12	
	5	5.37	5.61	5.75	5.89	6.83	7.06	7.20	7.34	8.44	8.67	8.91	8.91	9.78	10.02	10.26	10.50	
6	5.37	5.60	5.74	5.89	6.13	6.28	6.42	6.57	7.71	7.95	8.19	8.43	8.67	9.54	9.78	10.02	10.26	
		6.28	6.52	6.66	6.81	7.74	7.98	8.12	8.27	9.37	9.60	9.86	9.86	10.73	10.97	11.21	11.45	

Figura 81. "Selección del coeficiente C<sub>b</sub>"

### Cálculo del coste del material del molde $C_{dm}$

Según Corrado el coste del molde se compone en un 80% de lo que él denomina coste de construcción del molde, y en un 20% en la parte del material del molde.

Al realizar el cálculo del coste del molde por el método de Boothroyd y por el método Corrado, por un lado, podemos comparar resultados y obtener conclusiones más concisas y por otro lado estamos obteniendo parámetros que nos van a ayudar a la hora de realizar el diseño del molde, con Boothroyd calculamos el número de expulsores que son necesarios para nuestro diseño, y en este apartado Corrado nos da unas ecuaciones con las que calcular las dimensiones del molde ( $L_m$ ,  $B_m$ ,  $H_m$ ), la distancia de la pieza a la cara externa del molde  $M_{WS}$  y el espesor de las placas del molde  $M_{WF}$ .

$$M_{WS} = (0,006CH_m^4)^{1/3}$$

$$M_{WF} = 0,04 \cdot L_m^{4/3}$$

C es un coeficiente que determinaremos con la gráfica de la Figura 82, las dimensiones del prisma rectangular en el cual podemos inscribir la rejilla son en mm (1200x400x160) y un valor de  $C=0,14$ . Por lo que nos queda:

$$M_{WS} = 81,96mm$$

$$M_{WF} = 510,08mm$$

Quedando el molde con una medida de (2220x1420x324mm.).

Finalmente, con los valores  $H_m$  y el área del molde entraríamos en la gráfica de la Figura 83, y obtendríamos el parámetro  $C_{dm}$ , dado que este método es para el cálculo de moldes pequeños, en las curvas de la gráfica no podemos obtener el resultado, con lo que supondremos que este es el valor más restrictivo de la gráfica.

$$\text{Resultado} \rightarrow C_{dm} = 12$$

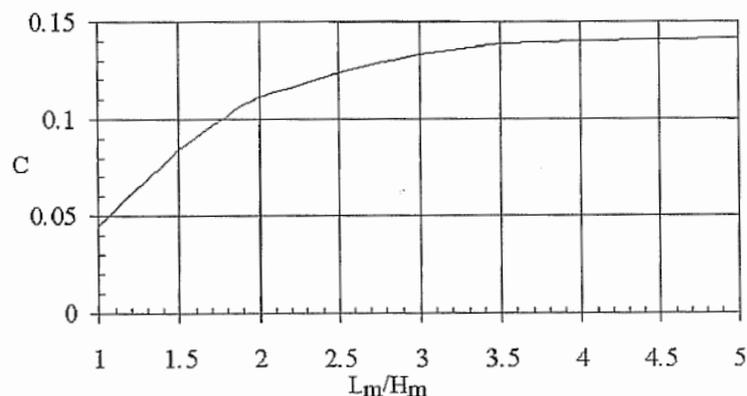


Figura 82. "Cálculo del coeficiente C"

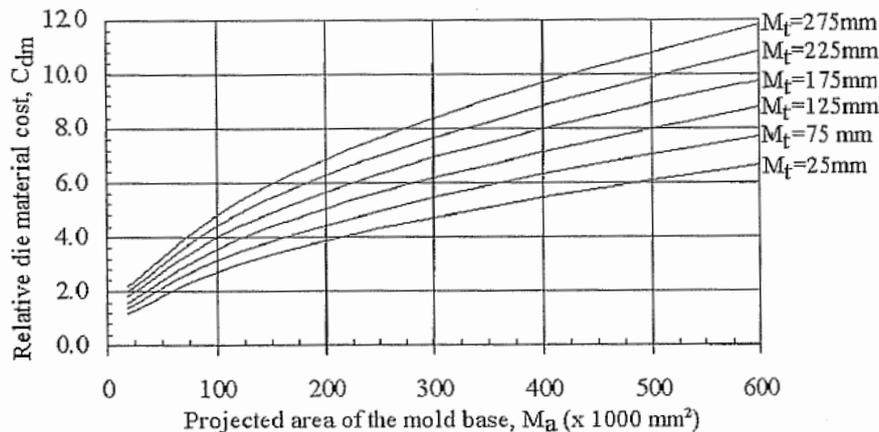


Figura 83. "Coste del material del molde"

Y finalmente el resultado del parámetro del coste del molde es, y el coste del molde:

$$\text{Resultado} \rightarrow C_d = 10,5$$

$$\text{Coste del molde} = 6980 * 10,5 = 73095\$$$

Al igual que para el método de Boothroyd, tendremos que pasar el valor del dólar en 2001 año de publicación del libro a euros, el factor de cambio era de 0,89.

Podemos extraer el valor del molde para el presupuesto total del trabajo como:

$$\text{Resultado} \rightarrow \text{Coste del molde} = 6980C_d = 82348\text{€}$$

### 2.3. Cálculo del coste de procesado, del material y del coste total de pieza

Este cálculo se podría haber realizado por el método de Corrado Poli, pero el autor estima el coste en función de una pieza base, debido a que cuando se realizó el método los programas de simulación, no estaban tan depurados como ahora, por lo que, una vez simulado el proceso de inyección el cálculo del coste tanto del procesado como del material será sencillo.

#### Cálculo del coste de procesado:

El coste de procesado de una pieza no es más que el tiempo total de ciclo, tiempo de llenado más tiempo de solidificación lo que nos deja un total de 71,2 sg., multiplicado por el coste de operario y máquina que vamos a estimar que será de unos 30€/hora, por lo que el coste de procesado es de 0,60€.

#### Cálculo del coste del material:

En el proceso de fabricación se aprovecha todo el volumen de material, puesto que el material sobrante en los bebederos se vuelve a fundir y reaprovechar, por lo que el coste total del material será el volumen de la pieza por el precio del material, el primer dato lo podemos obtener de las propiedades de la pieza en 3DEXPERIENCE, 0,011m<sup>3</sup>, y el segundo podemos obtenerlo de la ficha técnica del material proporcionada por CES Edupack, 4820 €/m<sup>3</sup>, lo que nos da un total de 53€.

#### Cálculo total de pieza:

Una vez tenemos el coste del molde, y el coste unitario de procesado y pieza, únicamente tenemos que dividir el coste del molde obtenido con el método de Boothroyd por el número de piezas a inyectar a lo largo de la vida útil, supondremos 40.000 piezas, y sumarlo al coste de procesado y el coste de material. Obteniendo un resultado de aproximadamente 55€.

#### **2.4. Consideraciones tomadas para el caso práctico**

El contenido del presupuesto en este trabajo es académico, es decir, con la realización del presupuesto se han marcado dos objetivos claros y dependientes, el primer objetivo es entender cuáles son las consideraciones para tener en cuenta en el aspecto económico en el desarrollo de un nuevo producto por moldeo por inyección, y el segundo objetivo es el de entender la importancia del presupuesto en un proyecto.

Para comprender el contenido del presupuesto primero hay que explicar una serie de consideraciones y supuestos que se han tenido que tener en cuenta dado el carácter académico del presupuesto. La intención es conseguir un presupuesto lo más parecido posible a lo que sería en realidad el presupuesto si este mismo proyecto hubiera sido llevado a cabo por una empresa.

Lo primero que tenemos que definir es que parte somos, y cuáles van a ser las partes que vamos a llevar a cabo, pues ya hemos visto que dentro de este tipo de proyectos es muy común la subcontratación de servicios a distintas empresas especializadas en cada sector. A modo de suposición, el punto de vista es el de una empresa que recibe el encargo de diseñar el producto y el molde, posteriormente el molde pasará a manos de otra empresa que será la encargada de realizar la fabricación en serie de la pieza, no calcularemos amortizaciones de los gastos, se .

En cuanto al equipo de trabajo, vamos a considerar los gastos necesarios en un titulado como ingeniero de desarrollo de productos que será el encargado de llevar a cabo el diseño del producto, con una remuneración de 35€/hora y un total de horas dedicadas de 200 horas.

En el anterior apartado se han explicado dos métodos distintos de calcular el precio del molde, como Corrado Poli calcula el precio final de la pieza, se va a utilizar el cálculo del coste del molde según Boothroyd.

En cuanto al gasto en equipos informáticos, se ha tenido en cuenta el gasto en licencias de softwares, y el gasto en reparación de un equipo de trabajo con el que poder usar el software, es obvio que este gasto en comparación con los demás es ínfimo y que normalmente gastos de este tipo se añaden en forma de porcentaje al final del presupuesto como gastos de ingeniería, el motivo de añadirlos es que dado el carácter académico del proyecto se quiere dejar constancia de los gastos en los que ha de incurrir un usuario a la hora de querer manejar este tipo de programas. Una licencia de un programa con estas características puede rondar los 10000€ el primer año y una cuota anual por servicio de unos 3000€. Aunque normalmente la empresa realiza un presupuesto personalizado en función de las necesidades del equipo de diseño.

### 3. DESGLOSE DEL PRESUPUESTO

TIPO DE GASTO	DESCRIPCIÓN	IMPORTE
EQUIPOS	TARJETA GRÁFICA ASUS 90YVOA54-MONA00 / EX-GTX1050TI-O4G	184,00 €
	DISCO DURO SAMSUNG MZ-75E250B/EU SSD EVO 850 250GB	93,95 €
	LICENCIA 3DEXPERIENCE	0,00 €
	LICENCIA CES EDUPACK	0,00 €
	LICENCIA OFFICE 365	0,00 €
PERSONAL	200 HORAS DE INGENIERO TITULADO EN DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS	7.000,00 €
MOLDE	COSTE DE FABRICACIÓN DEL MOLDE PARA INYECCIÓN DEL PRODUCTO REJILLA	80.715,00 €
<b>Total</b>		<b>87.992,95 €</b>

Nota: en los costes no se han tenido en cuenta posibles amortizaciones de equipos ni el IVA.

#### 4. ANÁLISIS DEL PRESUPUESTO

Un aspecto muy importante a la hora de realizar un proyecto técnico es tener la capacidad de analizar los resultados obtenidos, en este apartado vamos a hacer un análisis de los resultados obtenidos en el cálculo del presupuesto.

Al principio del cálculo del presupuesto se comentó que el coste más importante de una pieza fabricada por moldeo por inyección se correspondía con el coste del molde, y que para estimar dicho coste se iban a usar dos métodos de cálculo aproximado desarrollados por diferentes autores para comprobar cómo de exactos son estos métodos.

El coste del molde por el método de Boothroyd nos daba un total de 80715€, frente a los 82348€ obtenidos con el método de Corrado Poli que supone una variación porcentual aproximada de un 2% entre un método y el otro, sería muy interesante conocer un presupuesto real para poder compararlo.

El objetivo final de estos métodos es que el diseñador obtenga una idea del coste del molde, y de cómo afectan los cambios realizados en el diseño en el precio final, tras ver ambos resultados podemos confirmar que el uso de estos métodos es una técnica muy interesante para un ingeniero de desarrollo de producto.

Finalmente vamos a analizar el coste final de la pieza, se ha calculado que el coste es aproximadamente de 55€/pieza, en la Figura 84 podemos observar el desglose de costes de la pieza y cómo es el coste del material el que se lleva el 96% del coste final. Esto es debido principalmente al gran volumen de la pieza, deberíamos de ser capaces de reducir el espesor de la pieza tras verificar con análisis dinámicos por elementos finitos la resistencia al impacto de la pieza. 55€/pieza es un coste muy elevado para tratarse de una pieza de inyección plástica, tendríamos que buscar alternativas que abaratasen el proceso.

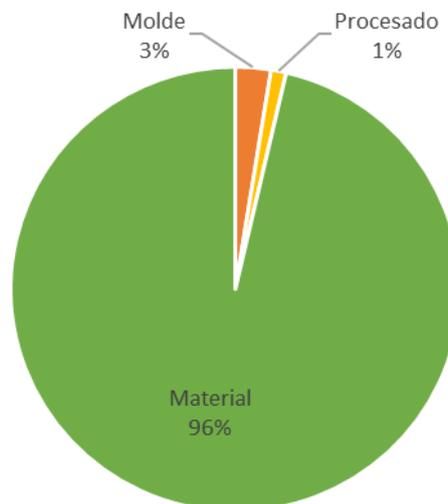


Figura 84. Desglose de costes de la pieza

Análisis del Proceso de Diseño y  
Optimización de Piezas para el  
Conformado por Inyección de  
Plástico con herramientas PLM  
aplicado al sector de Automoción

Daniel Gardel Gómez



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA



# ANEXOS

## 1. ESTUDIO DE MERCADO DE LAS REJILLAS FRONTALES EN LOS AUTOMÓVILES

Consideramos como rejilla frontal de un automóvil, aquella pieza normalmente fabricada en plástico que permite la aireación de las partes internas del motor y del radiador. Aparte de la principal función de dicha pieza, para los fabricantes de coches es de vital importancia que cumpla con unos requisitos importantes en cuanto a la estética del vehículo, es de vital importancia que tanto la rejilla, como el frontal del coche cumplan con la normativa vigente de automóviles frente a choques, más concretamente las normas de homologación de impacto frontal y lateral (UN94 y UN95) para vehículos.

Como se va a ver en la tabla resumen de una serie de distintas soluciones aplicadas a una serie de modelos elegidos aleatoriamente, los coches suelen disponer de una rejilla superior para un paso de aire superior, y una rejilla inferior que proporciona un paso de aire inferior.

Una vez decidamos el modelo a seguir, sería necesario hacer un mayor análisis de la gama de coche elegida.

Seat León FR, Supercopa 2012	
Alfa Romeo 4C	

<p>Ford S Max 2015</p>	
<p>Ferrari 599 GTB HGTE</p>	
<p>Hyundai ix35</p>	
<p>Mazda 6, 2013</p>	

## 2. ANÁLISIS DE LAS PATENTES EXISTENTES

Una vez seleccionado el tipo de rejilla a fabricar, sería necesario buscar información sobre patentes existentes en relación con el diseño que nos pudiesen llevar a problemas a posteriori, el desconocimiento de una patente no te exime del cumplimiento de ella, son numerosos los casos de productos desastrosos para las empresas debido a tener que pagar una cuota por patentes existentes.

El estamento que rige toda la documentación relacionada con el tema de patentes dentro del estado español es el OEPM, la Oficina Española de Patentes y Marcas. Puesto que todo el documento es un estudio académico, únicamente se ha buscado una patente que guarde relación con el producto a diseñar, para así poder ejemplificar como ha de ser este proceso de búsqueda, en una etapa de análisis sería necesario ser mucho más exhaustivos en dicha búsqueda.

En nuestro caso hemos encontrado una patente precisamente con el prototipo de diseño a seguir, por lo que habría que estudiar bien como esta patente podría afectar a nuestro producto.

Todas las patentes se pueden buscar en la página oficial del OEPM, el número de solicitud de la patente encontrada es ES1071266 U (10.02.2010), en la página web encontramos la siguiente información:

### REJILLA FRONTAL PARA AUTOMOVILES

**Número de publicación:** [ES1071266](#) U (10.02.2010)

**También publicado como:** ES1071266 Y (06.05.2010)

**Número de Solicitud:**  U200930458 (25.09.2009)

**Solicitante:** SEAT, S.A. (ES)  
AUTOVIA A-2 KM. 585,MARTORELL 08760  
BARCELONA

**Inventor/es:** SEGURA SANTILLANA,ANGEL (ES);  
SANCHEZ TEBAR, IRMA (ES);  
LOBO RABADAN, JOSE LUIS (ES);

**CIP:** [B62D25/08](#) (2006.01)

**CPC:** [B60R19/52](#)

[B60K11/08](#) [B60R2019/525](#)

**Reivindicaciones:** 1. Rejilla frontal para automóviles, compuesta por un marco periférico y una serie de lamapas paralelas montadas entre dos de los lados opuestos del marco, caracterizada porque las lamapas disponen a partir de sus extremos de sendos pivotes axiales alineados, cada uno dotado de una aleta radial colapsable; y porque los lados opuestos del marco entre los

que se montan las lamas disponen de parejas de orificios enfrentados dotados de sendas ranuras radiales a partir de su borde; siendo los pivotes con aletas de sección aproximadamente igual al contorno de los orificios con ranuras, para su introducción a través de los mismos.

2. Rejilla según la reivindicación 1, caracterizada porque el marco periférico está compuesto por un bastidor interno y un cerco embellecedor externo que cubre a dicho bastidor; cuyo bastidor interno esta subdividido en dos partes, según un plano perpendicular al eje de alineación de las parejas de orificios.

3. Rejilla según la reivindicación 1, caracterizada porque las aletas colapsables disponen de una sección debilitada adyacente al pivote.

INVENES no es un registro, sino una base de datos de divulgación técnica. En caso de requerir información actualizada sobre la situación legal del expediente o relativa a sus datos bibliográficos, debe consultar la base de datos "CEO", accesible desde la página web de la OEPM, o pinchando en el icono 

(Fuente: <http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=U200930458&trk=prof-patent-title-link>, fecha de consulta:14/08/2017)

Adjunto a la patente hay un documento pdf sobre el cuál se explica en que consiste dicha patente, en el podemos encontrar la Figura 85,

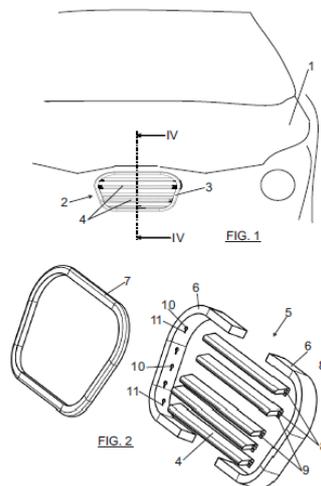


Figura 85. Ejemplo de patente, número ES1071266 U.

### 3. PROPIEDADES DEL POLICARBONATO CON UN 30% DE FIBRA DE VIDRIO

Fuente: CES Edupack 2016

#### Designation

Polycarbonate + polybutylene terephthalate (30% glass fiber) blend

#### Tradenames

Avp, Bayfol, Abel, Anjablend, Ashlene, Bayfol, Canuck, Cheng Yu, Colorfast, Deniblend, Desloy, Diamaloy, Ductel, Duranex, Ecollent, Edgetek, Encom, Environ, Hyblend, Hybrid, Infino, Jackdaw, Kopla, Kumhosunny, Lay Series, Lexan, Lonoy, Lucent, Lupox, Makroblend, Michiloy, Naxaloy, Naxel, Nexus, Niloy, Panlite, Pibiter, Pier One, Polylux, PTS, Radici, Romiloy, Schulablend, Sindustris, Taraloy, Tekaloy, Triloy, Visiloy, Valox, Vylopet, Xenoy

#### Typical uses

Appliances, automotive & transportation, construction, consumer products, electrical, electronics, IT & communication, medical, food contact, security & protection

#### Composition overview

##### Compositional summary

Blend of: Polycarbonate (PC) + Polybutylene Terephthalate (PBT) + glass

Material family	Plastic (thermoplastic, semi-crystalline)		
Base material	PC+PBT (Polycarbonate + polybutylene terephthalate blend )		
% filler (by weight)	30		%
Filler/reinforcement	Glass		
Filler/reinforcement form	Short fiber (<5mm)		
Polymer code	(PC+PBT)-GF30		

##### Composition detail (polymers and natural materials)

Polymer	70		%
Glass (fiber)	30		%

#### Price

Price	* 3	-	3,17	
	EUR/kg			
Price per unit volume	* 4,32e3	-	4,82e3	
	EUR/m <sup>3</sup>			

#### Physical properties

Density	1,44e3	-	1,52e3	
	kg/m <sup>3</sup>			

#### Mechanical properties

Young's modulus	5,58	-	11,5	GPa
Yield strength (elastic limit)	86	-	107	MPa

Tensile strength	87	-	118	MPa
Elongation strain	1	-	5	%
Elongation at yield strain	1	-	2,5	%
Compressive modulus	* 5,58	-	11,5	GPa
Compressive strength	* 103	-	128	MPa
Flexural modulus	5,24	-	8,99	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	127	-	187	MPa
Shear modulus	* 2,07	-	4,2	GPa
Shear strength	* 52,2	-	70,8	MPa
Bulk modulus	* 5,58	-	11,5	GPa
Poisson's ratio	* 0,349	-	0,37	
Shape factor	7,3			
Hardness - Vickers	* 22	-	29	HV
Hardness - Rockwell M	* 40	-	100	
Hardness - Rockwell R	110	-	123	
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 34,8	-	47,2	MPa
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0,0078	-	0,0112	
<b>Impact &amp; fracture properties</b>				
Fracture toughness	* 4,85	-	5,02	MPa.m <sup>0.5</sup>
Impact strength, notched 23 °C	7,5	-	20	kJ/m <sup>2</sup>
Impact strength, notched -30 °C	7	-	10	kJ/m <sup>2</sup>
Impact strength, unnotched 23 °C	35	-	64	kJ/m <sup>2</sup>
<b>Thermal properties</b>				
Melting point	225			°C
Glass temperature	* 324	-	340	°C
Heat deflection temperature 0.45MPa	165	-	216	°C
Heat deflection temperature 1.8MPa	120	-	207	°C
Vicat softening point	192			°C
Maximum service temperature	75	-	125	°C
Minimum service temperature	* -47	-	-37	°C
Thermal conductivity	* 0,5	-	0,515	W/m.°C

Specific heat capacity	* 1,33e3 - 1,38e3		
	J/kg.°C		
Thermal expansion coefficient	21 - 30		
	μstrain/°C		
<b>Electrical properties</b>			
Electrical resistivity	1e21 - 5,9e22		
	μohm.cm		
Dielectric constant (relative permittivity)	3,2 - 3,6		
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	0,0014		
Dielectric strength (dielectric breakdown)	20 - 29		
	MV/m		
Comparative tracking index	150		V
<b>Magnetic properties</b>			
Magnetic type	Non-magnetic		
<b>Optical properties</b>			
Transparency	Opaque		
<b>Critical materials risk</b>			
Contains >5wt% critical elements?	No		
<b>Absorption &amp; permeability</b>			
Water absorption @ 24 hrs	0,06		%
Water absorption @ sat	0,24		%
Humidity absorption @ sat	0,072		%
<b>Processing properties</b>			
Polymer injection molding	Excellent		
Polymer extrusion	Acceptable		
Polymer thermoforming	Limited use		
Linear mold shrinkage	0,1 - 1		%
Melt temperature	245 - 288		°C
Mold temperature	60 - 100		°C
Molding pressure range	* 70 - 150		MPa
<b>Durability</b>			
Water (fresh)	Excellent		
Water (salt)	Excellent		
Weak acids	Excellent		
Strong acids	Limited use		
Weak alkalis	Acceptable		
Strong alkalis	Limited use		

Organic solvents	Limited use			
Oils and fuels	Acceptable			
Oxidation at 500C	Unacceptable			
UV radiation (sunlight)	Good			
Flammability	Highly flammable			
<b>Chemical resistance of polymers</b>				
<b>Primary production energy, CO2 and water</b>				
Embodied energy, primary production	* 86,9	-	91,3	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 4,88	-	5,13	kg/kg
Water usage	* 191	-	201	l/kg
<b>Processing energy, CO2 footprint &amp; water</b>				
Polymer extrusion energy	* 8,33	-	8,76	MJ/kg
Polymer extrusion CO2	* 0,625	-	0,657	kg/kg
Polymer extrusion water	* 5,78	-	8,68	l/kg
Polymer molding energy	* 18,3	-	19,2	MJ/kg
Polymer molding CO2	* 1,37	-	1,44	kg/kg
Polymer molding water	* 12,2	-	18,3	l/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 0,555	-	0,583	MJ/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,0416	-	0,0437	kg/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 1,16	-	1,21	MJ/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,0867	-	0,0911	kg/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 1,82	-	1,92	MJ/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0,137	-	0,144	kg/kg
<b>Recycling and end of life</b>				
Recycle	False			
Downcycle	True			
Combust for energy recovery	True			
Heat of combustion (net)	* 19,6	-	20,6	MJ/kg
Combustion CO2	* 1,76	-	1,85	kg/kg
Landfill	True			
Biodegrade	False			

**Notes**

**Other notes**

Blending PC with PBT improves its processability and chemical resistance, particularly to solvents and lubricants.

PC/PBT resins combine high impact strength (at room and low temperatures), good chemical and heat resistance with processing benefits as such good melt flow and low shrinkage.

UV stabilized grades offer improved weatherability, whilst aesthetic grades provide a wide range of molded-in colors and finishes eliminating the need for painting.



Análisis del Proceso de Diseño y  
Optimización de Piezas para el  
Conformado por Inyección de  
Plástico con herramientas PLM  
aplicado al sector de Automoción

# PLANOS

Daniel Gardel Gómez

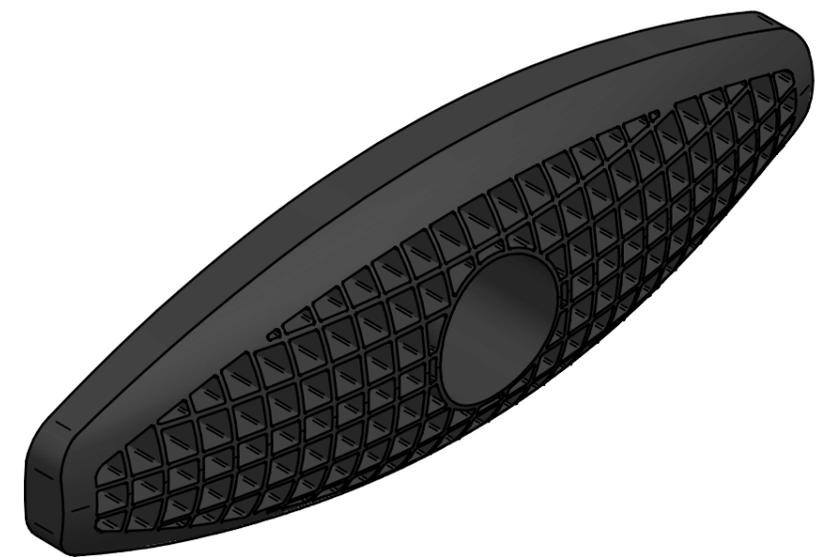
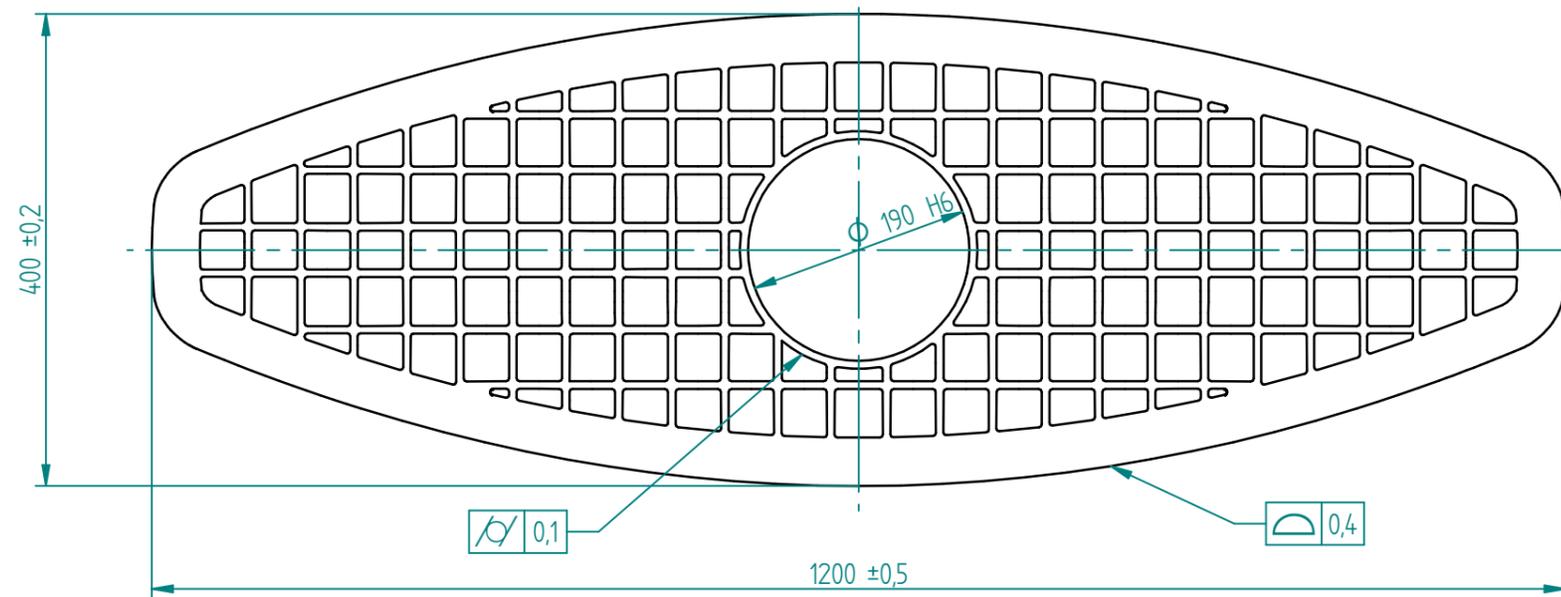
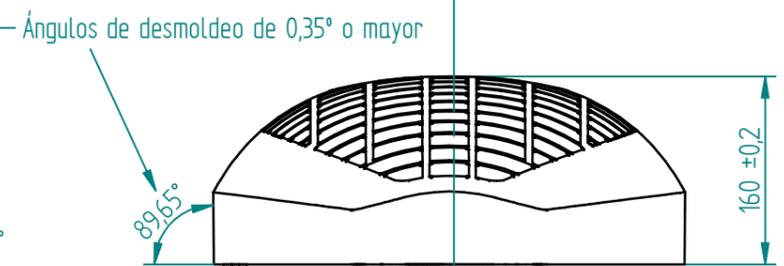
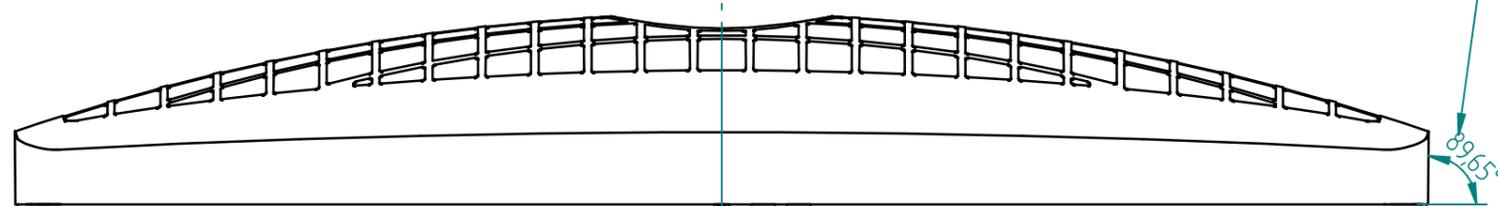
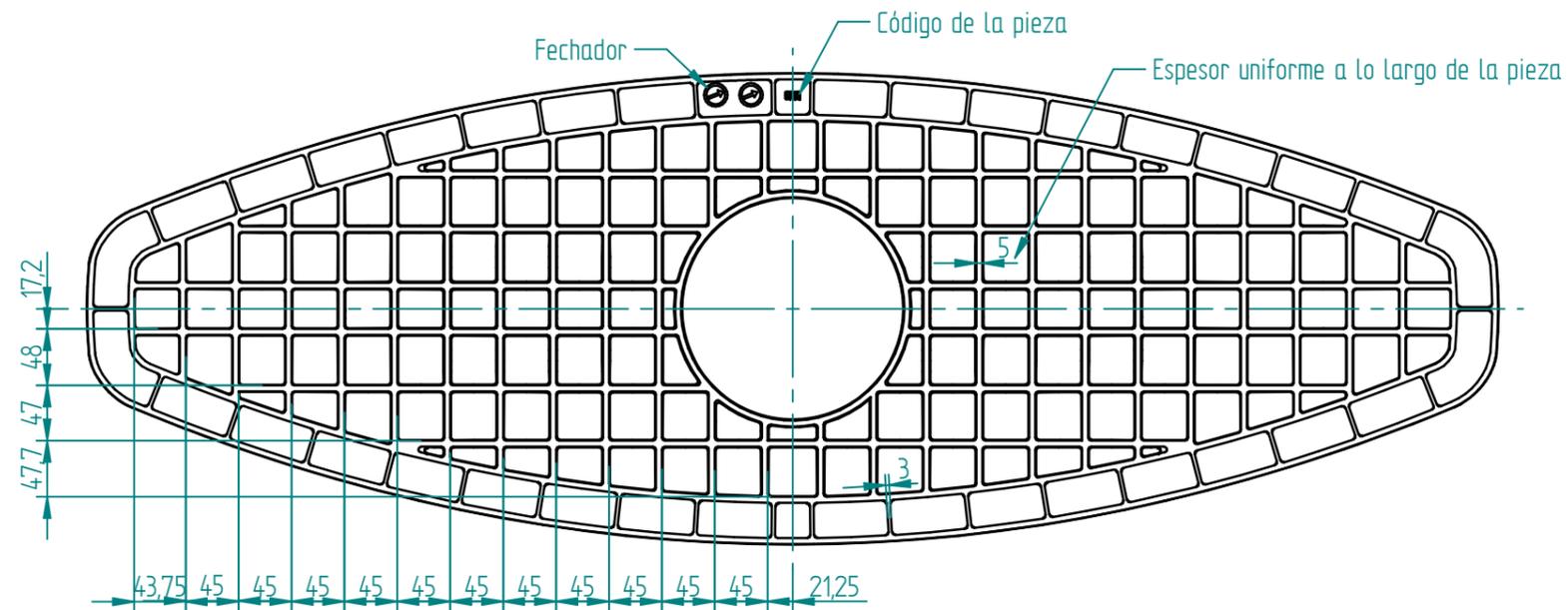
---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

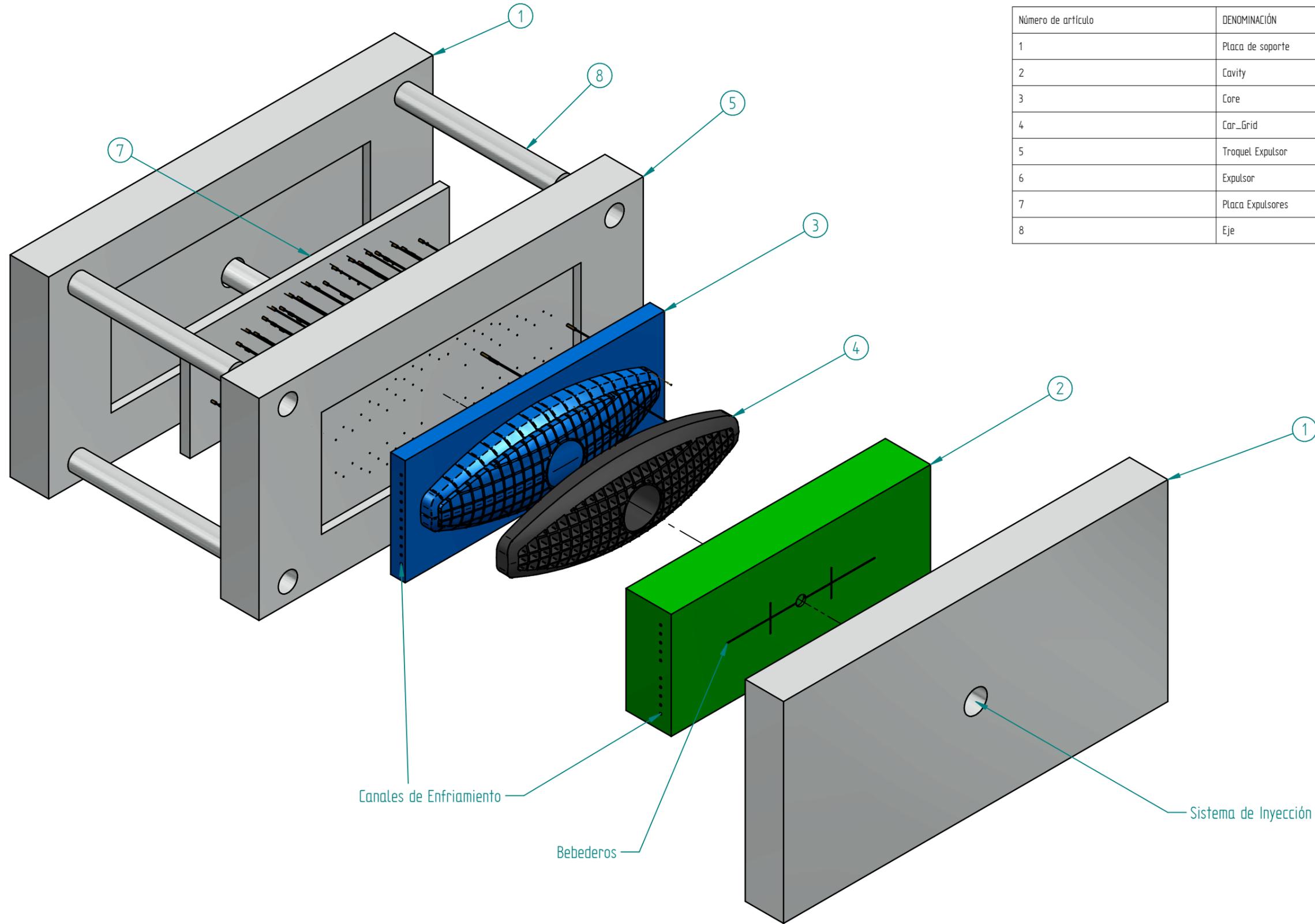


ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA



NOTA: El resto de dimensiones están indicadas en el archivo 3D

Densidad 1520 kg/m <sup>3</sup>	Volumen 10636946,15 mm <sup>3</sup>	Material Policarbonato con 30% Fibra de Vidrio	Color BLACK-1QAP 7-69E012	Apariencia SPI-2
	Dibujado: Daniel Gardel	Creado: Daniel Gardel	Nº De Plano 1	Escala 1:6
	Comprobado: Carlos Vila			
Denominación: Car Grid				Tolerancias no indicadas según ISO 2768-I grado Fino



Número de artículo	DENOMINACIÓN	Cantidad
1	Placa de soporte	2
2	Cavity	1
3	Core	1
4	Car_Grid	1
5	Troquel Expulsor	1
6	Expulsor	76
7	Placa Expulsores	1
8	Eje	4

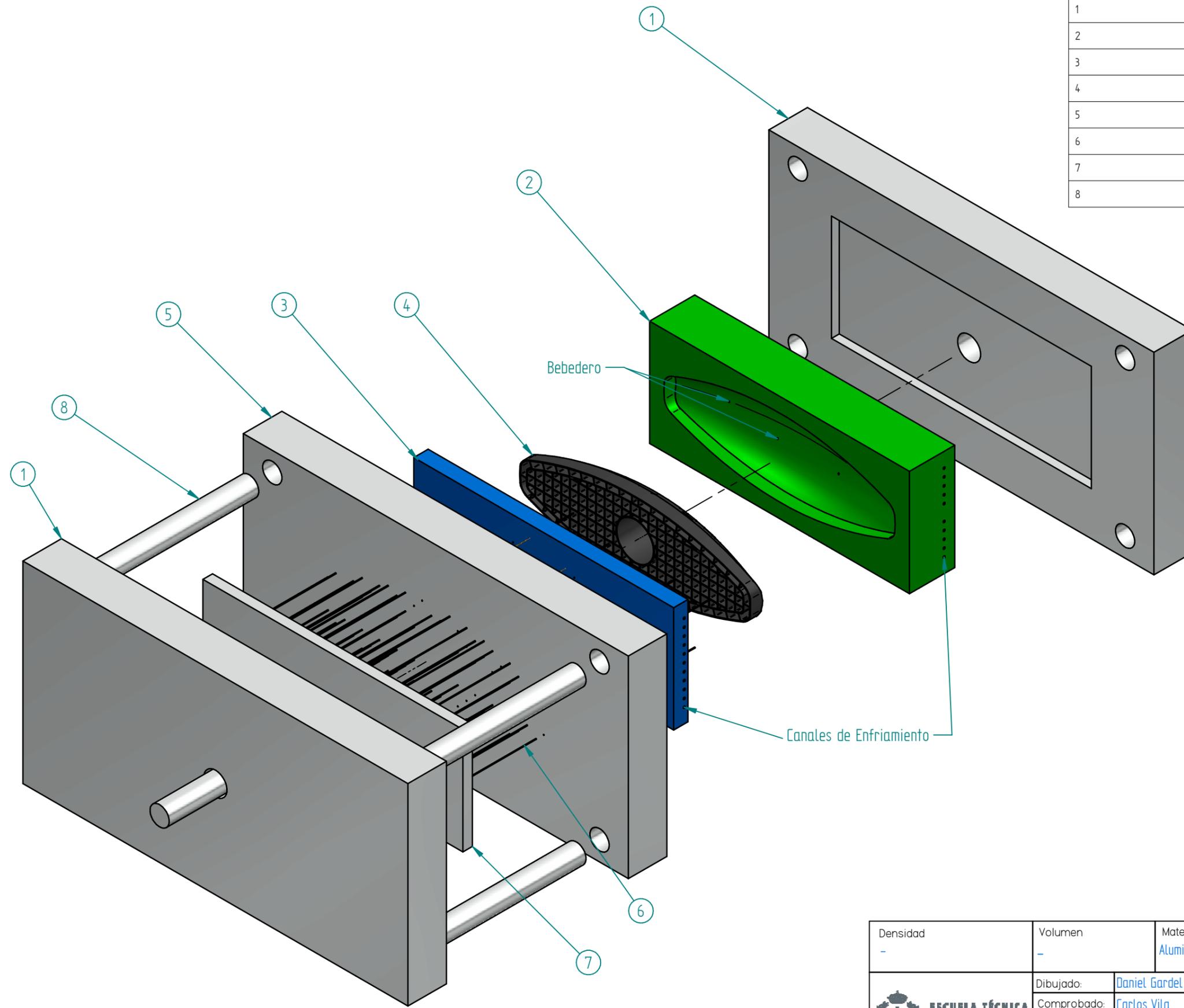
Canales de Enfriamiento

Bebederos

Sistema de Inyección

Densidad	-	Volumen	-	Material	Aluminio	Color	-	Apariencia	-
 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA</b>	Dibujado:	Daniel Gardel	Creado:	Daniel Gardel	Nº De Plano	2	Formato	A3	Escala
	Comprobado:	Carlos Vila							
Denominación: Molde								Tolerancias no indicadas según ISO 2768-I grado Fino	

Número de artículo	DENOMINACIÓN	Cantidad
1	Placa de soporte	2
2	Cavity	1
3	Core	1
4	Car_Grid	1
5	Troquel Expulsor	1
6	Expulsor	76
7	Placa Expulsores	1
8	Eje	4



Densidad	-	Volumen	-	Material	Aluminio	Color	-	Apariencia	-
 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA</b>	Dibujado:	Daniel Gardel	Creado:	Daniel Gardel	Nº De Plano	3	Formato	A3	Escala
	Comprobado:	Carlos Vila							
Denominación: Molde									Tolerancias no indicadas según ISO 2768-I grado Fino

