



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

MODELADO Y ANÁLISIS DE ENSAMBLAJES MECÁNICOS MEDIANTE UNA HERRAMIENTA CAD COMERCIAL

Alumno: Elena Plaza Jiménez

Tutor: Prof. D. Miguel Ángel Rubio Paramio
Dpto: Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

Julio, 2020



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

Don **MIGUEL ÁNGEL RUBIO PARAMIO**, tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado:
**MODELADO Y ANÁLISIS DE ENSAMBLAJES MECÁNICOS MEDIANTE UNA
HERRAMIENTA CAD COMERCIAL**, que presenta **ELENA PLAZA JIMÉNEZ**,
autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica
Superior de Jaén.

Jaén, JULIO de 2020

El alumno:

ELENA PLAZA JIMÉNEZ

El tutor:

MIGUEL ÁNGEL RUBIO PARAMIO

Contenido

1. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES, TABLAS Y ECUACIONES.....	3
2. RESUMEN.....	7
3. ABSTRACT	7
4. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	8
4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	8
4.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	9
5. ANTECEDENTES. PROCESO DE INYECCIÓN Y MOLDE DE INYECCIÓN.	10
5.1. PRIMERA MÁQUINA DE INYECCIÓN POR MOLDEO	11
5.2. TIPOS DE MÁQUINAS DE INYECCIÓN	14
5.2.1. Máquinas de pistón	14
5.2.2. Máquinas de pistón con preplastificación	15
5.2.3. Máquinas de husillo	16
5.2.4. Elementos de una máquina de inyección convencional	17
5.2.5. Etapas de una máquina de inyección convencional	22
5.2.6. Parámetros característicos de las máquinas de inyección	24
5.3. MOLDE DE INYECCIÓN	29
5.3.1. Clasificación de los moldes	29
5.3.2. Elementos que conforman un molde	32
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
6.1. MATERIALES UTILIZADOS	47
6.2. MODELADO Y PARAMETRIZACIÓN DE UN MOLDE DE INYECCIÓN.....	48
6.1.1. Modelado del cuerpo	51
6.1.2. Modelado de elementos	56
6.1.3. Incorporación de elementos.	60
6.2. MODELADO DE LA PIEZA.....	62
6.3. ANÁLISIS DE CAVIDADES	63
6.3.1. Cálculos	65
7. RESULTADOS	69
7.1. CASO 1.....	69
7.2. CASO 2	80
7.3. CASO 3	83
8. CONCLUSIONES.....	87
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS.....	89

1. Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Patente de la primera máquina de inyección por moldeo.	11
Ilustración 2. Máquina de inyección por moldeo con pistón.	13
Ilustración 3. Primeras máquinas de inyección por moldeo.	13
Ilustración 4. Esquema de una máquina de moldeo por inyección con pistón.	14
Ilustración 5. Máquina de inyección por preplastificación.	16
Ilustración 6. Máquina de inyección con husillo.	16
Ilustración 7. Unidad de plastificación.	17
Ilustración 8. Tolva de alimentación.	18
Ilustración 9. Partes de un husillo.	19
Ilustración 10. Tipos de válvulas antorretorno.	20
Ilustración 11. Defecto en una pieza inyectada.	20
Ilustración 12. Tipos de boquillas de inyección.	21
Ilustración 13. Unidad de cierre.	22
Ilustración 14. Etapa i.	22
Ilustración 15. Etapa ii.	23
Ilustración 16. Etapa iii.	23
Ilustración 17. Tiempos máquina de inyección.	25
Ilustración 18. Ciclo de potencia de una máquina de inyección.	26
Ilustración 19. Presión en una máquina de inyección.	28
Ilustración 20. Molde base.	29
Ilustración 21. Molde de inyección con correderas.	30
Ilustración 22. Molde de tres platos abierto y cerrado.	31
Ilustración 23. Molde de dos placas.	31
Ilustración 24. Partes de un molde de inyección.	32
Ilustración 25. Anillo centrador.	33
Ilustración 26. Canales de alimentación.	34
Ilustración 27. Bebedero.	35
Ilustración 28. Secciones de los canales de colada.	35
Ilustración 29. Sistema de canales descompensados.	36
Ilustración 30. Sistemas de canales equilibrados.	36
Ilustración 31. Influencia de la posición de entrada en una pieza.	38
Ilustración 32. Entradas que acceden a la cavidad por la parte superior.	39
Ilustración 33. Entrada lateral.	39
Ilustración 34. Entrada lateral múltiple.	40
Ilustración 35. Entrada superpuesta.	40
Ilustración 36. Entrada de lengüeta.	41
Ilustración 37. Entrada de abanico.	41
Ilustración 38. Entrada de membrana.	42
Ilustración 39. Entrada en estrella.	42
Ilustración 40. Entrada de disco.	43
Ilustración 41. Entrada de anillo.	43
Ilustración 42. Disposición en espiral de los canales de refrigeración.	45
Ilustración 43. Disposición rectilínea de los canales de refrigeración.	45

Ilustración 44. Unidad de guía y modelos corrientes de pernos guía y formas de los casquillos.	47
Ilustración 45. Tipos de moldes de inyección.	48
Ilustración 46. Molde nº 6	48
Ilustración 47. Elección del tipo de molde.	49
Ilustración 48. Moldes prefabricados VAP S.A.	50
Ilustración 49. Nomenclatura de las placas.	51
Ilustración 50. Plano base.	52
Ilustración 51. Parámetros plano base	53
Ilustración 52. Placas fijas.	54
Ilustración 53. Placas móviles	55
Ilustración 54. Cuerpo de un molde de inyección.	55
Ilustración 55. Pad anillo centrador.....	56
Ilustración 56. Anillo centrador.	57
Ilustración 57. Casquillos y guías.	58
Ilustración 58. Espigas expulsoras.	59
Ilustración 59. Tornillos espigas expulsoras.	59
Ilustración 60. Armazón molde de inyección.....	60
Ilustración 61. Tabla final con parámetros.	61
Ilustración 62. Sketch pieza.....	63
Ilustración 63. Pieza renderizada.	64
Ilustración 64. Posición del punto de inyección.	64
Ilustración 65. Elección del material.	65
Ilustración 66. Distancia entre cavidades.	66
Ilustración 67. Dimensiones del molde.	67
Ilustración 68. Distribución de cavidades.....	70
Ilustración 69. Geometría del molde.	71
Ilustración 70. Molde caso I.....	72
Ilustración 71. Canales de refrigeración.	72
Ilustración 72. Canales de refrigeración.	73
Ilustración 73. Análisis de refrigeración y calidad. Caso I	73
Ilustración 74. Diseño de 10 mm de espesor.....	74
Ilustración 75. Distribución simétrica de la mejora.	75
Ilustración 76. Canales de refrigeración de la mejora.	75
Ilustración 77. Calidad de refrigeración mejora.....	76
Ilustración 78. Pieza 6 mm de espesor.....	76
Ilustración 79. Calidad de refrigeración de la mejora	77
Ilustración 80. Diseño 1 en Catia- Caso 1.....	77
Ilustración 81. Diseño 2 en Catia. Caso 1.....	78
Ilustración 82. Molde completo caso 1.....	79
Ilustración 83. Canales de refrigeración para dos cavidades.	81
Ilustración 84. Análisis caso 2	81
Ilustración 85. Molde completo caso 2.....	82
Ilustración 86. Molde para 2 cavidades.	82
Ilustración 87. Molde completo caso 2.....	83
Ilustración 88. Canales de refrigeración caso 3	84
Ilustración 89. Calidad de refrigeración caso 3	84

Ilustración 90. Confianza de llenado caso 3	85
Ilustración 91. Molde completo caso 3.....	86

Índice de Tablas

Tabla 1.Propiedades del material	69
--	----

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Tiempo de ciclo.....	65
Ecuación 2. Número de cavidades.	66
Ecuación 3. Distancia entre cavidades.	66
Ecuación 4. Dimensiones del molde.....	67
Ecuación 5. Espesor de las placas.....	67
Ecuación 6.Tiempo de producción.....	69
Ecuación 7. Resultado número de cavidades (I)	70
Ecuación 8. Separación entre cavidades.....	70
Ecuación 9. Dimensiones de las placas del molde I	71
Ecuación 10.Espesor de las placas del molde.....	71
Ecuación 11. Resultado número de cavidades (II).....	80
Ecuación 12. Dimensiones de las placas del molde (II).	80
Ecuación 13. Espesor de las placas del molde (II).	80
Ecuación 14. Resultado número de cavidades (III).....	83
Ecuación 15. Dimensiones de las placas del molde (III).	83
Ecuación 16. Espesor de las placas del molde (III).	83

2. Resumen

El principal motivo de este Trabajo de Fin de Grado es el modelado y análisis de ensamblajes, habiendo elegido como conjunto un molde de inyección de plástico, normalizándolo y pudiendo variar sus dimensiones en función de la pieza y del número de cavidades a moldear sin volver a modelarlo en el software utilizado. Para ello se va a utilizar del catálogo de moldes prefabricados VAP S.A.

Se describirán los fundamentos de este proceso y cómo ha ido evolucionando desde la introducción del plástico en los procesos de fabricación.

Por último se realizará un análisis del proceso de llenado de la pieza para ver cómo varía su calidad en función del espesor empleado y cómo se podría mejorar.

3. Abstract

The main reason for this Final work is the modeling and analysis of assemblies, having chosen a plastic injection mold as a set, standardizing it and being able to vary its dimensions depending on the part and the number of cavities to be molded without re-modeling it in the software used. To do this, we are going to use the VAP S.A. catalogue of prefabricated moulds.

We will describe the fundamentals of this process and how it has evolved since the introduction of plastic in the manufacturing processes.

Finally, we will carry out an analysis of the part filling process to see how its quality varies depending on the thickness used and how it could be improved.

4. Introducción y objetivos

En este capítulo se explicarán los fundamentos en los que se basa el proyecto y se explicarán los objetivos y contenidos de cada uno de los apartados de los que consta el trabajo fin de grado.

4.1. Descripción del Proyecto

El trabajo que se presenta a continuación es un estudio sobre las posibilidades que presentan los sistemas CAD paramétrico-variacionales en el diseño de ensamblajes mecánicos y la reutilización de un mismo diseño en ensamblajes estandarizados, cuyas dimensiones son establecidas mediante tablas de parámetros. Este es el caso de un ensamblaje muy extendido en la industria del plástico: el molde de inyección. Se van a estudiar los diferentes tipos de moldes de inyección, incluyendo todos los elementos que los componen. Se realizará la normalización del armazón del molde y un estudio acerca de la pieza que se va a moldear con plástico.

A continuación, se va a proceder a explicar brevemente los diferentes capítulos en los que se basa el proyecto.

Primeramente se definirán unos objetivos que se cumplirán en dicho trabajo fin de grado, se tratarán tanto objetivos generales como específicos de cada apartado.

En el quinto capítulo, se hablará de los antecedentes, en el que se expondrá cómo ha ido evolucionando el proceso de moldeo de inyección a lo largo de la historia, así como los diferentes tipos de máquinas y moldes de inyección que se encuentran en la actualidad, los elementos que los conforman y los parámetros que los definen.

A continuación, el apartado de Materiales y Métodos, se centrará en las dimensiones del molde, sistematizándolo, obteniendo así un molde normalizado. Para ello, se va a utilizar el catálogo de moldes prefabricados VAP S.A. así como de los programas CATIA V5r21, de Dassault Systèmes, para realizar el diseño del molde,

sus componentes y de la pieza, además de realizar el renderizado para obtener una imagen fotorrealista de los mismos, y Microsoft Excel 2016 para obtener las tablas que estarán vinculadas con CATIA.

Por último, se expondrán los resultados y las conclusiones de las simulaciones de flujo de un polímero en el molde a través del programa MoldFlow así como los diferentes cambios realizados para obtener una mejora en la calidad final de las piezas.

4.2. Objetivos del Proyecto

Los objetivos de este proyecto son:

- Creación de un diseño basado en la estandarización y parametrización a través de un ensamblaje 3D, permitiendo sistematizarlo para un rápido proceso de fabricación.
- Aplicar este proceso de parametrización al caso del ensamblaje de un molde de inyección de plástico.
- Desarrollarlo mediante la herramienta CAD Catia V5r21, basándonos en el diseño creado, que cumpla con los requerimientos establecidos para poder realizar esta sistematización.
- Planificar el número de cavidades y un primer diseño de molde en función de unos datos de partida.
- Análisis del llenado de polímero y del proceso de enfriamiento de la pieza a moldear mediante MoldFlow para entender cómo el diseño de la pieza afecta en la calidad final de la misma.
- Repetir el proceso con varios casos de estudio en los que cambien los datos de partida y obtener el prediseño del molde de acuerdo con estos datos.

5. Antecedentes. Proceso de inyección y molde de inyección.

El proceso de inyección de termoplásticos es un proceso físico, ya que no se presencia una variación en la composición química del termoplástico además de reversible, se podría reutilizar el material una vez terminado el moldeo.

Se funde la materia prima, gracias a la aplicación de calor y a través de las llamadas máquinas de inyección. Tras conseguir tener este material fundido, es inyectado en las cavidades de un molde, con unas determinadas características. Transcurrido un cierto tiempo, el plástico comienza a enfriarse, volviéndose sólido y adoptando la forma de las partes huecas del molde obteniendo así la pieza de plástico deseada.

Para poder entender en profundidad este proceso, se debe comenzar hablando de su historia.

Jöns Jacob Berzelius acuñó en 1830 el término *polímero*, refiriéndose a sustancias como el butileno y el etileno los cuales comparten fórmula empírica C_nH_{2n} . (López, 2015)

Esto llevó en 1860, tras ofrecerse un gran premio por parte de la empresa Phelan & Collander para poder sustituir el marfil al fabricar bolas de billar, a la investigación del inventor John Wesley Hyatt, quien desarrolló un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración, tratado previamente con alcanfor y con una cantidad mínima de disolvente de alcohol, creando así el primer polímero manufacturado conocido como celuloide.

Gracias al éxito de este nuevo material, Hyatt fundó la empresa 'Celluloid Manufacturing Company' con la que se produjo, aparte de bolas de billar, diferentes elementos como teclas de piano que anteriormente se realizaban con marfil.

5.1. Primera máquina de inyección por moldeo

Para llevar a cabo la producción de las bolas de billar, John W. Hyatt patentó un mecanismo para moldear plásticos a partir del celuloide. Este dispositivo fue el nacimiento del moldeo por inyección de plástico.

Debido a la demanda de productos de plástico con diferentes características geométricas, diferentes polímeros y colores, se publicó en 1872 la primera patente de una máquina de inyección, derivada de las máquinas de fundición a presión para metales, denominada máquina de pistón.

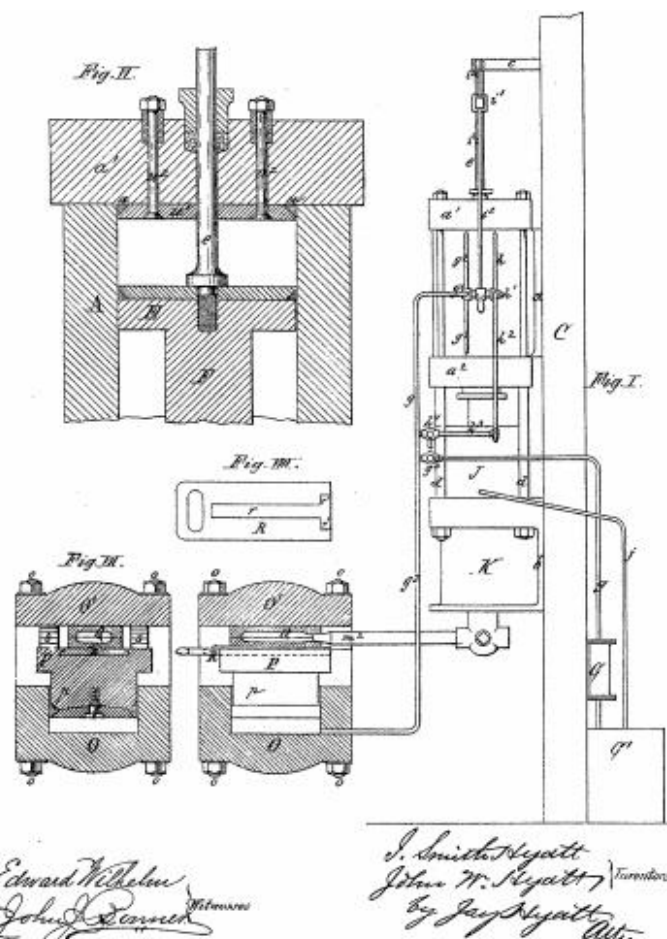


Ilustración 1. Patente de la primera máquina de inyección por moldeo.

Fuente: Hyatt, J. W (19 de Noviembre de 1872). *New York Patente* nº 133,229

En la *Ilustración 1* se puede observar la patente. En ella, el algodón soluble o piroxilina se muele o tritura por primera vez en un estado húmedo, expulsando así el exceso de agua. Añadía así la goma de alcanfor mediante rodillos mezcladores acumulando el material en una pila separado por capas para así absorber toda la humedad posible.

Se somete al celuloide a una presión considerable en una prensa hidráulica o de otro tipo, realizando el proceso de la manera más rápida y uniforme. El material así secado está listo para convertirse en celuloide y comenzar el proceso de inyección. (New York Patente nº 133,229, 1872)

El celuloide tuvo un gran éxito comercial, sin embargo, este material era inflamable y tenía un gran deterioro al ser expuesto a la luz.

Gracias a la compañía Mentmore Manufacturing, que rediseñó la máquina de moldeo mediante presión, se realizó en 1930 el primer artículo de forma masiva, la pluma fuente.

Utilizando la máquina de moldeo diseñada por la empresa Eckert & Ziegler, *Ilustración 2*, la cual era, o bien para ser operada a mano, presurizada mediante un sistema de palanca manual o similar, o automáticamente moviéndose el pistón gracias a la aplicación de aire comprimido.

El primer tipo estaba limitado debido a que la presión ejercida por la mano era solo suficiente para la producción de artículos relativamente pequeños, mientras que el segundo tipo depende de la presencia de una fuente de aire comprimido (aproximadamente a unos 31 kg/cm²). (Alemania Patente nº 1,952,241, 1930)

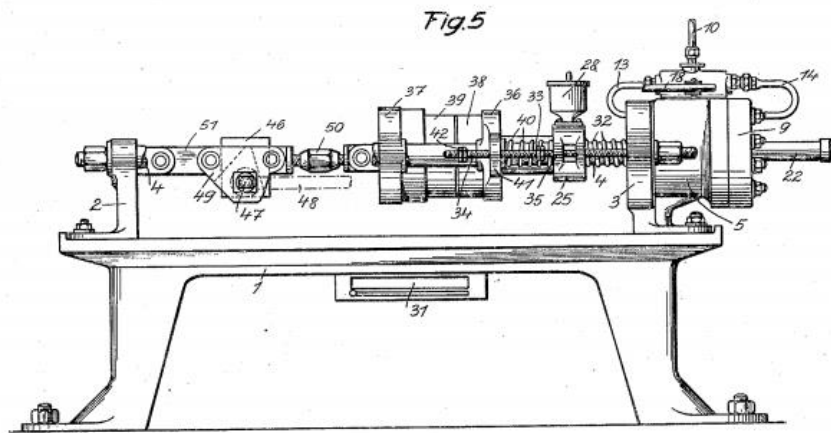


Ilustración 2. Máquina de inyección por moldeo con pistón.

Fuente: Eckert, P. (10 de Julio de 1930). *Alemania Patente nº 1,952,241*.

Este proceso, el moldeo de inyección de plásticos, aplicable normalmente a resinas termoplásticas, materiales termoestables y a elastómeros sintéticos, ha sufrido muchas mejoras durante la historia de la industria, debido a diferentes necesidades y a la aparición de nuevos materiales ampliando las oportunidades de sacar al mercado nuevos productos plásticos.

Además, estas máquinas de moldeo se han mejorado de tal manera que se reduce la cantidad de trabajo requerido para preparar las piezas producidas por este proceso, lo que reduce el tiempo de producción y el precio.

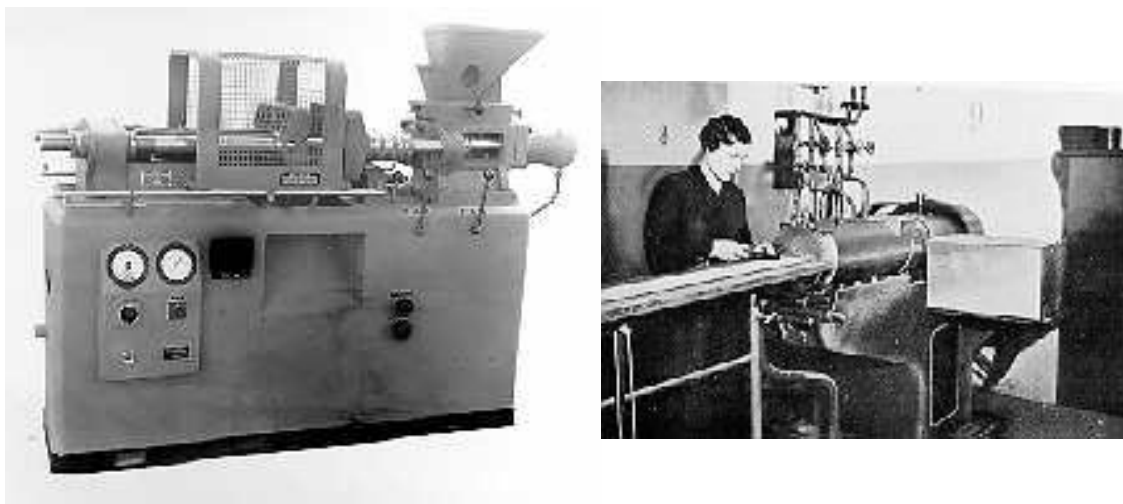


Ilustración 3. Primeras máquinas de inyección por moldeo.

Fuente: Inyección de materiales plásticos (2011) www.tecnologiadelosplasticos.com

5.2. Tipos de máquinas de inyección

Como anteriormente se ha explicado, la primera máquina de inyección de plástico que se diseñó fue la máquina de inyección por pistón. Sin embargo, presentaba varias desventajas, lo que lleva a intentar mejorar este diseño.

5.2.1. Máquinas de pistón

En estas máquinas, el material granular se funde en la cámara cilíndrica de calefacción a través de la tolva de alimentación (situada en la parte superior como se puede observar en el esquema). Tras ser calentado el plástico en el cilindro de calefacción y con ayuda de un pistón de inyección, se empuja el polímero a las cavidades del molde, llegando así a la segunda fase del proceso.

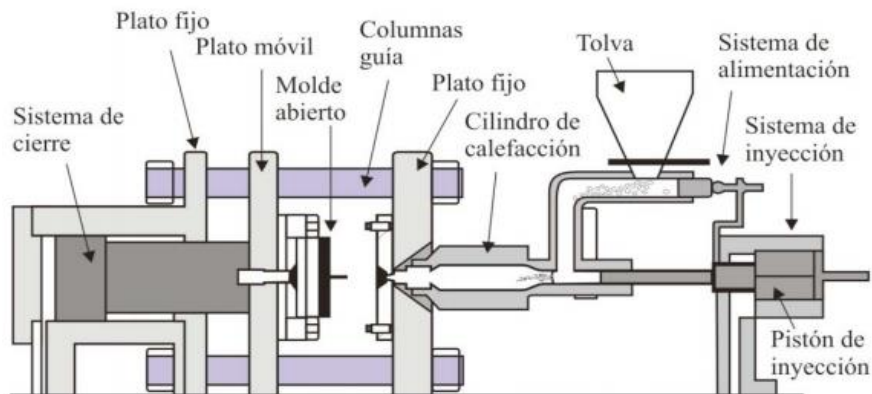


Ilustración 4. Esquema de una máquina de moldeo por inyección con pistón.

Fuente: Inyección de materiales plásticos (2011) www.tecnologiadelosplasticos.com

Así, esta máquina queda definida por los siguientes elementos básicos:

- Un sistema de deposición manual o automática y canalización del polímero en forma granular, por su forma cónica dirige el material hasta el siguiente elemento. Se denomina tolva.
- El cilindro de calefacción, en el que se produce la fundición del material para que pueda fluir gracias a la presión producida por el pistón de inyección.
- Un pistón de inyección, que como comentaba antes proporciona la presión necesaria para que entre al molde.
- El propio molde donde se obtiene la pieza deseada, el cual se debe abrir o cerrar en un determinado momento, gracias a un mecanismo de cierre.

No resultaba rentable utilizar este tipo de máquinas, había muchas contradicciones en su diseño.

Esto lleva al diseño de diferentes tipos de máquinas de moldeo por inyección de plásticos, tales como:

- Máquinas de inyección con preplastificación.
- La máquina de inyección con un tornillo recíprocante (o de husillo), patentada en 1956.

5.2.2. *Máquinas de pistón con preplastificación*

En este tipo de máquina, las etapas de fusión y plastificación son independientes, tienen una cámara de calentamiento o cilindro donde se calienta el material, el cual transfiere ya caliente a la otra zona diferenciada llamada cilindro de inyección, como puede apreciarse en la *Ilustración 5*. A continuación, el pistón fuerza al material fundido a pasar a través de la boquilla hasta el molde.

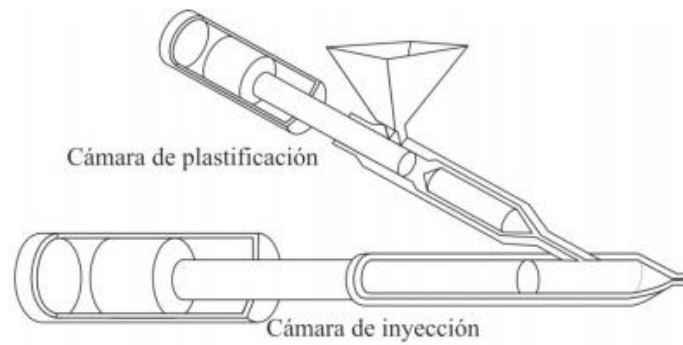


Ilustración 5. Máquina de inyección por preplastificación.

Fuente: Inyección de materiales plásticos (2011) www.tecnologiadelosplasticos.com

Hoy en día, se utiliza ocasionalmente debido a que es notablemente más complicada y cara de fabricar de lo necesario. Sin embargo, para la obtención de grandes piezas aún se utiliza, debido al gran volumen de material que es necesario plastificar antes de la inyección.

5.2.3. Máquinas de husillo

La máquina de inyección con husillo produce un calentamiento y un mezclado homogéneo del material a la vez.

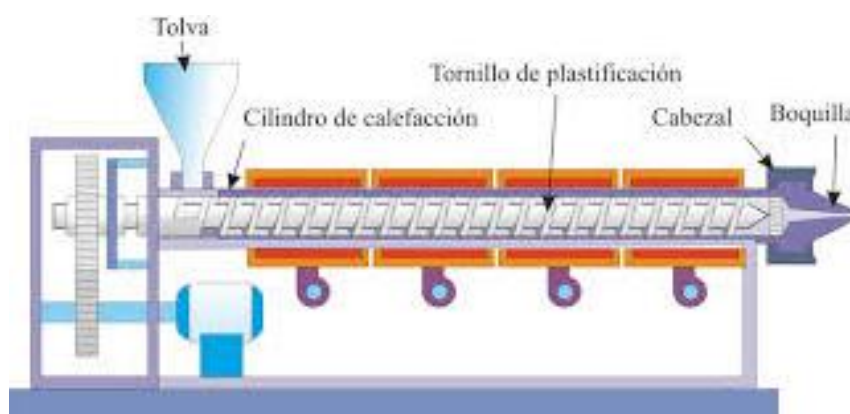


Ilustración 6. Máquina de inyección con husillo.

Fuente: Eduardo Baño (2019), www.interempresas.net

A diferencia de las anteriores, no se produce una pre-plastificación, por lo que la inyección se produce igualmente en la cámara de plastificación, con la diferencia de que posee un husillo, el cual realiza un movimiento de vaivén similar a un pistón complementado con una rotación.

El husillo transforma la energía mecánica de estos movimientos en calor por fricción ayudado por las paredes del cilindro que ayudan a aumentar la temperatura por conducción.

Actualmente, son las máquinas más utilizadas con diferencia, por lo que lo que se estudiará en profundidad a continuación.

5.2.4. *Elementos de una máquina de inyección convencional*

5.2.4.1 *Unidad de plastificación*

La **unidad de plastificación** donde se produce la plastificación mediante el giro del tornillo inyectándolo el material plastificado hasta las cavidades del molde y manteniendo la presión hasta que expulsado.

Este elemento, consta de un cilindro que soporta altas presiones, cubierto por bandas calefactoras y fundiendo así el material que pasa por su interior. Además está formada por dos unidades hidráulicas para transmitir el movimiento de apertura y de cierre al husillo.

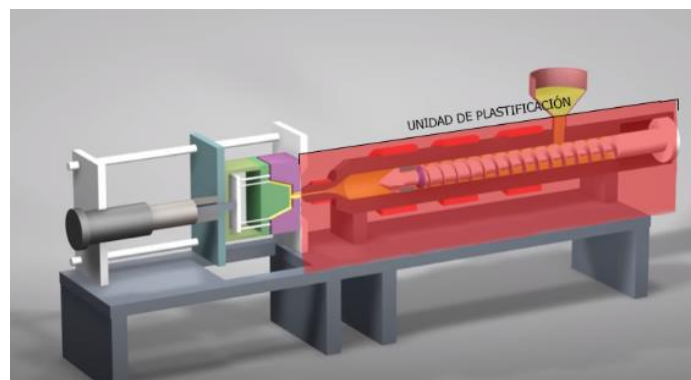


Ilustración 7.Unidad de plastificación

5.2.4.2 Tolva de alimentación

La **tolva de alimentación** donde se depositan la resina en forma de gránulos, pasando antes por un proceso estricto de secado para eliminar la cantidad necesaria de humedad.

Estas tolvas son contenedores de forma cónica, aunque la geometría depende del fabricante de la máquina. Además, generalmente tiene un anillo de enfriamiento para evitar que el material se derrita y se aglomere en la entrada de alimentación.

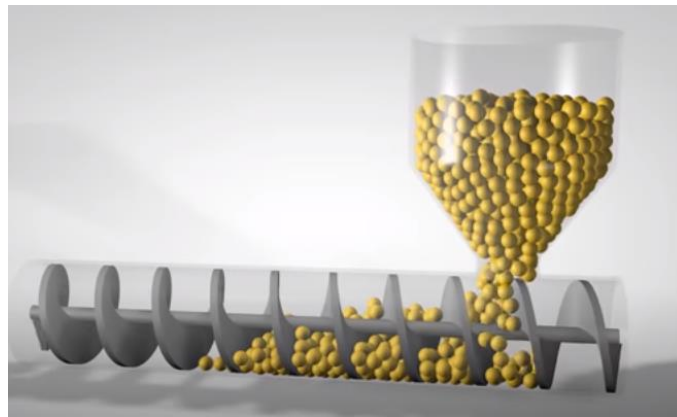


Ilustración 8. Tolva de alimentación.

5.2.4.3 Husillos

Los **husillos** realizan la parte más importante de este proceso. Se encargan de recibir, fundir y mezclar el material y alimentar al molde situado en la parte delantera.

Aunque depende de la longitud de la unidad de plastificación, se divide el tornillo en tres zonas:

- *Zona de alimentación*, situada en la parte posterior junto a la tolva, que es donde recibe el material. El coeficiente de fricción entre el plástico y el husillo es una propiedad muy importante.
- *Zona de compresión*, aumentando gradualmente el diámetro del tornillo para así aumentar la compresión del plástico y su fusión debido al calor producido por fricción y cizalla.
- *Zona de dosificación*, zona donde se produce la mezcla de la masa fundida.

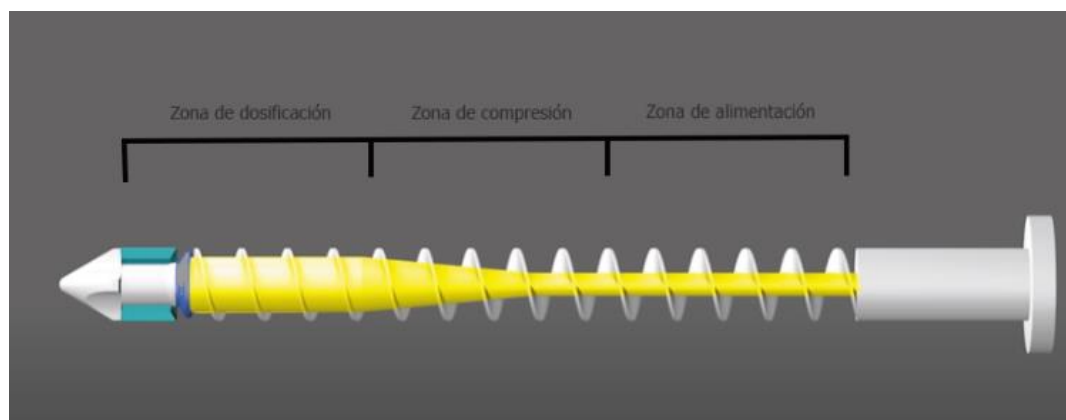


Ilustración 9. Partes de un husillo.

5.2.4.4 Válvula antirretorno

Las **válvulas antirretorno** tienen como objetivo regular el flujo del material desde el husillo hacia el molde y evitar que se produzca una regresión del plástico fundido hacia la cámara de plastificación, asegurando así la realización de un proceso estable para la obtención de una pieza con calidad.

Si se producen fugas desde el molde hacia el husillo, conocido como variaciones de volumen de dosificación o variaciones de colchón, se pueden llegar a crear burbujas en la pieza inyectada. Para ello es muy importante su geometría, encontrando en el mercado tres tipos:

- *Válvula antirretorno de anillo*: Este diseño incorpora una punta de aleación por láser para reducir el desgaste entre la punta y el anillo de cierre
- *Válvula antirretorno de bola*: En el caso de diámetros de husillo más grandes, la mejor forma de conseguir un cierre excelente es con este tipo de válvulas.
- *Válvula antirretorno de bola múltiple*: Para asegurar una buena calidad de los componentes ópticos, la velocidad de inyección debe ser muy baja al principio del proceso de inyección, lo cual es muy exigente para el cierre de la válvula antirretorno. (ENGEL)



Ilustración 10. Tipos de válvulas antorretorno.

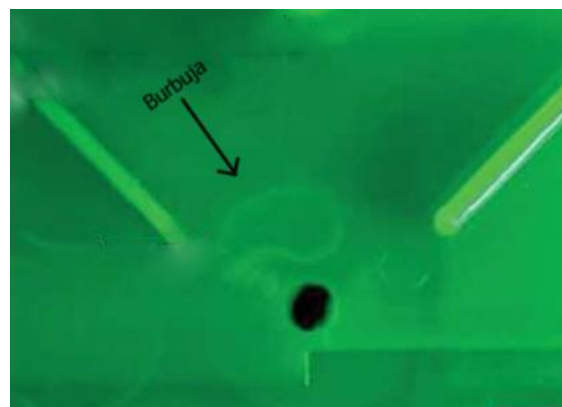


Ilustración 11. Defecto en una pieza inyectada.

5.2.4.5 Boquilla de inyección

La **boquilla de inyección** se sitúa en el extremo de la cámara de plastificación y su objetivo es dar salida al material fundido hacia los canales del molde. Para elegir el diseño de la tobera, hay que tener en cuenta dos variables, el tipo de polímero con el que se esté trabajando y el diseño del molde, por eso debe estar situada de manera que se pueda intercambiar de forma sencilla para adecuarla a cada trabajo.

Se pueden considerar dos tipos de toberas, según su geometría y su asiento en el bebedero. El primer tipo, *boquilla de inyección a)*, sería una boquilla plana, más económica y fácil de fabricar, sin embargo, no se aconseja su uso cuando estamos frente a grandes pérdidas de presión en el molde; y *las boquillas de inyección b)*, siendo el asiento con el bebedero con forma redonda. Este diseño permite la colocación de bandas calefactoras a lo largo de la misma para conservar la temperatura del material.

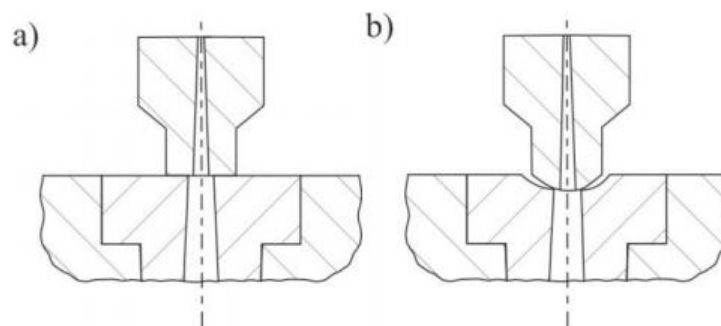


Ilustración 12. Tipos de boquillas de inyección.

Fuente: Navarrete, S. (s.f.). Características generales del moldeo por inyección.

5.2.4.5 Unidad de cierre

El último elemento y uno de los más importantes, es la **unidad de cierre**, la cual soporta el molde, lo mantiene cerrado y lo abre en los tiempos adecuados y produce la expulsión de la pieza. Un excelente cierre puede ahorrar procesos secundarios de eliminación de rebabas en los objetos ya moldeados.

Esta unidad está conformada por dos platos fijos, cada uno en un extremo de la máquina. Entre ellos se diferencian la unidad de cierre, conformada por la tercera placa, esta vez móvil que es desplazada por la unidad de cierre. El molde se coloca entre el plato móvil y uno fijo situado al lado de la unidad de inyección.

Además, se observan cuatro barras guía, localizadas en las esquinas que soportan los platos y ayudan a deslizar el molde.

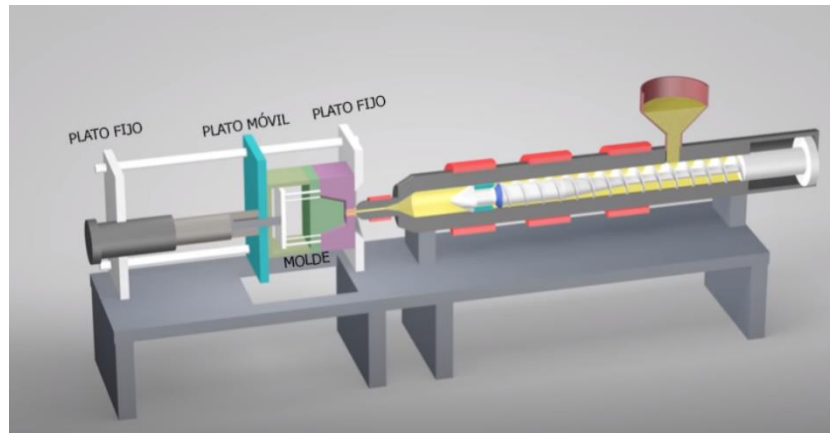


Ilustración 13. Unidad de cierre.

5.2.5. *Etapas de una máquina de inyección convencional*

El ciclo de moldeo para este tipo de máquinas es el siguiente:

- i. El tornillo comienza a girar alimentando así la cámara de plastificación, a la vez que funde el material granulado.

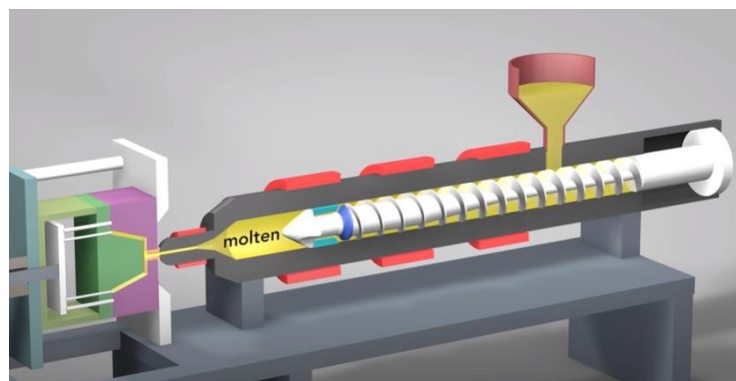


Ilustración 14. Etapa i.

- ii. Una vez llena la cámara de plastificación, el husillo deja de girar y pasa a realizar el movimiento axial hacia delante.

Así inyecta el material en el molde a través de la boquilla. Esta etapa se denomina 'retención', donde el tornillo se mantiene ejerciendo presión en su parte anterior, mientras se produce el enfriamiento de la pieza.

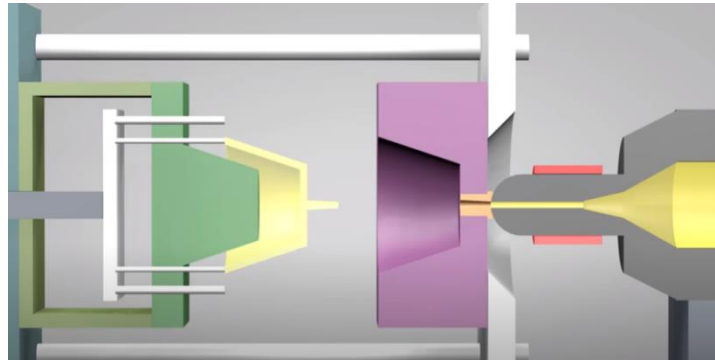


Ilustración 15. Etapa ii.

- iii. El tornillo comienza a girar de nuevo realizando un retroceso y alimentándose de nuevo mientras la pieza se termina de enfriar y se produce el desmoldeo.

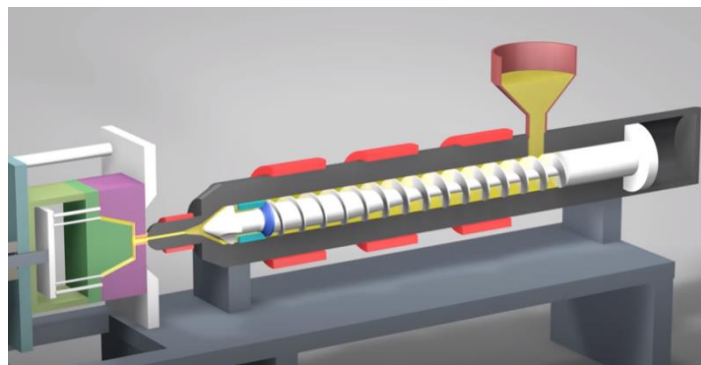


Ilustración 16. Etapa iii.

- iv. Se cierra el molde y el husillo realiza el movimiento hacia delante de nuevo, volviendo a inyectar el material y repitiéndose el proceso.

5.2.6. *Parámetros característicos de las máquinas de inyección*

Estos parámetros que se presentan a continuación serán de vital importancia a la hora de realizar el análisis de llenado y de refrigeración en apartados posteriores.

5.2.6.1 *Ciclo de inyección.*

Dependiendo de la aplicación de cada molde, el proceso de inyección en una máquina convencional constará de los siguientes tiempos y movimientos:

- i. ***Tiempo de cierre del molde.*** Durante este tiempo, la máquina efectúa el movimiento necesario y cierra el molde.
- ii. ***Tiempo de avance de la unidad de inyección.*** Tiempo en el que la unidad de inyección avanza hasta que la boquilla llega hasta el bebedero del molde, donde se encuentra la entrada al molde.
- iii. ***Tiempo de llenado o de inyección.*** En este recorrido, se produce la inyección del material gracias al avance del pistón o el husillo (dependiendo del tipo de máquina). Este tiempo dependerá del material a utilizar, de la velocidad con la que avanza la unidad de inyección, además del tamaño de esta.
- iv. ***Tiempo de compactación.*** Durante este tiempo el material permanece dentro del molde cerrado. Es aquí donde comienza también el tiempo de enfriamiento. Se presencia una pérdida de presión en el interior del molde debido a la contracción de la pieza, por lo que para solucionarlo se introduce lentamente una pequeña cantidad de material, compensando esta contracción.

Este tiempo finaliza en el momento en el que el plástico queda solidificado y no es necesario que la unidad de inyección esté en posición de avance ejerciendo presión.

- v. ***Tiempo de retroceso a la unidad de inyección.*** Cuando la entrada a la cavidad solidifica la unidad de inyección retrocede, el husillo comienza a realizar un movimiento rotatorio plastificando así el material.

- vi. **Tiempo de enfriamiento.** Esencial para enfriar el termoplástico que ocupa las cavidades del molde. Como se especifica antes, este tiempo comienza desde la etapa de compactación hasta que se produce la apertura del molde. Sin embargo, realmente este proceso comienza tan pronto como el material entra en contacto con las paredes del molde.
- vii. **Tiempo de apertura del molde.** Es un tiempo establecido para cada máquina, en el que se procede a la apertura del molde.
- viii. **Tiempo de extracción de la pieza.** En este tiempo se retira la pieza de plástico del molde.
- ix. **Tiempo con el molde abierto.** Es un tiempo corto, a no ser que sea preciso modificar el interior del molde.

(Marcilla & Beltrán)

En esta figura podemos observar la duración relativa de las diferente etapas del ciclo de inyección de una máquina convencional.

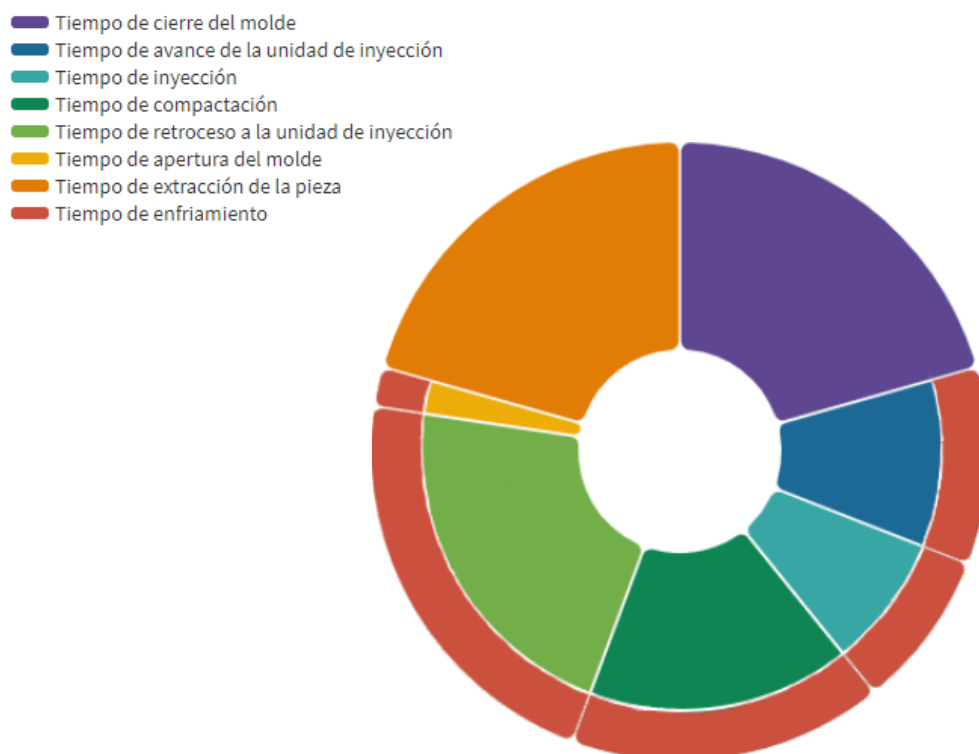


Ilustración 17. Tiempos máquina de inyección.

Fuente: Elaboración propia

5.2.6.2. Consumo de potencia del ciclo de inyección

Refiriéndose al consumo de potencia de cada una de las etapas anteriormente comentadas del ciclo, se observa en la siguiente gráfica que la etapa de inyección es la que más potencia requiere, sin embargo, lo realiza en un tiempo reducido.

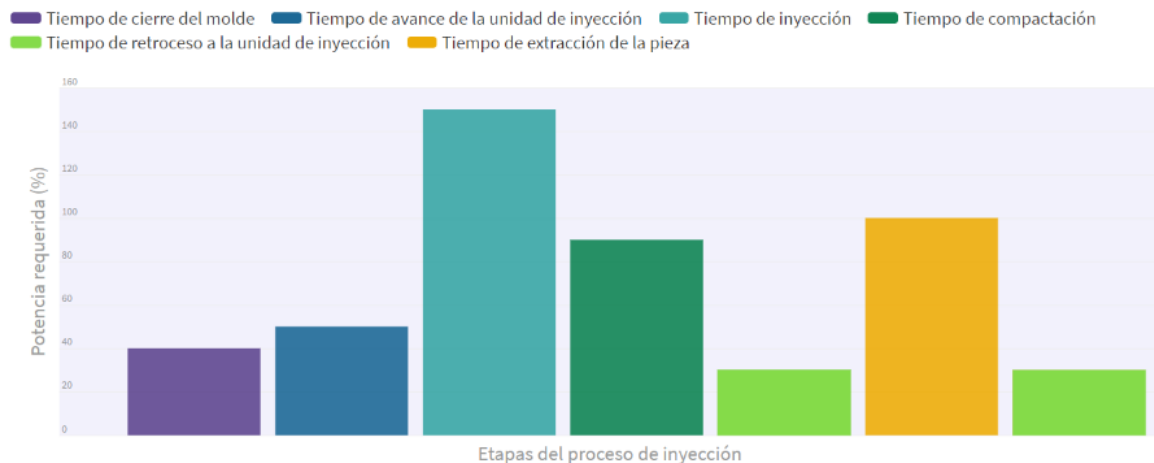


Ilustración 18. Ciclo de potencia de una máquina de inyección.

Fuente: Elaboración propia

5.2.6.3 Velocidad de inyección

Controlar la velocidad de inyección es un factor muy importante. Si esta es muy alta, la presión hidráulica se incrementará. Al contrario, se producirá una caída en la presión en la boquilla y en los canales de distribución como consecuencia del rápido crecimiento de la capa sólida.

5.2.6.4 Velocidad de llenado

Esta **velocidad** debe completarse en el menor tiempo posible para reducir el ciclo total del trabajo anterior y evitar el crecimiento de la capa sólida. Por lo que:

- *Velocidades extremadamente altas* pueden causar sobrecalentamiento, el esfuerzo cortante máximo del material y el estiramiento o desplazamiento de la capa fría solidificada, haciendo que la capa interna fundida fluya hacia el exterior y cause defectos estéticos.
- *Velocidades muy bajas* producen una reducción en la sección de paso del material debido a la capa ya solidificada. Esto aumenta la presión necesaria para que el flujo avance.

La determinación de esta velocidad es un parámetro crítico en el proceso de inyección, tiene una incidencia directa tanto en la repetibilidad del proceso como en las propiedades de las piezas obtenidas.

(Marcilla & Beltrán)

5.2.6.5 Presión de inyección

La **presión de inyección** necesaria durante la fase de llenado es debida, entre otras variables, de la velocidad de inyección, la viscosidad del plástico, el recorrido que realiza el flujo, etc.

La presión hidráulica que es aplicada en el pistón de inyección es proporcionalmente multiplicada en la misma relación, entre el área del pistón de inyección y el área del husillo. Esto se denomina *efecto de multiplicación de inyección*.

A lo largo del recorrido del pistón, se produce un descenso de la presión debido a diferentes factores. Por lo tanto, la presión efectiva que se ejerce sobre el material será la resultante de la presión generada menos todas las pérdidas puntales en cada paso, siguiendo el siguiente esquema.

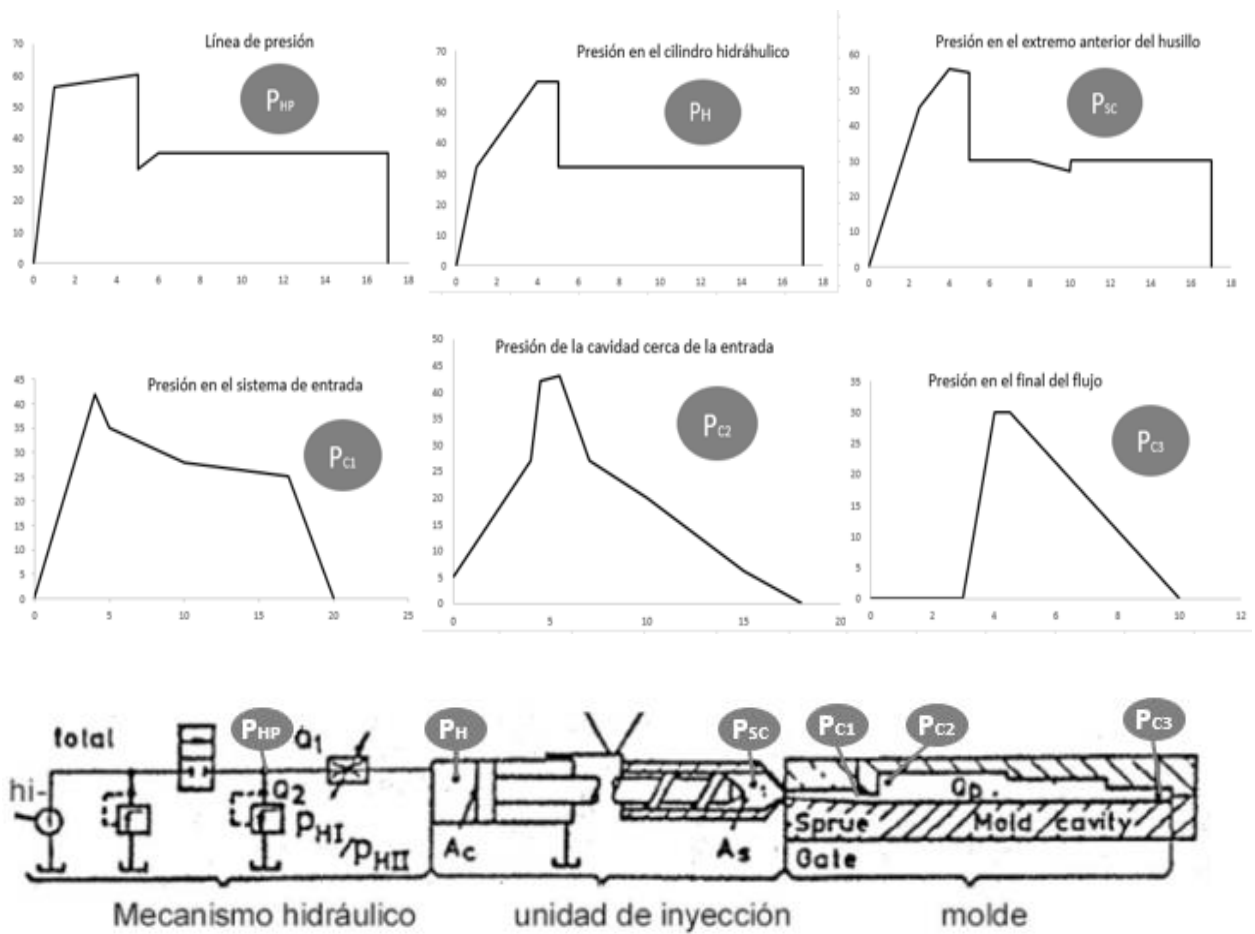


Ilustración 19. Presión en una máquina de inyección.

Fuente: Elaboración propia

5.3 MOLDE DE INYECCIÓN

En el caso más usual el molde de inyección consta de dos mitades que se fijan directamente en los platos portamolde de la máquina de inyección. Estos dos elementos básicos, una mitad del molde el lado extractor y la otra mitad el lado inyector, aparecen en todos los tipos de moldes, independientemente de su tipología.

De esta forma, se va a designar a la parte del lado extractor, la *parte móvil* y a la del lado inyector, la *parte fija*.

Tras el proceso de inyección del plástico y de la solidificación, el molde se abre por el plano de partición, quedando la mazarota y la pieza en la parte móvil del molde. Es aquí donde la parte posterior entra en contacto con unos *pernos de extracción*, iniciándose así el proceso de desmoldeo.

Al realizarse el cierre del molde se produce la recuperación del mecanismo extractor, gracias a las llamadas *espigas extractoras*. Finalizado el cierre, se puede empezar de nuevo el proceso de inyección a través del sistema de llenado.

La fabricación y el diseño de los moldes se encuentra estandarizado de forma simple en la actualidad.

Para llevar a cabo el diseño del molde, se ha tomado como referencia los catálogos normalizados de *MOLDES PREFABRICADOS VAP, S.A.*

5.3.1 Clasificación de los moldes

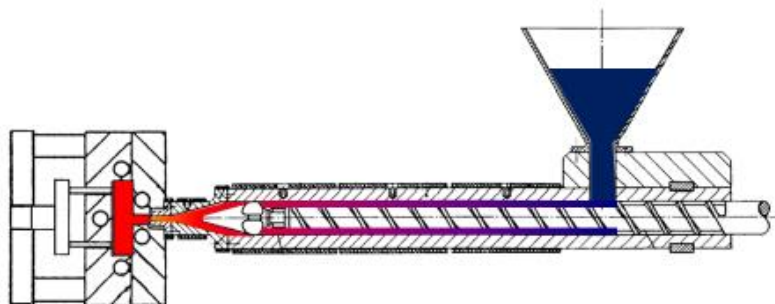


Ilustración 20. Molde base.

A continuación, se van a exponer diferentes variantes de moldes que permiten ver la variabilidad que tiene este tipo de ensamblaje base que se presenta en la *Ilustración 20*.

5.3.1.1 Molde de inyección con correderas

Uno de los moldes más complejos.

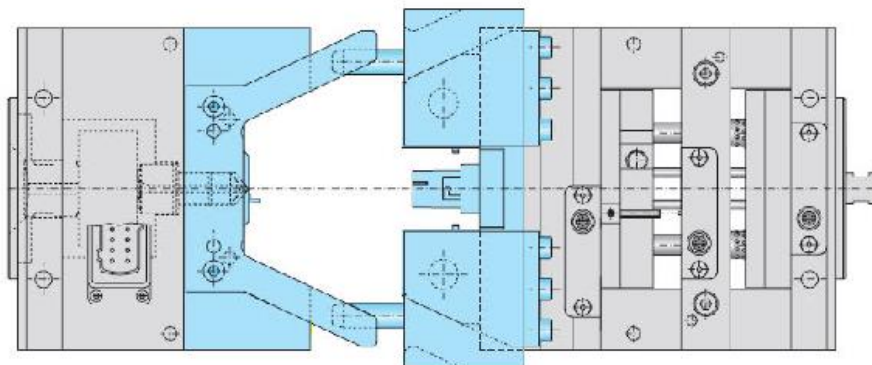


Ilustración 21. Molde de inyección con correderas.

Fuente: Direct Industry, I.M.T., S.A.

5.3.1.2 Molde de tres platos

Formado por tres platos, (1) la placa estacionaria que generalmente contiene el bebedero, (2) la placa central, donde se sitúa la cavidad y una última placa (3)

denominada placa móvil o de fuerza, que contiene la pieza moldeada y el sistema eyector para la extracción de la parte moldeada.

Permite así la separación de la pieza y de la colada (desecho) simultáneamente.

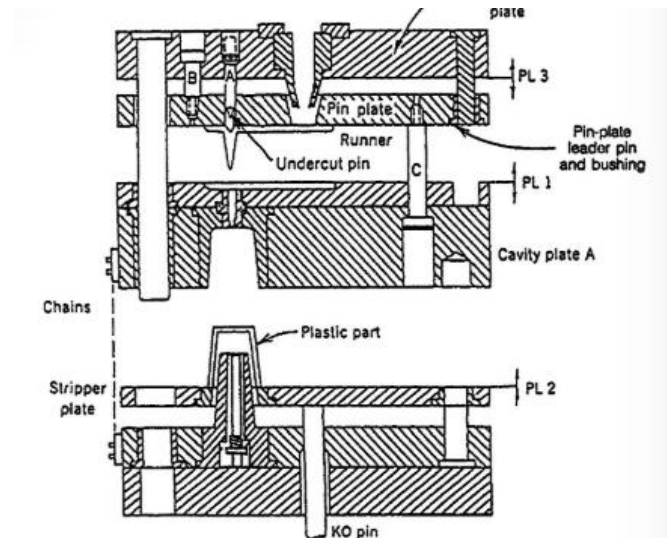
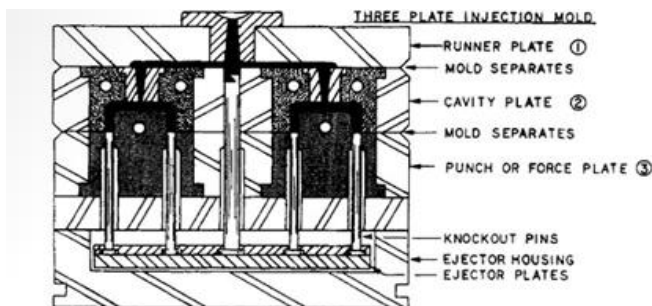


Ilustración 22. Molde de tres platos abierto y cerrado.

Fuente: Marcilla, A., & Beltrán, M. (s.f.). Tecnología de polímeros. *Inyección*

5.3.1.3 Molde de doble placa

Todos los diseños básicos para moldes de inyección tienen este concepto de diseño. Un molde de dos placas es el tipo de herramienta más lógico para usar en industria.

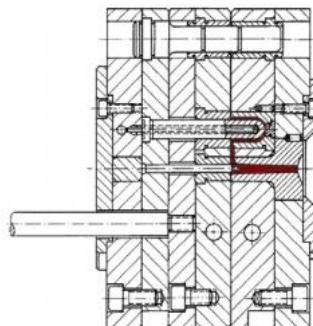


Ilustración 23. Molde de dos placas.

Fuente: Navarrete, S. (s.f.). Características generales del moldeo por inyección

Todas estas variantes se observa que están sujetas a un diseño uniforme y sujeto a unas medidas parametrizadas.

5.3.2 Elementos que conforman un molde

Los elementos típicos de un molde de inyección se pueden observar en la siguiente ilustración:

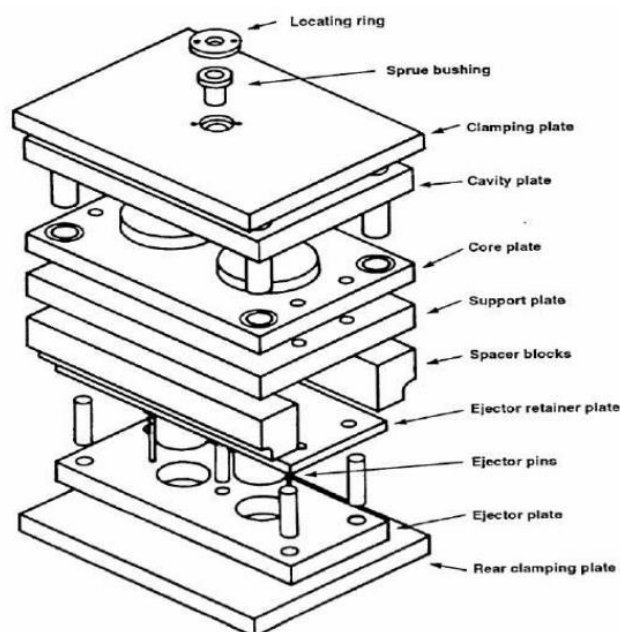


Ilustración 24. Partes de un molde de inyección.

Fuente: Desing for manufacturing and assembly; Injection Mold Machine Selection and Mold Costing

5.3.2.1 Placas de apoyo

Dependiendo del nivel de complejidad y de las necesidades que se tengan, el molde constará con más o menos placas, encontrando las *placas de fijación* (*clamping plate*), las *placas de alojamiento de la cavidad* (*cavity and core plate*), una *placa intermedia* (*backing plate*), las regletas (*spacer blocks*) y un conjunto de *placas expulsoras* (*ejector plates*).

5.3.2.2 Anillo centrador

El objetivo del diseño de un disco centrador es alojar la *boquilla de inyección* y asegurar una correcta alineación con esta.

El plástico ya fundido debe recorrer los siguientes elementos hasta llegar al molde:

Boquilla → Bebedero (Sprue Bush) → Canales de alimentación → Cavity de entrada a la zona de impresión → Molde (Zona de impresión)

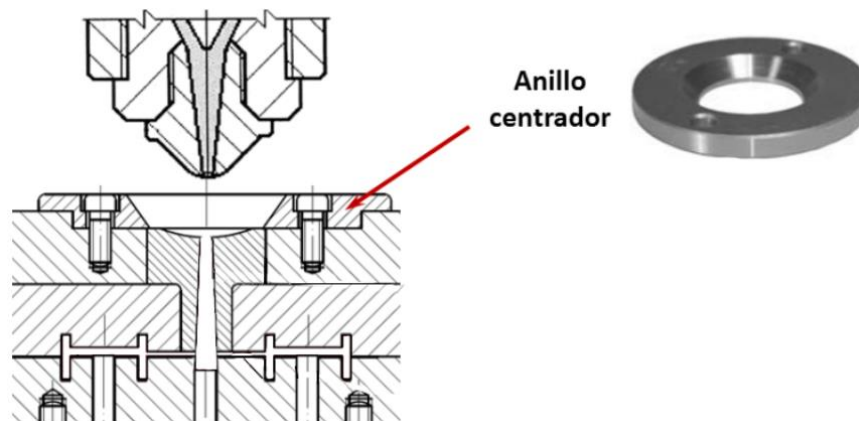


Ilustración 25. Anillo centrador.

5.3.2.3 Canales de alimentación

La masa procedente del cilindro de plastificación de la máquina llega, a través de la boquilla de inyección, a la cavidad del molde medianamente enfriado, pasando por un canal. Estas vías de flujo se denominan *canales de distribución*, y la masa que se solidifica en ellos se denomina *mazarota*.

Los canales tienen la misión de recibir la masa, dirigirla a la cavidad del molde y, especialmente en moldes múltiples, distribuirla. En consecuencia, el sistema de alimentación comprende el *manguito del bebedero* (4), el *bebedero* (5), el *distribuidor de colada* (6) y los *canales de estrangulamiento* (7)

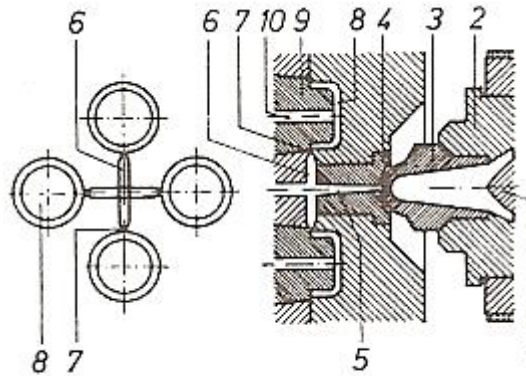


Ilustración 26. Canales de alimentación.

Fuente: Rodolfo D. Bertino, Cómo ingresa el material en el molde

El tipo y la disposición de estos canales de alimentación son de gran importancia para la calidad de una pieza. Eligiendo apropiadamente este sistema se puede influir en el tiempo de inyección, reducir los desperdicios y si se combina con un *bebedero puntiforme*, ahorrar material.

La forma de alimentar material viene determinado por varios factores; uno de ellos es hacer llegar el material al molde siguiendo el recorrido más corto, con mínimas pérdidas de presión y calor, además de tener en cuenta las dimensiones de la pieza (si son piezas de grandes dimensiones se deberá inyectar por diferentes puntos). (Mohren & Menges, 1983)

5.3.2.4 Bebedero

El *bebedero* (*sprue*) es un taladro cónico que une la cavidad del molde con la boquilla de inyección, siendo el canal por el cual entra el material al molde hasta los canales (colada).

Esta cavidad se realiza dentro de una pieza denominada manguito del bebedero (sprue bushing), unida a las placas gracias al anillo centrador.

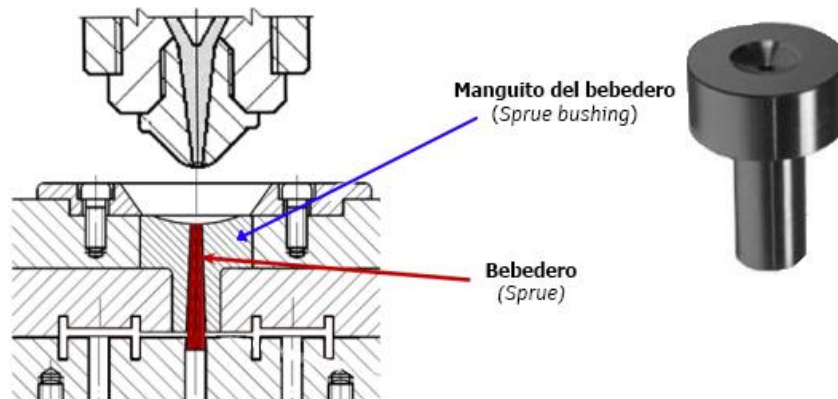


Ilustración 27. Bebedero.

Fuente:Menges, G. (s.f.). *How to make Injection Molds*.

5.3.2.5 Distribuidor de colada

La elección de la geometría de estos canales de colada (*runners*) es muy importante, seleccionando formas con grandes secciones transversales para favorecer que el material fundido fluya bien, pero con la menor área superficial para que no se produzca un enfriamiento anticipado.

Podemos elegir entre las tres secciones siguientes:

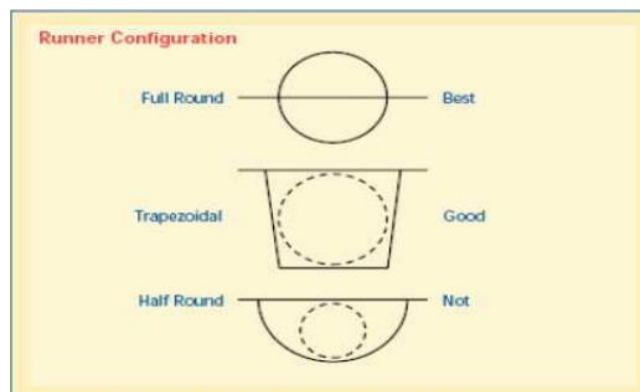


Ilustración 28. Secciones de los canales de colada.

Fuente:Menges, G. (s.f.). *How to make Injection Molds*.

- Una sección circular que es la que mejor favorece el paso del fluido.
- Una sección trapezoidal.
- Una sección semicircular que no está recomendada debido a la amplia área superficial.

Dependiendo del número de cavidades que presente la pieza, se elegirá además el tipo de distribución de estos canales.

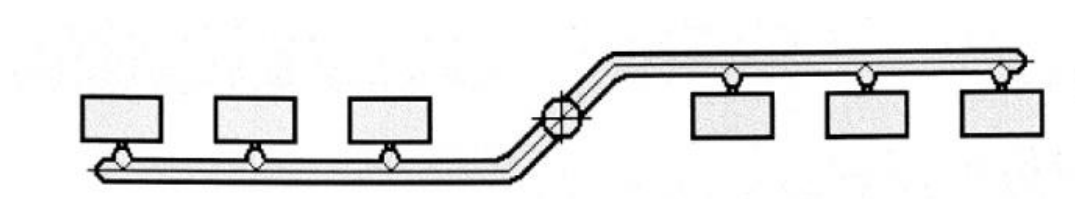


Ilustración 29. Sistema de canales descompensados.

Fuente:Menges, G. (s.f.). *How to make Injection Molds*.

- *Sistema de canales descompensados*: Está desancosejado.
- *Sistema de canales equilibrados*: El material recorre el mismo camino para todas las cavidades del molde.

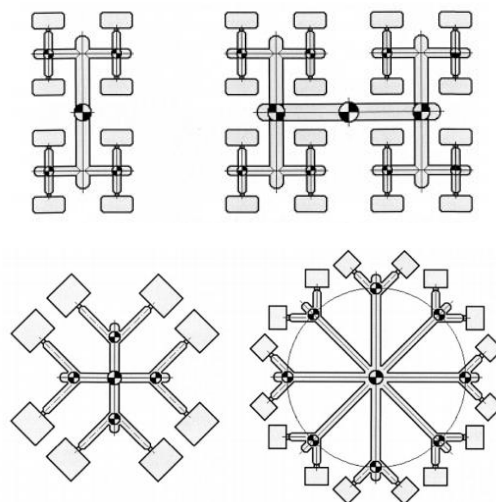


Ilustración 30. Sistemas de canales equilibrados.

Fuente:Menges, G. (s.f.). *How to make Injection Molds*.

En este caso, se va a optar por la utilización de un sistema de canales equilibrados como el primer tipo que se observa en la *Ilustración 32* debido a que el número de cavidades no es muy elevado y a la geometría de la pieza.

5.3.2.6 Entradas de inyección

Las entradas de inyección o canales de estrangulamiento son la parte que une la pieza con el sistema de llenado y, generalmente, debe ser la parte más estrecha de todo el sistema y de fácil desmoldeo, evitándonos así un costoso trabajo posterior (aumentando tiempos).

La dimensión del canal de entrada es uno de los parámetros más importantes. No debe ser demasiado pequeño, ya que supondría una considerable resistencia al flujo de masa plástica (cuanto más viscosa sea esta masa, mayor será la resistencia), haciendo que se deba aumentar la presión de inyección. Otro inconveniente es el sobrecalentamiento que se producirá en la boquilla.

Por otra parte, una sección de entrada desmesurada hará que el material se solidifique en el canal, antes de llegar a las cavidades.

La disposición de las entradas determina la dirección de flujo de la masa de moldeo en la cavidad del molde y este, a su vez, las propiedades de resistencia de las piezas moldeadas, ya que no son las mismas en sentido longitudinal que en sentido transversal del flujo. Esto es debido al grado de orientación de las cadenas de concentración moleculares.

Antes de construir el molde y estas entradas, es necesario conocer bien la dirección sobre la cual la pieza va a soportar los esfuerzos y conocer cuál será la dirección según la cual sufrirá el esfuerzo principal. Cuanto más viscosa sea la masa de inyección y más espesor tenga la pieza a moldear, mayor deberá ser el paso de la sección.

La entrada debe realizarse en la zona de mayor espesor de la pieza, ya que si no se realiza el proceso de esta manera se crearán porosidades, rechupes y una

deformación de importancia que afectará a las dimensiones y a las propiedades de la pieza.

En la siguiente ilustración, se puede observar la influencia de la posición de entrada sobre la calidad de una pieza y la influencia de las contracciones.

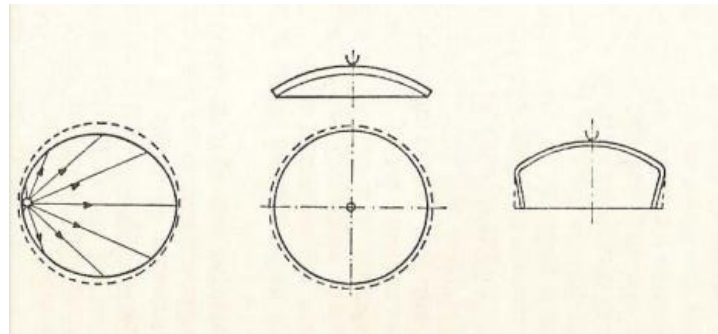


Ilustración 31. Influencia de la posición de entrada en una pieza.

Fuente: Menges, G. (s.f.). *How to make Injection Molds*.

Sin embargo, este tipo de entrada no es la más óptima, pudiendo crear zonas débiles.

Para ello, se distinguen dos zonas de llenado, por la parte superior, por un lateral o para piezas de revolución o semejantes.

Entradas que acceden a la cavidad por la parte superior:

Ya se han desarrollado en el punto 5.3.2.4. *Entrada directa o bebedero (sprue) y la entrada capilar o puntiforme (pinpoint gate)*.

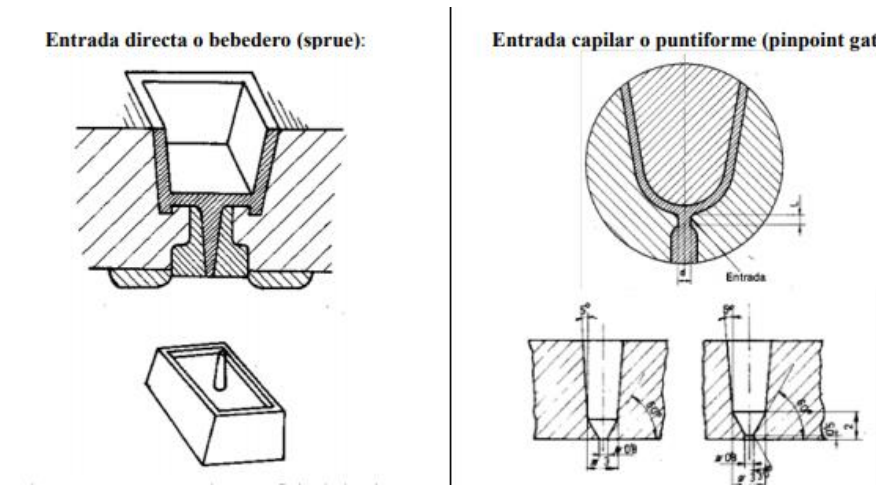


Ilustración 32. Entradas que acceden a la cavidad por la parte superior.

Fuente: Menges, G. (s.f.). *How to make Injection Molds*.

Entradas que acceden a la cavidad por el lateral:

- *Entrada lateral:* La cual nos deja una pequeña marca en el lateral de la pieza.

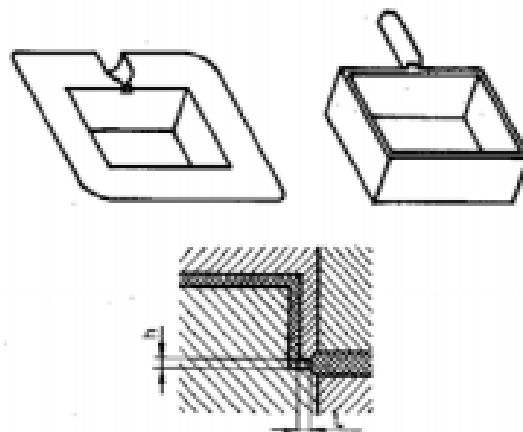


Ilustración 33. Entrada lateral.

- *Entrada lateral múltiple:* Similar a la anterior pero utilizada para piezas de mayor tamaño.

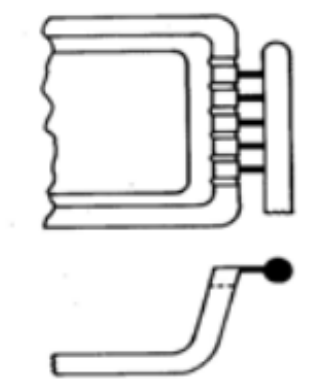


Ilustración 34. Entrada lateral múltiple

- *Entrada superpuesta:* Genera un llenado rápido, indicada para piezas grandes y planas. No deja marca.

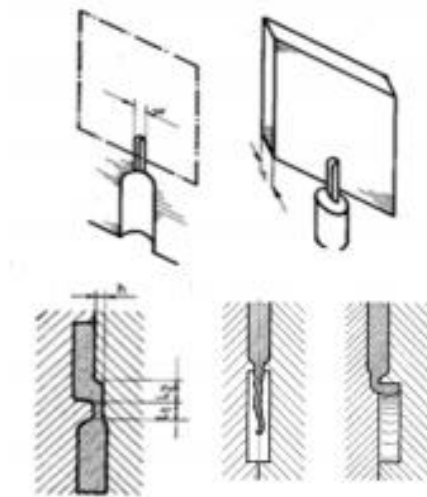


Ilustración 35. Entrada superpuesta.

- *Entrada de lengüeta:* Parecida a la entrada lateral. Consta de una zona de acumulación previa a la entrada que favorece al llenado de la cavidad.

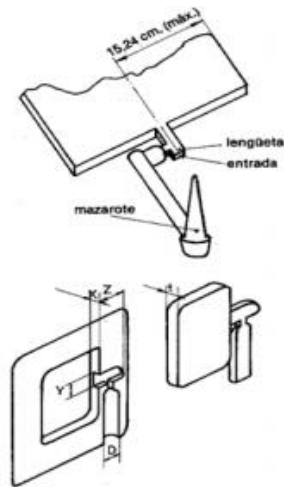


Ilustración 36. Entrada de lengüeta.

- *Entrada de abanico:* Se utiliza para crear un frente de flujo uniforme en piezas anchas, donde la deformación y la estabilidad dimensional son las principales preocupaciones.

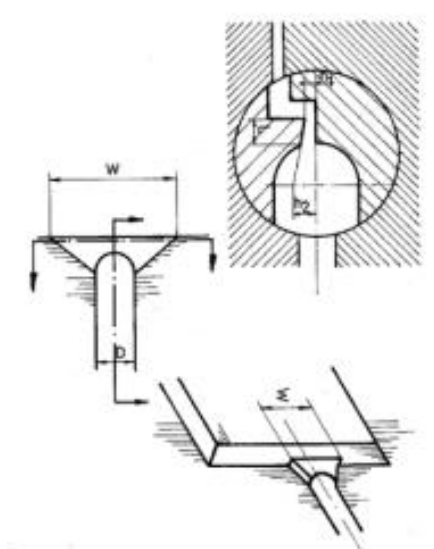


Ilustración 37. Entrada de abanico

- *Entradas de membrana:* Llenado rápido. Están indicadas para paredes muy delgadas.

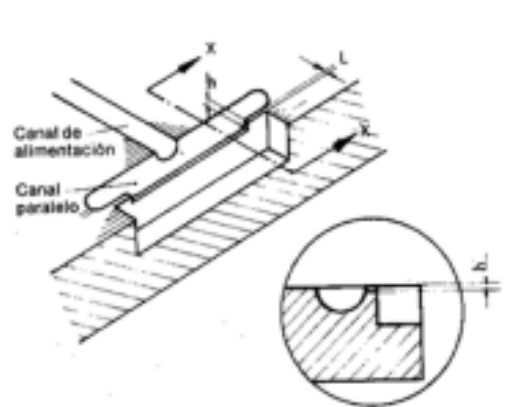


Ilustración 38. Entrada de membrana.

Entradas para piezas en revolución o similares:

- *Entrada en estrella:* Entrada equilibrada del material de inyección. Existen líneas de soldadura.

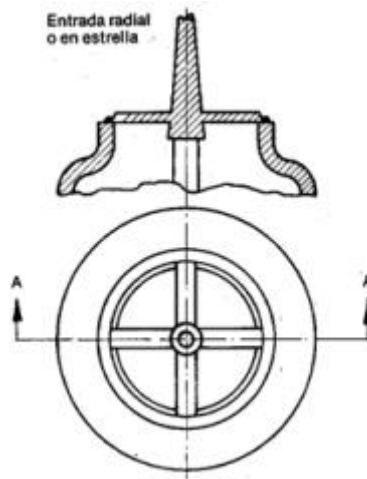


Ilustración 39. Entrada en estrella.

- *Entrada de disco:* No existen líneas de soldadura. Indicada para piezas de revolución de gran sección.

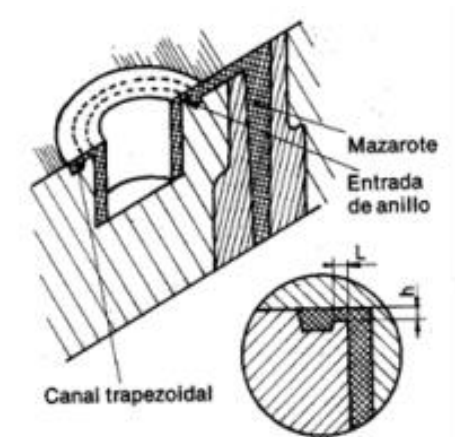


Ilustración 40. Entrada de disco.

- *Entrada de anillo:* No existen líneas de soldadura. El llenado se produce desde el exterior.

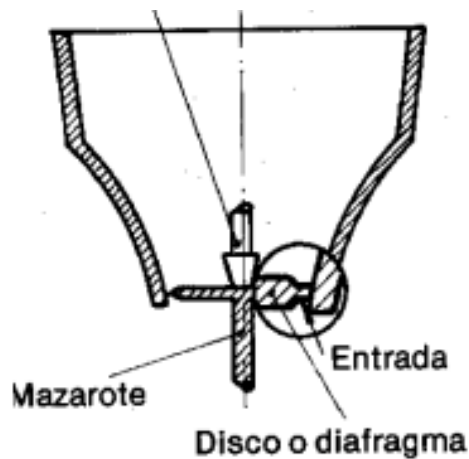


Ilustración 41. Entrada de anillo.

Como se va a observar en el diseño del molde, se va a realizar una entrada accediendo por la parte superior de este a través del bebedero.

5.3.2.7 Canales de refrigeración

El llenado se produce en una cavidad que tiene la forma del artículo deseado. La masa plástica se adapta a la forma del molde, eliminándose poco a poco su calor hasta que se produzca la solidificación. La pieza solamente puede ser extraída cuando haya adquirido la suficiente rigidez.

El enfriamiento es una de las partes más importantes del proceso de diseño de una pieza mediante moldeo, ya que determina la calidad de las piezas moldeadas, además de influir en el tiempo total del ciclo, lo que afecta directamente al factor económico de este proceso.

El factor elemental es la temperatura del agua que circula por los canales, necesitándose temperaturas más elevadas, por ejemplo, para polímeros cristalinos, con el fin de lograr óptimas propiedades del producto terminado. Al seleccionar la temperatura del molde tendremos que tener en cuenta en cuenta requerimientos económicos y de técnica de producción. Por lo general, las temperaturas elevadas producen:

- Buenas superficies (brillo)
- Buena fluidez.
- Reducido grado de orientación y pocas tensiones propias.
- Pocas grietas de tensión.
- Poca contracción posterior.
- Como inconveniente, largos tiempos de enfriamiento.

(Mohren & Menges, 1983)

Tipos de canales de refrigeración.

A continuación, se van a definir los diferentes tipos de canales de refrigeración que se utilizan en la práctica.

El primero de ellos, *el sistema de refrigeración en espiral* representado en la siguiente ilustración.

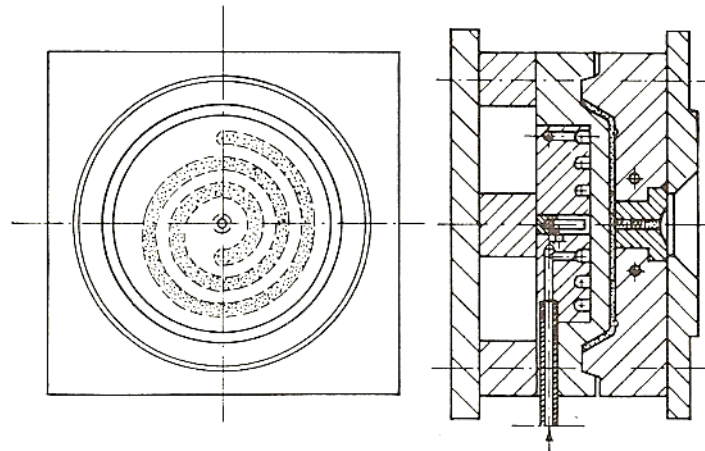


Ilustración 42. Disposición en espiral de los canales de refrigeración.

Fuente:Menges, G. (s.f.). *How to make Injection Molds*.

El refrigerante actuará primero en la posición más cercana a la entrada, obteniendo así la máxima diferencia de temperatura entre el líquido y la parte en la posición más caliente, disipando así más calor. Conforme recorre la espiral, el líquido comienza a aumentar la temperatura, de forma que, en los puntos más fríos de la pieza, el gradiente de temperaturas, y por lo tanto el calor disipado, es menor.

Es uno de los sistemas más costosos, sin embargo, ofrece piezas con alta calidad y con pocas deformaciones.

Para reducir el costo de tales canales, se pueden usar canales dispuestos linealmente, utilizados para piezas en revolución. No pueden garantizar una distribución uniforme de la temperatura, produciéndose así una deformación de las piezas.

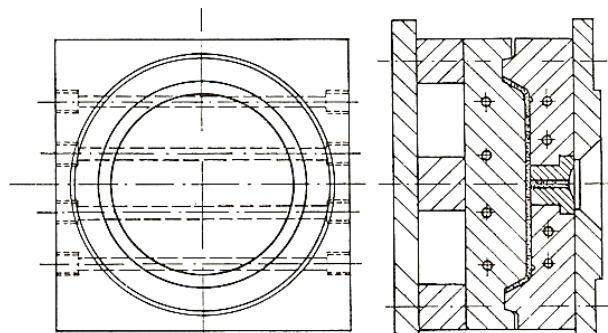


Ilustración 43. Disposición rectilínea de los canales de refrigeración.

Fuente:Menges, G. (s.f.). *How to make Injection Molds*.

La mejor opción para enfriar piezas con la entrada de colada en el centro, consiste en dividir el sistema de refrigeración, de modo que el líquido tenga que recorrer el mismo camino para el enfriamiento de las mitades derecha e izquierda del molde, de forma que será el elegido para la realización del molde que se presenta a continuación.

5.3.2.8 *Espigas expulsoras*

Una vez realizado el enfriamiento se extrae la pieza del molde de forma automática, ayudándose así del movimiento de apertura del molde o mediante un sistema de espigas expulsoras, ya que la pieza queda retenida por resaltes, tensiones internas y fuerzas de adherencia.

Estos sistemas actúan aprovechando la carrera de apertura de la máquina, quedándose la pieza en la parte móvil del molde, donde se encontrarán los expulsores.

Todo eyector produce una marca visible en la pieza, lo que tiene que considerarse al determinar el sistema y su disposición.

El sistema de eyección más conocido, como he comentado anteriormente, es aquel que opera con espigas expulsoras, que separan la pieza del núcleo. Estas varillas han de emplearse en la cantidad suficiente, distribuyéndose de modo que las piezas puedan desmoldarse sin deformaciones ni deterioros.

5.3.2.9 *Casquillos guía.*

Aseguran una perfecta alineación de la cavidad del molde con el resto de la estructura.

Se define así el guiado del molde, como la colocación de estos casquillos y columnas en el molde de tal forma que el cierre y la apertura se realicen siempre en la misma línea.

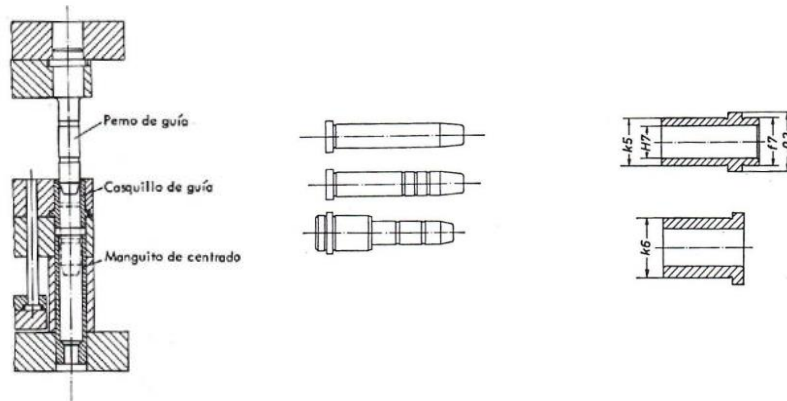


Ilustración 44. Unidad de guía y modelos corrientes de pernos guía y formas de los casquillos.

Fuente: Menges, G. (s.f.). *How to make Injection Molds*.

6. Materiales y Métodos

6.1. Materiales utilizados

Se va a utilizar el software CAD “Catia V5r21”. El principal motivo es que ofrece la ventaja de la tabla de diseño, la cual permite un vínculo con Excel, obteniendo así una jerarquía de ensamblaje muy apropiada para realizar el cometido que se buscaba en los objetivos.

Para el análisis posterior que validará la configuración de la cavidad que conformará la pieza, se ha utilizado el software de MoldFlow.

6.2. Modelado y parametrización de un molde de inyección

Tras haber definido cada uno de los elementos que conforman el molde, se comienza la realización del mismo a través del software CATIA V5r21, parametrizando todas sus dimensiones gracias a las tablas de Excel y utilizando los parámetros que ofrece el catálogo de moldes prefabricados VAP S.A.



Ilustración 45. Tipos de moldes de inyección.

En primer lugar, se selecciona el número de placas que van a conformar el montaje.

En nuestro caso, se escoge un molde convencional, formado por dos placas móviles y dos placas fijas, consiguiendo la forma del molde n.º 6.

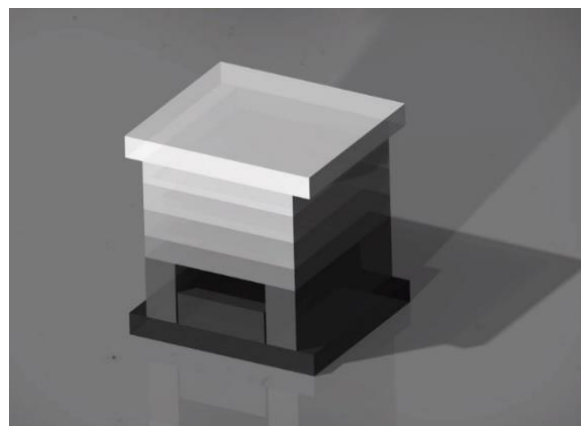


Ilustración 46. Molde n.º 6

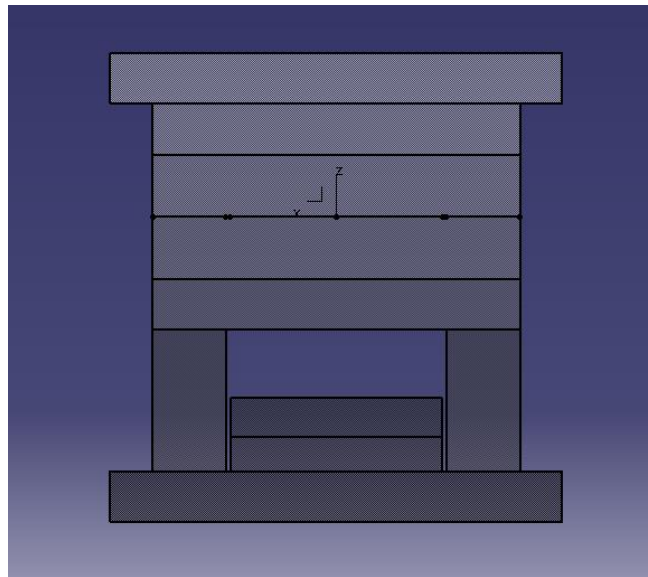


Ilustración 47. Elección del tipo de molde.

Una vez realizado este paso, se comienza con el diseño del conjunto.

Para ello, este catálogo ofrece un total de 38 combinaciones posibles, para cada una de las cuales se va a tener un valor para los parámetros que definen tanto las placas como los elementos (bebedero, anillo centrador, espigas, pernos guía) del molde.

En esta tabla se pueden observar algunas de estas combinaciones.

TIPO	A	A ₂	B	C	D-N-E	F	G	H	H ₂	I	I ₂	J	K	L	M	P	R	d
130x145	160	130	145	18 27	22-27-36 46-56	50 60 70	18 27	79	119	104	104	75	24 34 44	12	14	18 27	26	12
145x195	175	145	195	22 27	22-27-36 46-56-66-76	50 60 70	22 27	117	165	119	115	90	22 32 42	12	16	22 27	26	16
175x175	210	175	175	22 27	22-27-36 46-56-66 76-96	50 70 90	22 27	90	140	149	140	120 100	20 40 60	12	18	22 27	26 36	16
175x260	210	175	260	22 32	22-27-36 46-56-66 76-96	50 70 90	22 32	176	225	149	140	122 102	20 40 60	12	18	22 32	26 36	16
175x360	210	175	360	22 32	22-27-36 46-56-66-76	60 70 90	22 32	264	320	149	135	122 102	30 40 60	12	18	22 32	26 36	18
196x196	246	196	196	22 27	22-27-36 46-56-66 76-96	46 56 76	22 27	100	152	154	154	118	17 27 47	12	17	27 36	38	18
196x296	246	196	296	27 36	22-27-36 46-56-66 76-96	56 76 96	27 36	186	244	150	150	108	27 47 67	12	17	36	43	22
196x346	246	196	346	27 36	22-27-36 46-56-66 76-96	56 76 96	27 36	236	294	150	150	108	27 47 67	12	17	36	43	22
196x396	246	196	396	36	27-36-46 56-66-76-96	56 76 96	36	274	344	144	144	108	17 37 57	17	22	36	43	22
215x215	250	215	215	22 32	22-27-36 46-56-66 76-96	50 70 90	22 32	130	180	183	180	148 128	20 40 60	12	18	22 32	32 42	16

Ilustración 48. Moldes prefabricados VAP S.A.

Fuente: Catálogo moldes prefabricados VAP S.A.

6.1.1 Modelado del cuerpo

Comenzando con el modelado de las placas, se le asigna nombre a cada una de ellas:

- **C**, *placa fija base*.
- **PP**, *placa sufridera fija*.
- **D**, *placa figura fija*.
- **N**, *placa figura móvil*.
- **P**, *placa sufridera móvil*.
- **F**, *reglas*.
- **L**, *placa expulsora superior*.
- **M**, *placa expulsora inferior*.
- **G**, *placa móvil base*.

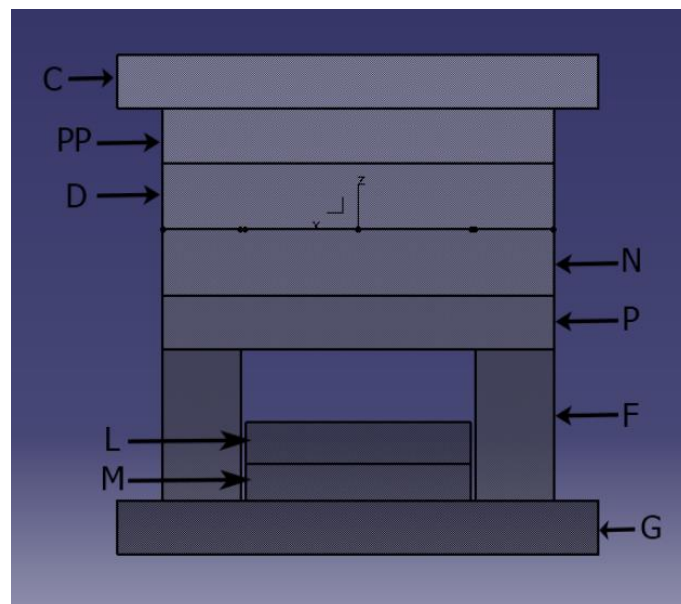


Ilustración 49. Nomenclatura de las placas.

Para que este proceso resulte más sencillo, se realiza un sketch que contendrá los planos tanto de las placas que coinciden, así como las dimensiones de tornillos y de las guías.

Estas dimensiones son parametrizadas, utilizando tablas Excel, para conseguir, al cambiar la configuración de este plano, modificar todos los elementos que contengan estos parámetros.

Por lo tanto, el *plano base* quedará de la siguiente forma:

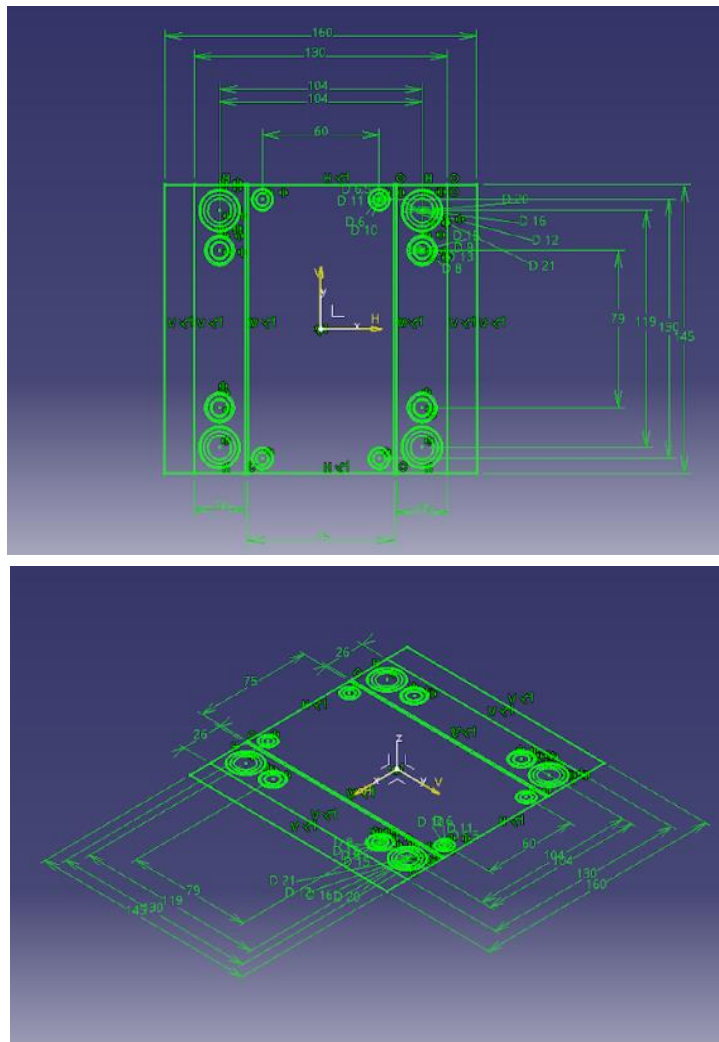


Ilustración 50. Plano base.

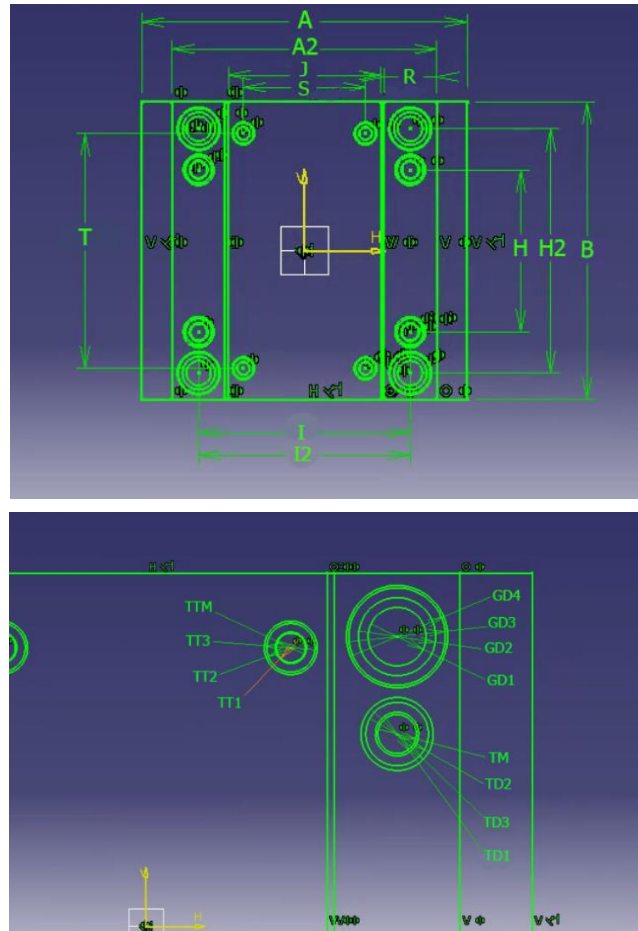


Ilustración 51. Parámetros plano base

A continuación, a través de la herramienta *formula*, se definen las anteriores dimensiones y a su asignación mediante *add formula*.

Para introducir los diferentes valores que proporciona el catálogo, se selecciona la herramienta *desing table* y se seleccionan los parámetros anteriores, creando así una tabla en Excel, la cual es modificable para posteriormente seleccionar los valores que interese.

Se realizarán dos *product*, uno para las placas fijas y otro para las placas móviles. Dentro de cada uno de ellos se diseñarán las placas que conforman cada conjunto.

Dentro de las placas fijas se encuentran placa fija base (C), la placa sufridera fija (PP) y la placa figura fija (D).

Los espesores de las placas se parametrizarán independientemente del plano base, teniendo así cada placa una tabla individual con su espesor, por ejemplo:

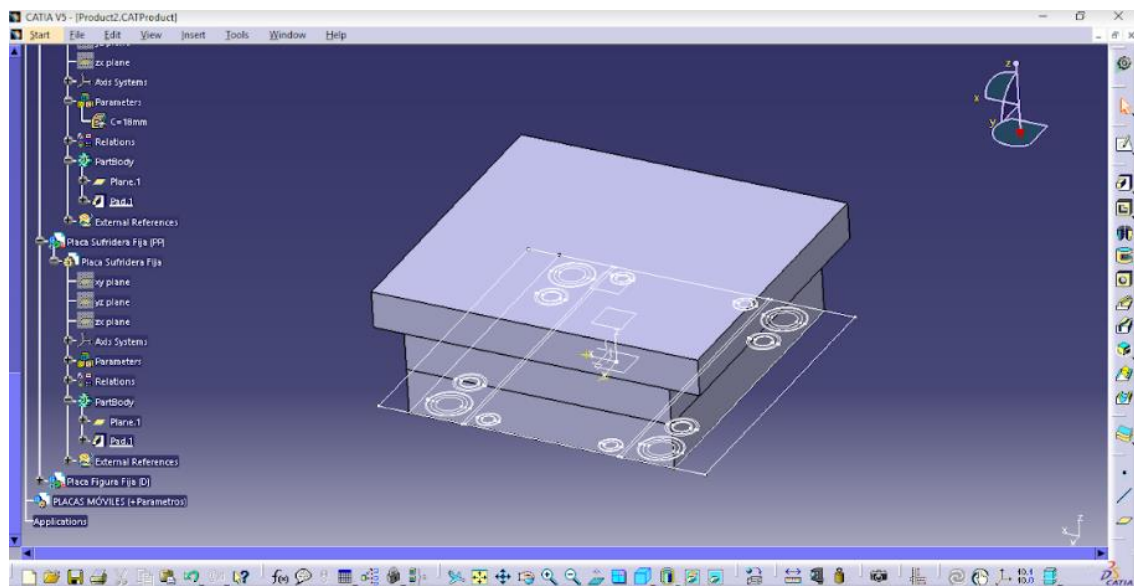


Ilustración 52. Placas fijas.

Siguiendo el mismo proceso, se modelan las placas que constituyen las placas móviles, teniendo la placa figura móvil (N), la placa sufridera móvil (P), las reglas (F), la placa expulsora superior (L), la placa expulsora inferior (M) y la placa móvil base (G).

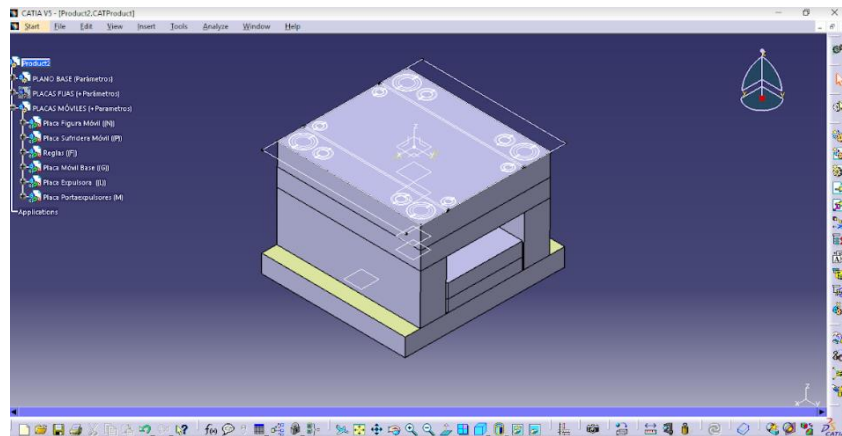


Ilustración 53. Placas móviles

De este modo se obtiene el cuerpo parametrizado del molde.

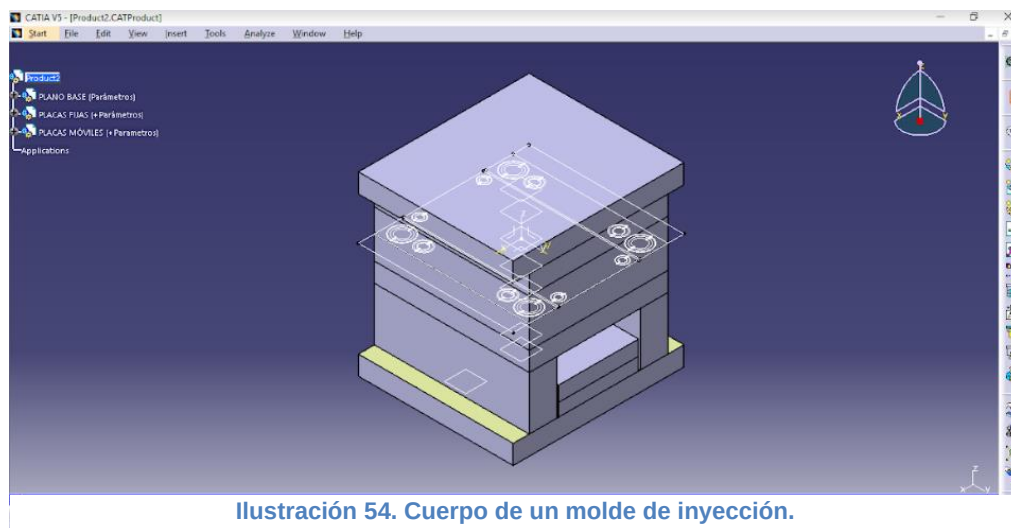


Ilustración 54. Cuerpo de un molde de inyección.

6.1.2 Modelado de elementos

Una vez diseñado el cuerpo del molde, se introducen el resto de elementos que lo conforman, es decir, el anillo centrador, el bebedero, los tornillos (tanto las espigas como los tornillos cortos de las placas expulsoras), los casquillos y guías.

6.1.2.1 Incorporación del anillo centrador

Se realiza el sketch y se procede a parametrizar las dimensiones independientes al armazón del bloque

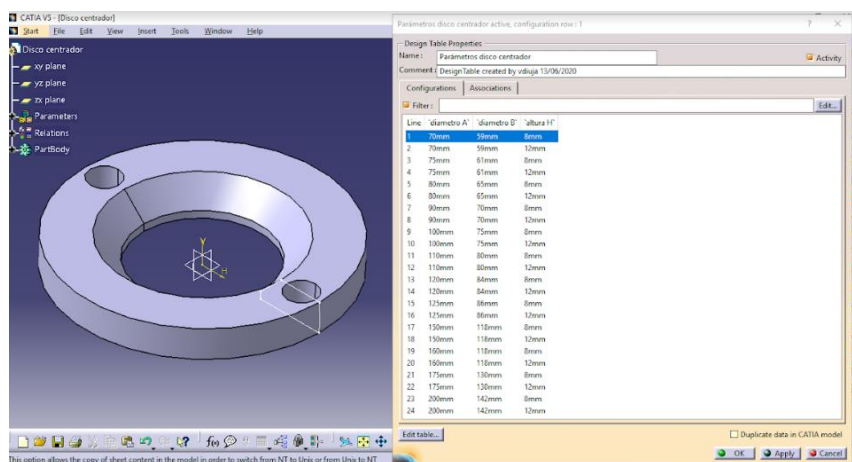
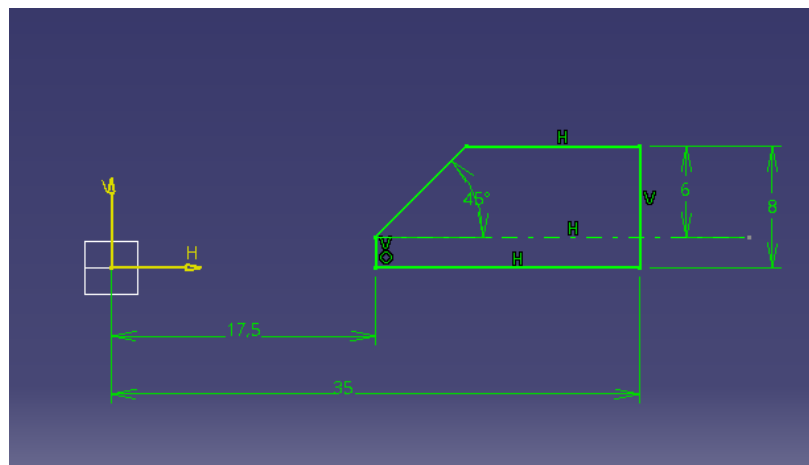


Ilustración 55. Pad anillo centrador.

6.1.2.2 Bebedero

En estos casos, se deben realizar dos cuerpos, uno será el bebedero y otro se denominará *Drill Hole* que servirá para realizar el orificio en las placas que albergará el bebedero.

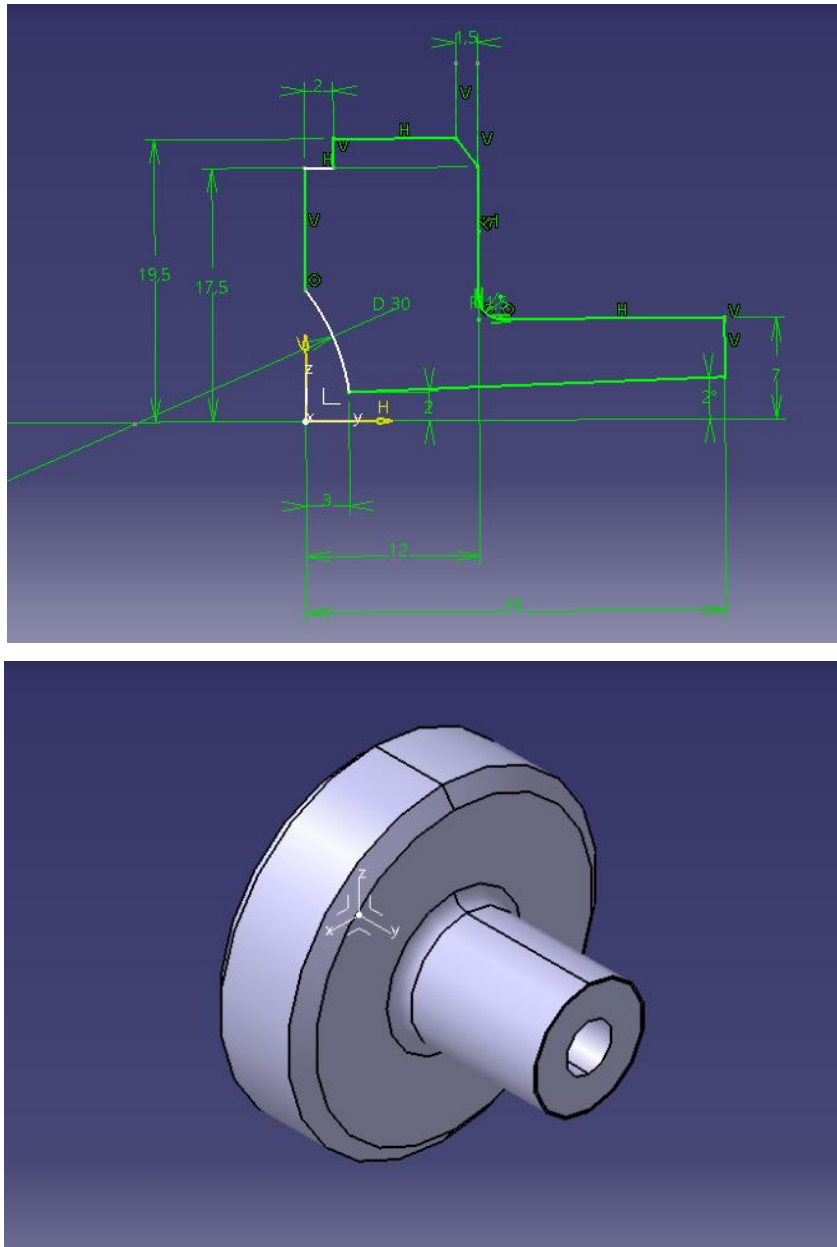


Ilustración 56. Anillo centrador.

6.1.2.3 Casquillo y guías

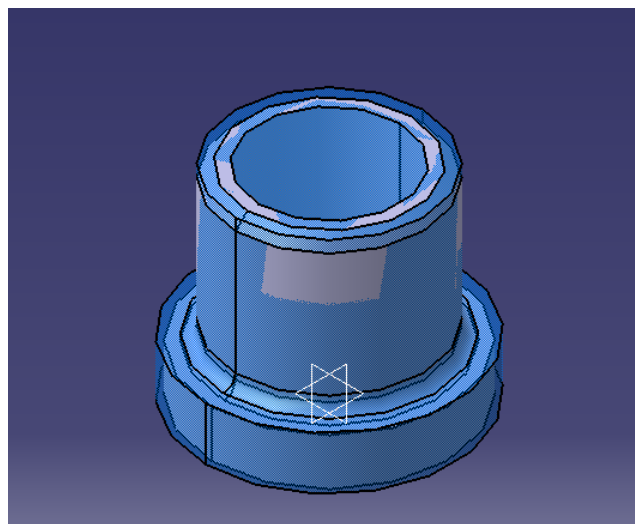
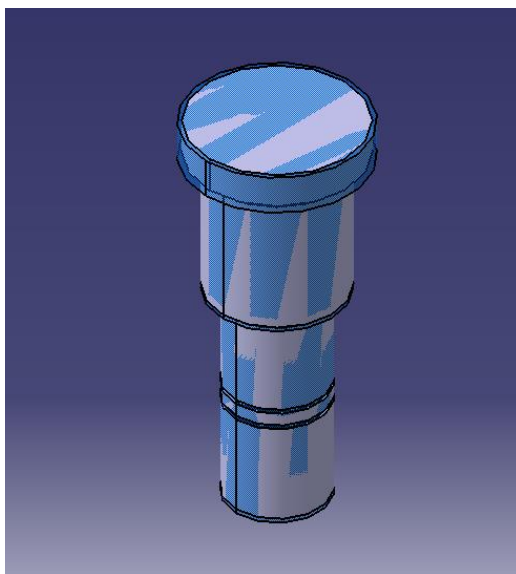
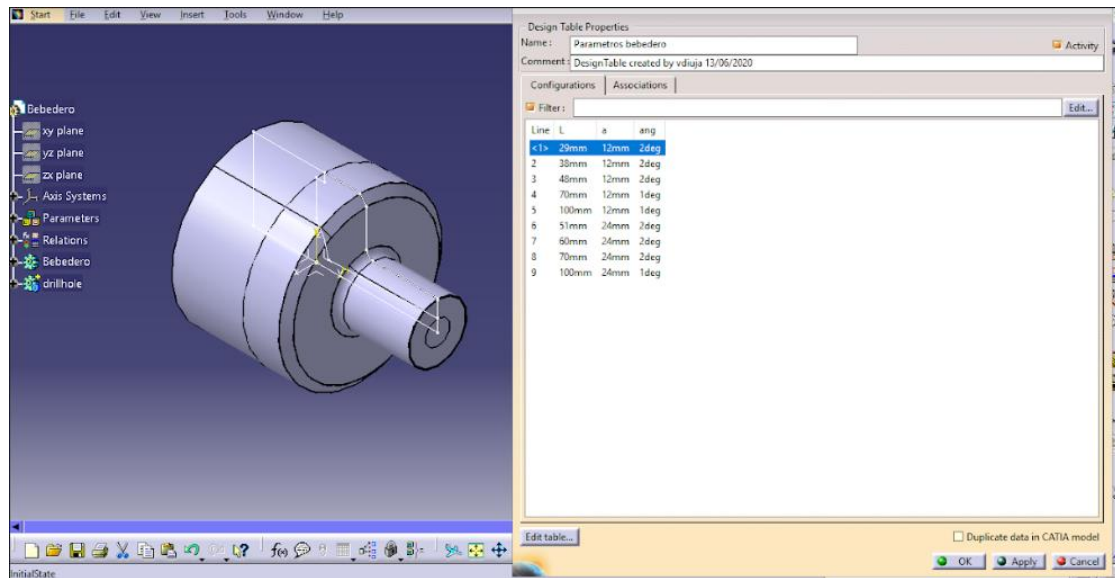


Ilustración 57. Casquillos y guías.

6.1.2.4 *Espigas expulsoras*

Se encuentran dos tipos de espigas, unas más cortas que se situarán en las placas fijas y unas más largas para las placas móviles.

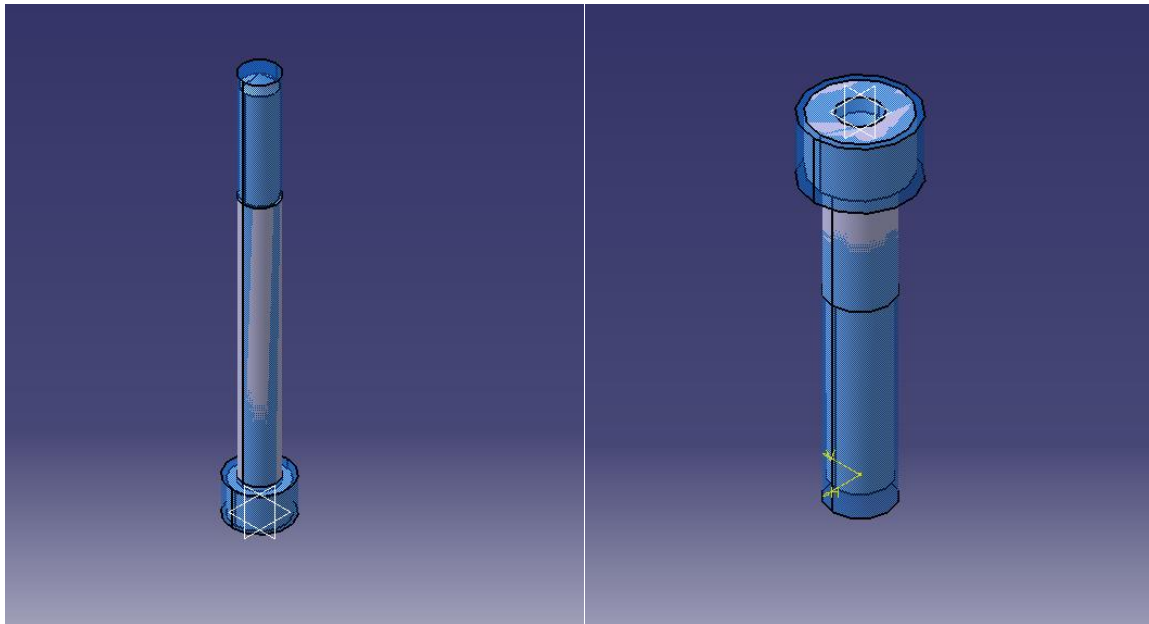


Ilustración 58. Espigas expulsoras.

6.1.2.5 *Tornillos placas expulsoras*

Finalmente, el último elemento que conforma el molde será el tornillo perteneciente a las placas expulsoras.



Ilustración 59. Tornillos espigas expulsoras.

6.1.3 Incorporación de elementos.

Una vez diseñado los elementos anteriores, se procede a la incorporación en el cuerpo del molde mediante la herramienta *existing component*, utilizando restricciones (*constraints*) para situarlos y simetría (*symmetry*) para los componentes múltiples (tornillos y guías).

Una vez introducidos, se le asignan los parámetros que se han definido en el plano base para que al igual que las placas, cuando se modifiquen estos valores, cambien los elementos por igual.

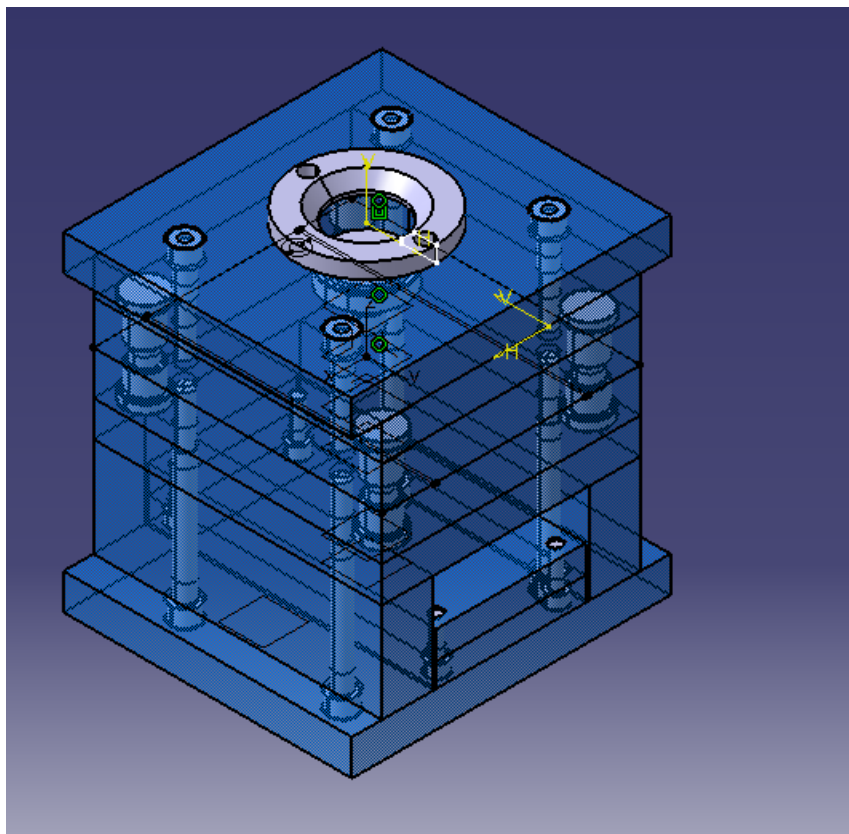


Ilustración 60. Armazón molde de inyección.

Donde la tabla final con los parámetros del armazón quedará de la siguiente manera. Así queda parametrizado el molde de inyección.

	PARÁMETROS EN PLANTA											GUÍAS Y CASQUILLOS						TORNILLOS LARGOS						TORNILLOS EXPULSORAS					
TIPO	A	A2	B	H	H2	I	I2	J	R	S	T	GD1	GD2	GD3	GD4	GC	GCa	TD1	TD2	TD3	TM	Tca	TC	TTD1	TTD2	TTD3	TTM	TTCa	TTC
130x145	160	130	145	79	119	104	104	75	26	60	130	12	16	20	21	4,5	4	9	15	13	8	8	9	6,5	11	10	6	6	7
145x195	175	145	195	117	165	119	115	90	26	70	175	16	24	25	4,5	4,5	4	11	18	16	10	10	11	9	15	13	8	8	9
175x175	210	175	175	90	140	149	140	120	26	100	155	16	20	24	25	4,5	4	11	18	16	10	10	11	9	15	13	8	8	9
175x260	210	175	260	176	225	149	140	122	26	105	105	16	20	24	25	4,5	4	11	18	16	10	10	11	9	15	13	8	8	9
175x360	210	175	360	264	320	149	135	122	26	105	105	18	25	30	31	6,5	6	11	18	16	10	10	11	9	15	13	8	8	9
196x196	246	196	196	100	152	154	154	118	38	96	132	18	25	30	31	6,5	6	11	18	16	10	10	11	9	15	13	8	8	9
196x296	246	196	296	186	244	150	150	108	43	90	230	22	30	35	36	6,5	6	13,5	20	18	12	12	13	9	15	13	8	8	9
196x346	246	196	346	263	294	150	150	108	43	90	280	22	30	35	36	6,5	6	13,5	20	18	12	12	13	9	15	13	8	8	9
196x396	246	196	396	274	344	144	144	108	43	90	330	22	30	35	36	6,5	6	13,5	20	18	12	12	13	9	15	13	8	8	9
215x215	250	215	215	130	180	183	180	148	32	128	195	22	30	35	36	6,5	6	11	18	16	10	10	11	9	15	13	8	8	9
215x295	250	215	295	202	255	183	175	148	32	128	275	18	25	30	31	6,5	6	11	18	16	10	10	11	9	15	13	8	8	9
245x245	280	245	245	148	203	209	203	170	36	150	225	18	25	30	31	6,5	6	11	18	16	10	10	11	9	15	13	8	8	9
245x360	280	245	360	260	318	209	203	170	36	150	340	18	25	30	31	6,5	6	11	18	16	10	10	11	9	15	13	8	8	9
246x246	296	246	246	130	200	200	200	158	43	130	180	22	30	35	36	6,5	6	13,5	20	18	12	12	13	9	15	13	8	8	9
246x296	296	246	296	186	244	200	200	158	43	130	230	22	30	35	36	6,5	6	13,5	20	18	12	12	13	9	15	13	8	8	9
246x346	296	246	346	224	294	194	194	158	43	136	286	22	30	35	36	6,5	6	13,5	20	18	12	12	13	9	15	13	8	8	9
246x396	296	246	396	284	340	198	198	150	47	122	330	22	30	35	36	6,5	6	13,5	20	18	12	12	13	9	15	13	8	8	9
295x450	340	295	450	320	395	259	240	220	36	192	422	22	30	35	36	6,5	6	13,5	20	18	12	12	13	11	18	16	10	10	11
296x296	346	296	296	186	244	250	250	208	43	180	230	22	30	35	36	6,5	6	13,5	20	18	12	12	13	9	15	13	8	8	9
296x346	346	296	346	224	294	244	244	208	43	186	286	22	30	35	36	6,5	6	13,5	20	18	12	12	13	9	15	13	8	8	9
296x396	346	296	396	284	340	248	248	200	47	176	330	22	30	35	36	6,5	6	13,5	20	18	12	12	13	9	15	13	8	8	9
296x446	346	296	446	324	394	244	244	208	43	184	380	22	30	35	36	6,5	6	13,5	20	18	12	12	13	9	15	13	8	8	9
345x550	395	345	550	405	485	299	280	248	46	220	522	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11
346x346	396	346	346	224	294	294	294	25	66	236	286	22	30	35	36	6,5	6	13,5	20	18	12	12	13	9	15	13	8	8	9
346x396	396	346	396	230	316	274	274	218	43	190	320	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11
346x446	396	346	446	280	374	274	274	218	62	186	364	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11
346x546	396	346	546	380	474	274	274	218	62	190	470	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11
346x596	396	346	596	430	524	274	274	218	62	190	520	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11
396x396	496	396	396	230	324	324	324	268	62	236	314	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11
396x496	496	396	496	330	424	324	324	268	62	240	414	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11
396x596	496	396	596	430	524	324	324	268	62	240	514	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11
396x696	496	396	696	530	624	324	324	268	62	240	614	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11
446x446	546	446	446	280	374	374	374	318	62	286	364	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11
446x596	546	446	596	430	524	374	374	318	62	283	514	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11
446x696	546	446	696	530	624	374	374	318	62	286	614	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11
496x496	596	496	496	330	424	424	424	368	62	336	414	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11
496x596	596	496	596	430	524	424	424	368	62	336	514	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11
496x696	596	496	696	530	624	424	424	368	62	336	614	30	40	45	46	8,5	8	17,5	26	24	16	16	17	11	18	16	10	10	11

Ilustración 61. Tabla final con parámetros.

6.2 MODELADO DE LA PIEZA

Una vez diseñado el armazón del molde, se introducen las cavidades, el sistema de refrigeración y de llenado para completarlo.

Para ello, se procede al diseño la siguiente pieza, útil que va a servir para la apertura y cierre de ventanas y puertas y a su vez para pulsar botones e interruptores sin necesidad de hacer un contacto directo, que va a reducir así la posibilidad de contagio debido a contactos indirectos con objetos o superficies contaminadas con el virus en la actividad diaria.

Esta será fabricada con un polímero de alta resistencia (HDPE), debido a que es un material resistente a productos químicos, situación a la que estará sometida la pieza constantemente para su desinfección. Además es uno de los materiales plásticos más fáciles de reciclar, convirtiéndolo en una solución ideal para mejorar la sostenibilidad.

Para que este plástico sea antimicrobiano, se introduce un aditivo cuyo ingrediente activo principal va a ser el ión de plata.

Este metal es un material poco estable, que tiende a desprender iones. Cuando entra en contacto con las bacterias, que son ácidas, provoca que la plata descargue iones, frenando así las funciones de la bacteria.

La geometría de la pieza es sencilla, constando de un gancho para abrir y cerrar puertas y ventanas, una parte para poder pulsar interruptores y botones con facilidad y dos agujeros, uno para poder cogerlo y otro más pequeño para poder añadirlo a un llavero o a una cuerda para un mejor transporte.

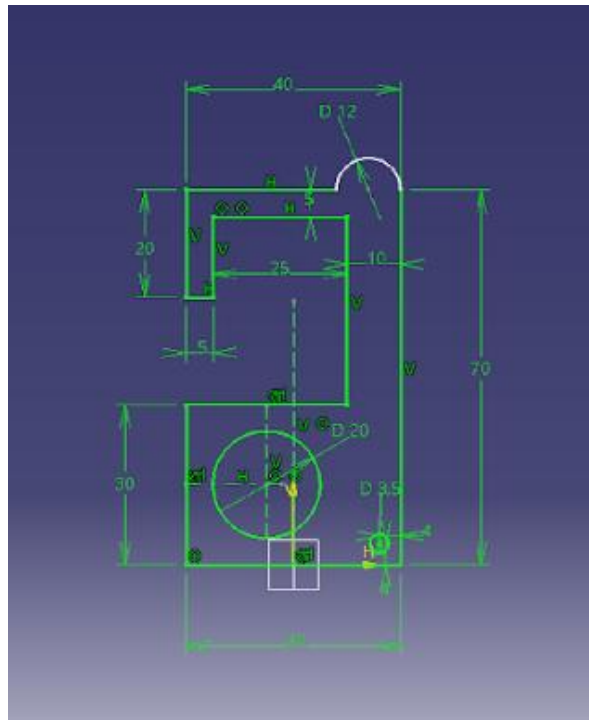


Ilustración 62. Sketch pieza.

6.3. Análisis de cavidades

Tras cambiar su formato a .stl, se introduce la pieza en MoldFlow.

Se va a exponer el desarrollo del análisis para un caso genérico, metodología que servirá para obtener los resultados en diferentes casos propuestos.

En primer lugar, se estudia la posición del punto de inyección. A través del *asistente de análisis*, seleccionando *posición de la entrada* proporciona las coordenadas del punto más conveniente para inyectar el material.



Ilustración 63. Pieza renderizada.

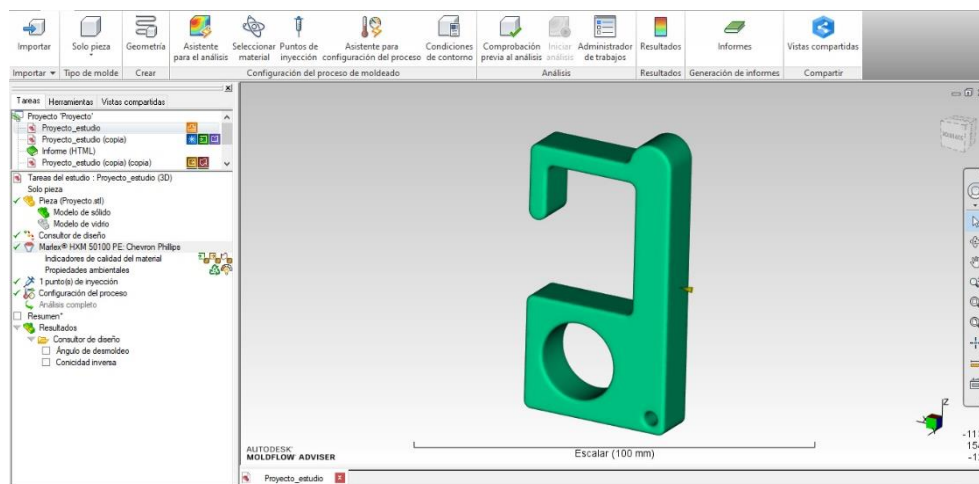


Ilustración 64. Posición del punto de inyección.

Tras esto, se selecciona el material más conveniente en la lista que proporciona el programa, dependiendo de las características que se quieran tener durante proceso y en la pieza final.

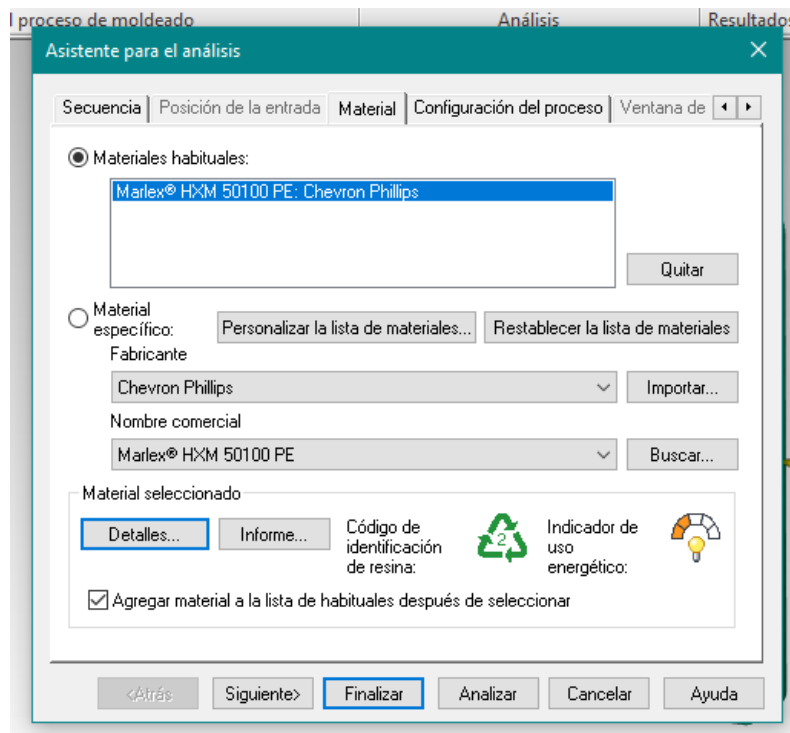


Ilustración 65. Elección del material.

6.3.1. Cálculos

Tras realizar el análisis de llenado, nos ofrece los tiempos de ciclo para cada una de las piezas.

Como se explica en el punto 5.2.6.1, el ciclo de moldeo consta de los siguientes tiempos:

$$TCiclo = T_{inyección} + T_{compactación} + T_{refrigeración} + T_{apertura y cierre del molde}$$

Ecuación 1. Tiempo de ciclo.

La Ecuación 2 proporciona el número de cavidades que conformará el molde en función del volumen de producción, así como del tiempo usado para realizar el proceso y el tiempo de ciclo.

$$N_{cavidades} = \frac{V}{\frac{\sum_{i=1}^n M_i}{C}}$$

Ecuación 2. Número de cavidades.

Una vez diseñada la distribución de las cavidades, se introducirán los canales de refrigeración y alimentación, los cuales se establecen de forma automática en el programa.

La geometría más favorable del armazón del molde, se puede obtener realizando los siguientes cálculos:

$$h_x = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot \gamma_s \cdot P_{cav} \cdot L_x^4}{384 \cdot E \cdot \delta_{mx}}}$$

$$h_y = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot \gamma_s \cdot P_{cav} \cdot L_y^4}{384 \cdot E \cdot \delta_{mx}}}$$

Ecuación 3. Distancia entre cavidades.

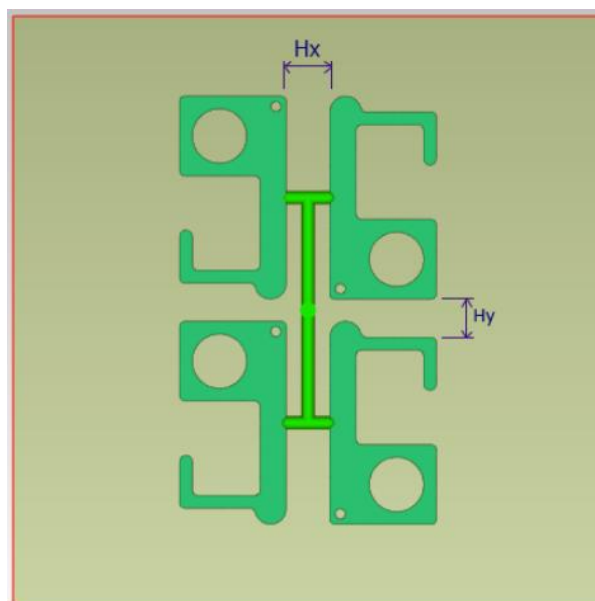


Ilustración 66. Distancia entre cavidades.

Para obtener la separación entre piezas.

$$B_x = 2 \cdot L_x + (1 + N_{cav}) \cdot h_x$$

$$B_y = 2 \cdot L_y + (1 + N_{cav}) \cdot h_x$$

Ecuación 4. Dimensiones del molde.

Para obtener las dimensiones (que en el molde parametrizado coincidirán con los parámetros A2 y B) de las placas.

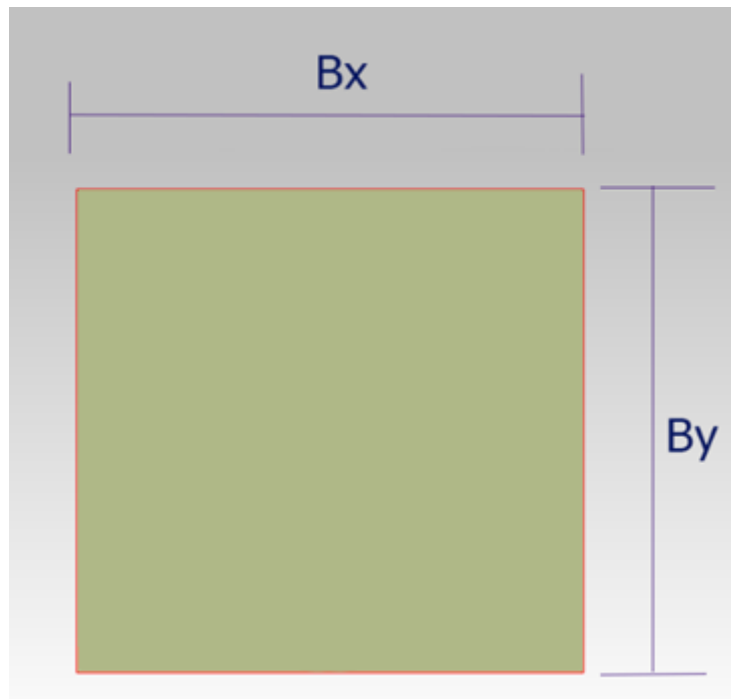


Ilustración 67. Dimensiones del molde.

Por último, se calcula el espesor de las placas:

$$\text{Espesor} = 40 + \text{profundidad de la pieza}$$

Ecuación 5. Espesor de las placas.

Una vez realizadas estas acciones, el molde está preparado para que se pueda realizar el análisis.

La realización de un análisis de llenado ayuda a predecir el flujo del polímero dentro del molde en la fase de llenado.

Este estudio calcula un frente de flujo que crece a través de la pieza incrementalmente desde el punto de inyección, o en este caso, los puntos de inyección hasta que se completa el llenado de las piezas y su posterior refrigeración hasta que se produce la expulsión de las mismas.

Proporciona muchos parámetros del proceso, como por ejemplo la varianza de la temperatura, el flujo de plástico, pérdida de presión, atrapamientos de aire, líneas de soldadura, entre muchos otros.

De entre todos estos análisis, van a interesar la calidad de refrigeración y la predicción de calidad de la pieza tras de llenado, ya que van a ser los parámetros que ayuden a decidir si este proceso y las dimensiones y geometría de la pieza son las adecuadas.

7. RESULTADOS

7.1. Caso 1

Para realizar el análisis de la pieza, se va a utilizar un polímero de alta resistencia HPDE, Chevron Phillips Marlex HXM 50100 PE, el cual tiene las siguientes características:

DENSIDAD	0.948 g/cm ³
ÍNDICE DE FLUIDEZ	10.0 g/10 min
RESISTENCIA A TRACCIÓN	25 MPa
INTERVALO DE FUSIÓN	90-140 °C

Tabla 1. Propiedades del material

Un análisis previo de llenado de la pieza, ofrece que el tiempo de ciclo obtenido en este caso es de 35.00 s.

Una empresa pide fabricar un total de 720 000 piezas al año.

Teniendo un turno de producción de 8 horas diarias, de lunes a viernes y sin trabajar los festivos, tenemos un total de 220 días al año de trabajo.

Con estos datos, se calcula el número de cavidades que se deberán de moldear por ciclo sustituyendo valores en la *Ecuación 2*.

Donde:

$$\sum_{i=1}^n M_i = 11 \text{ meses} \cdot 20 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \cdot 8 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{hora}} = 6336000 \text{ s}$$

Ecuación 6. Tiempo de producción.

$$N_{cavidades} = \frac{V}{\frac{\sum_{i=1}^n M_i}{C}} = \frac{720.000 \text{ piezas}}{\frac{6336000 \text{ s}}{35.00 \text{ s}}} = 3,97 \approx 4$$

Ecuación 7. Resultado número de cavidades (I)

Por lo tanto por cada ciclo, en un primer análisis a realizar un total de 4 piezas.

Tras esto se calcula la distancia entre piezas y las dimensiones de las placas.

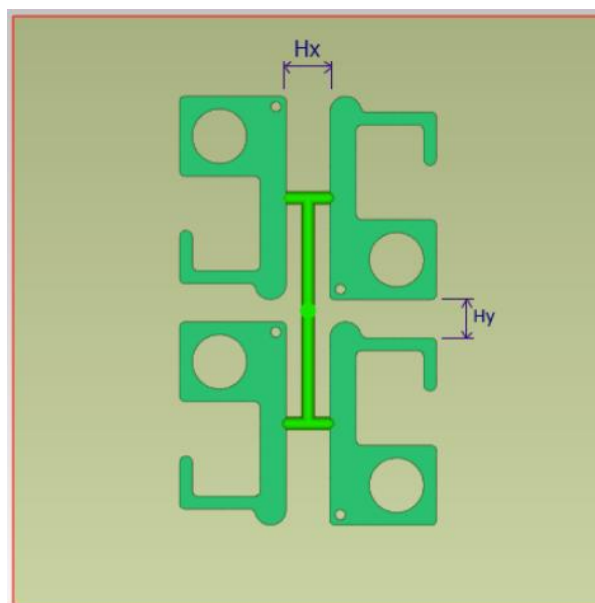


Ilustración 68. Distribución de cavidades.

$$h_x = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot \gamma_s \cdot P_{cav} \cdot L_x^4}{384 \cdot E \cdot \delta_{mx}}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 1,5 \cdot 44,236 \cdot 40^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,01}} = 13,62 \text{ mm}$$

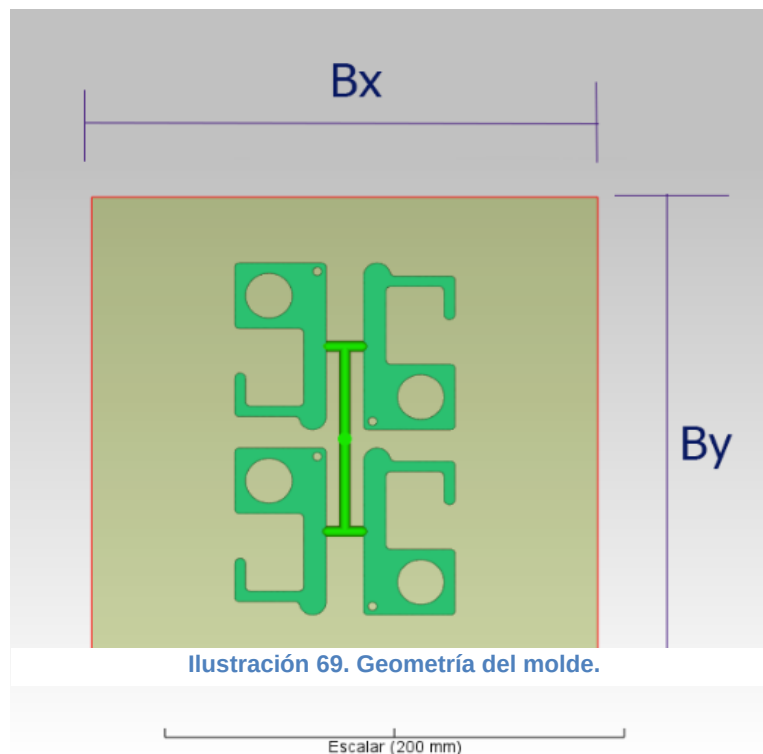
$$h_y = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot \gamma_s \cdot P_{cav} \cdot L_y^4}{384 \cdot E \cdot \delta_{mx}}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 1,5 \cdot 44,236 \cdot 76^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,01}} = 32,05 \text{ mm}$$

Ecuación 8. Separación entre cavidades

$$B_X = 2 \cdot L_x + (1 + N_{cav}) \cdot h_x = 2 \cdot 76 + (1 + 4) \cdot 13,62 = 220 \text{ mm} = A_2$$

$$B_y = 2 \cdot L_y + (1 + N_{cav}) \cdot h_y = 2 \cdot 40 + (1 + 4) \cdot 32,05 = 240,25 \text{ mm} = B$$

Ecuación 9. Dimensiones de las placas del molde I



$$\text{Espesor} = 40 + \text{profundidad de la pieza} = 40 + 12 = 52 \text{ mm}$$

Ecuación 10. Espesor de las placas del molde.

Según los moldes parametrizados que se han diseñado anteriormente y con los resultados obtenidos, se va a escoger el molde 245x245 (A2xB) con un espesor de 66 mm.

Queda el molde de la siguiente forma

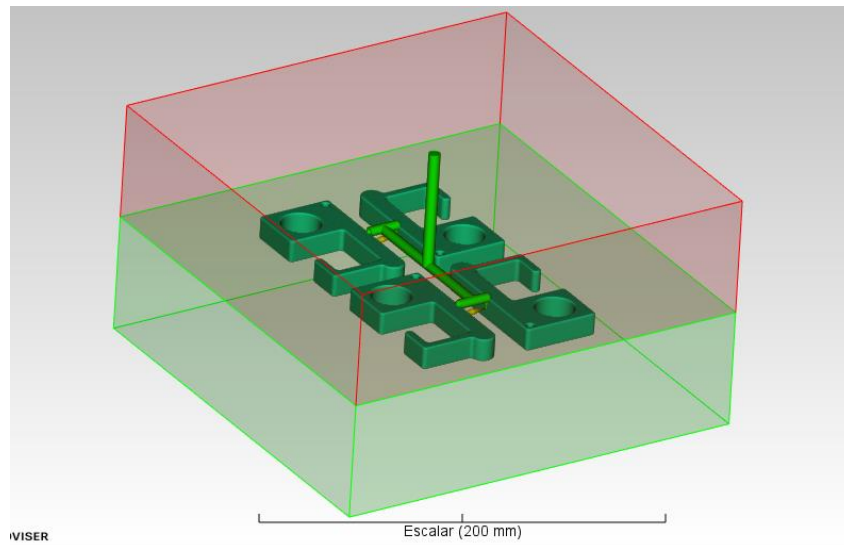


Ilustración 70. Molde caso I

Se añaden los canales de refrigeración, los cuales por defecto en MoldFlow, los introduce con una distribución rectilínea.

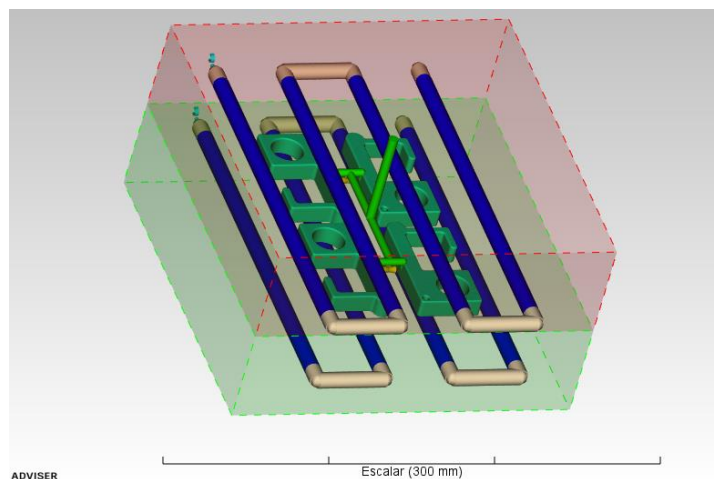


Ilustración 71. Canales de refrigeración.

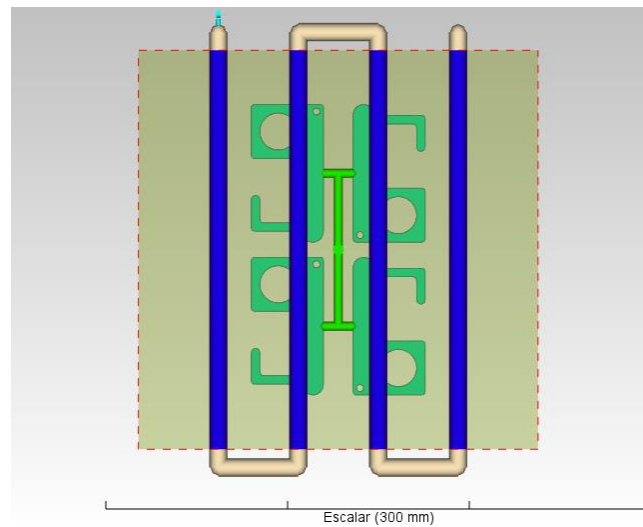


Ilustración 72. Canales de refrigeración.

Se obtiene tras realizar el análisis la calidad de refrigeración y una predicción de la calidad.

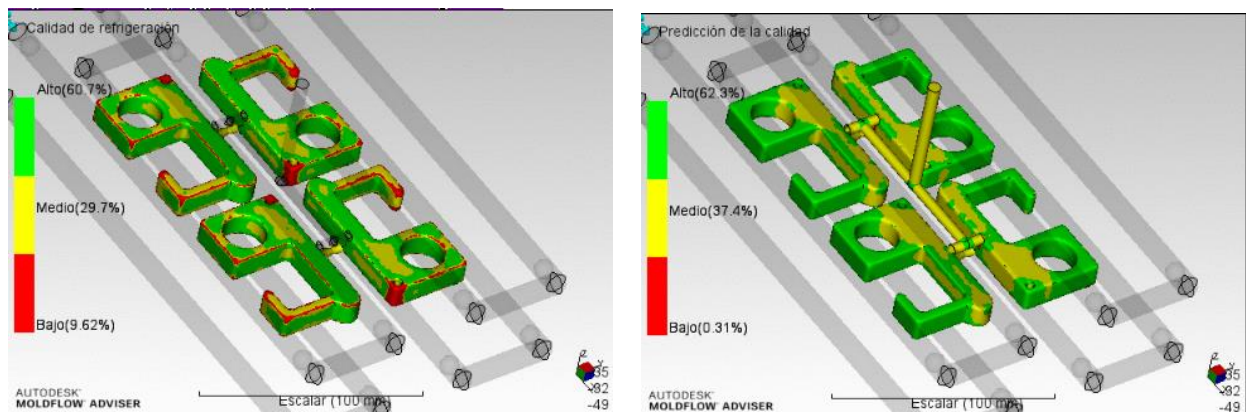


Ilustración 73. Análisis de refrigeración y calidad. Caso I

Se puede observar que la calidad de refrigeración en los bordes de la pieza es bastante pobre, lo que indica que una vez enfriadas las piezas, en esas zonas se aprecia un excedente de material no propio de la pieza, denominadas *rebabas* o, en su defecto, una falta de material, denominadas *cortas*, zonas en las que no se ha logrado llenar completamente de material el interior del molde.

Esto es debido a que se ha diseñado la pieza con un espesor mayor de lo necesario.

Para solucionar este problema, se va a reducir el espesor de la pieza y a volver a realizar el análisis.

De nuevo, en Catia, rediseñando la pieza con un espesor de 10 mm (la pieza anterior tenía un espesor de 12 mm):



Ilustración 74. Diseño de 10 mm de espesor.

Además, como se puede observar en la Ilustración 68. Distribución de cavidades., se ha realizado el análisis con una distribución antisimétrica de las piezas, lo cual también puede afectar en el análisis de estas.

Por lo tanto distribuyéndolas de forma simétrica, queda de la siguiente forma:

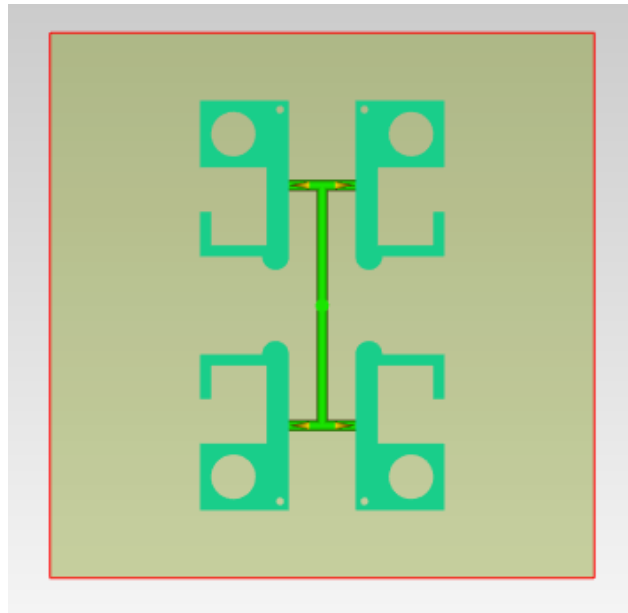


Ilustración 75. Distribución simétrica de la mejora.

Igualmente, introducimos los canales de refrigeración:

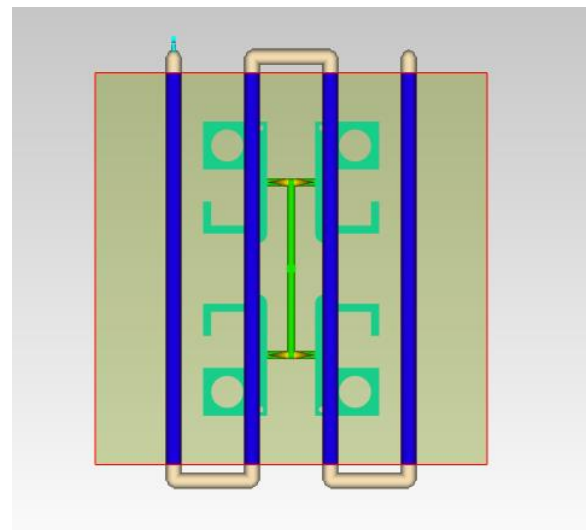
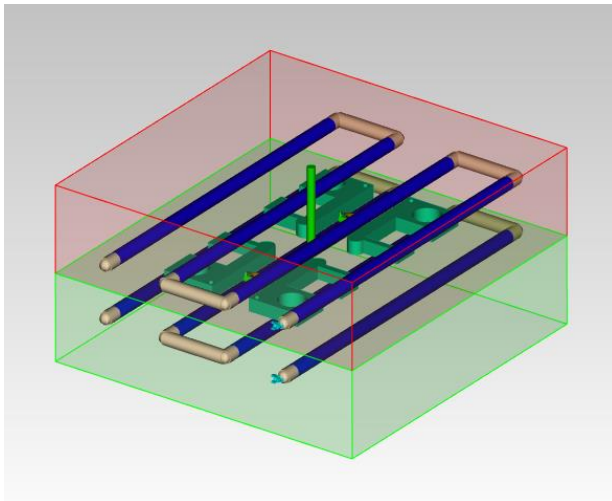


Ilustración 76. Canales de refrigeración de la mejora.

Realizando el análisis de la misma forma, se observa que aún con este espesor se sigue teniendo, en menos medida, una calidad baja en los bordes.

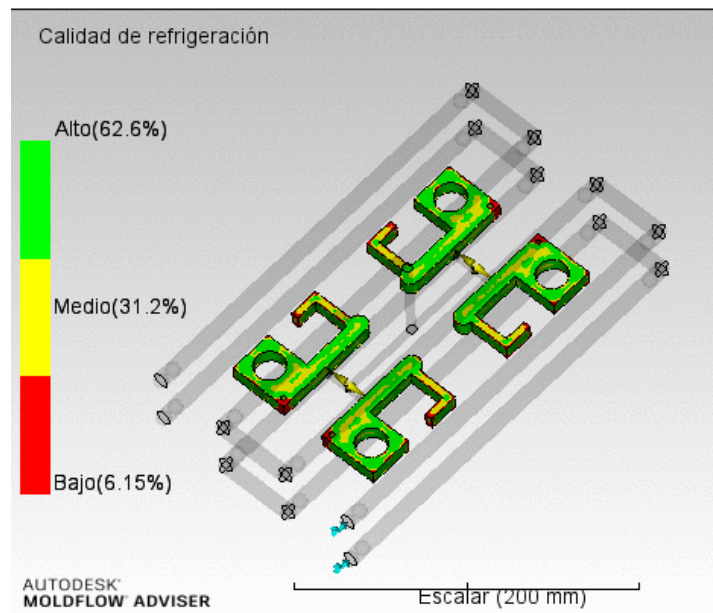


Ilustración 77. Calidad de refrigeración mejora

Se reduce de nuevo el espesor, obteniendo una pieza de 6 mm volviendo a repetir el proceso. En este caso, como se puede observar en las siguientes ilustraciones, el análisis de las piezas demuestra una buena calidad de estas tras el enfriamiento, pudiendo realizar así el proceso sin ninguna deformación final.



Ilustración 78. Pieza 6 mm de espesor.

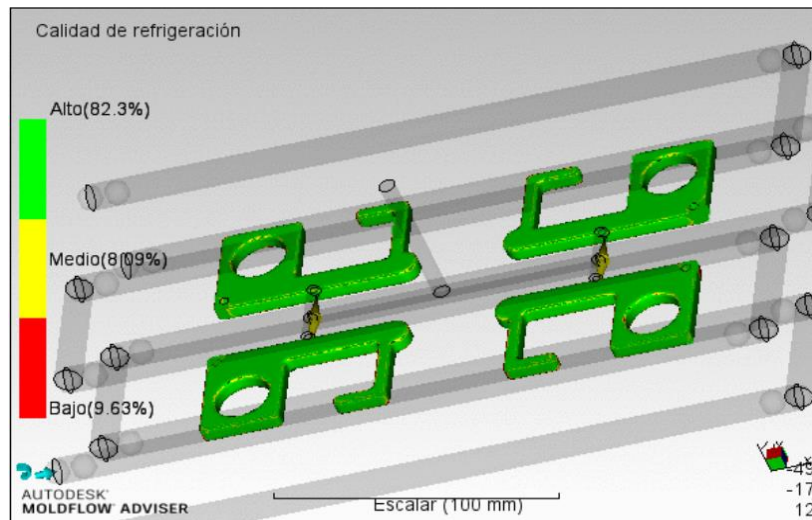


Ilustración 79. Calidad de refrigeración de la mejora

Tras esto, se procede a la introducción de las cavidades y los canales de estrangulamiento y enfriamiento en el molde parametrizado.

El diseño en Catia las cuatro cavidades:

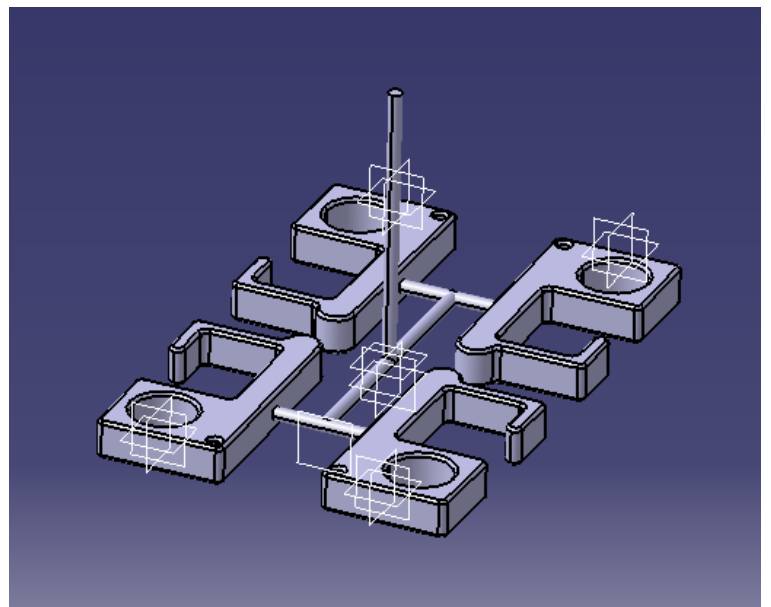
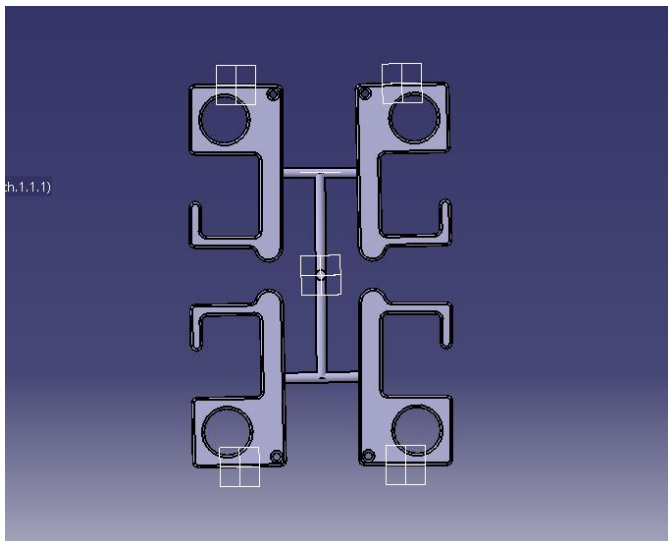


Ilustración 80. Diseño 1 en Catia- Caso 1

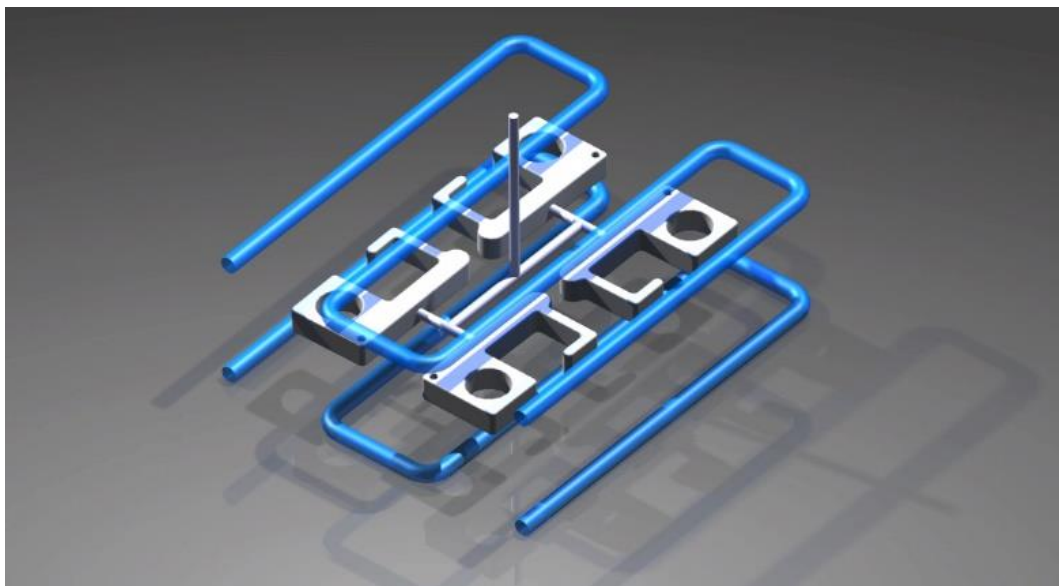
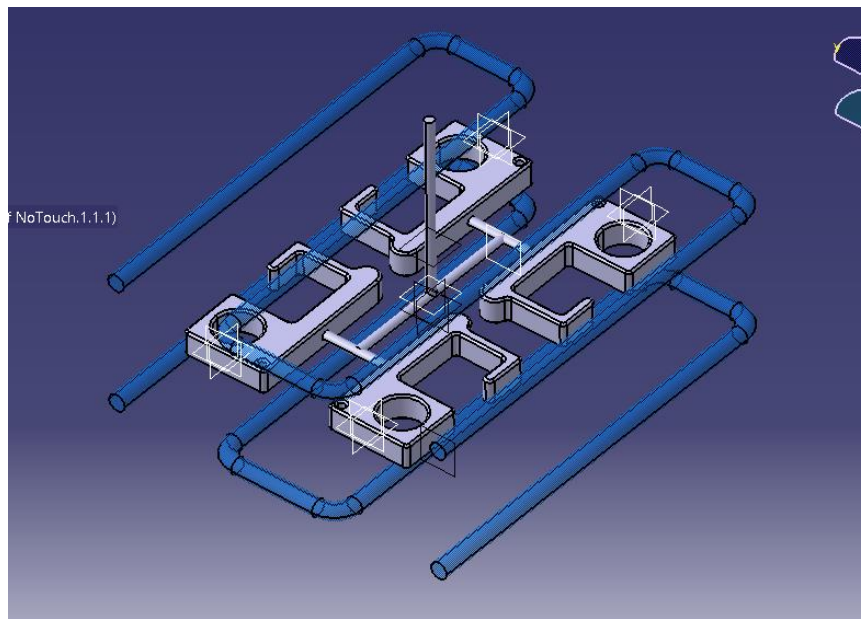


Ilustración 81. Diseño 2 en Catia. Caso 1

Se introduce el diseño en el molde de inyección, tras haber cambiado los valores de la tabla Excel, escogiendo un molde de 245x245.

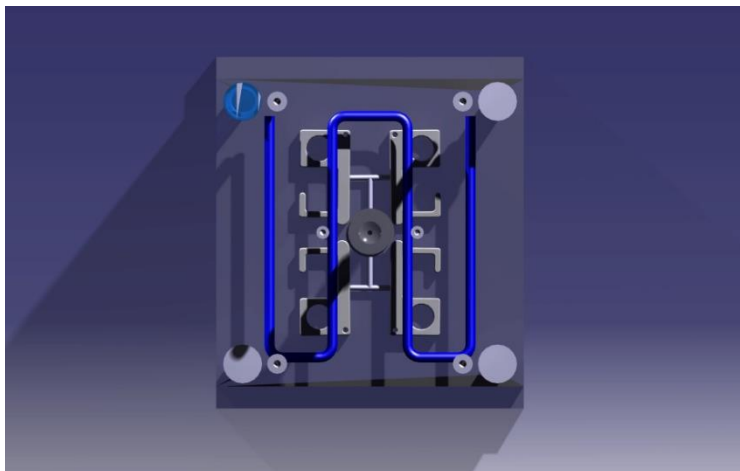
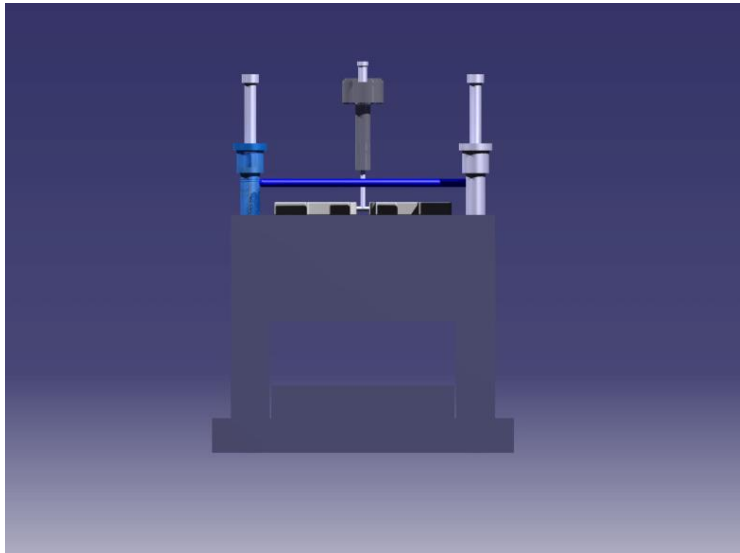
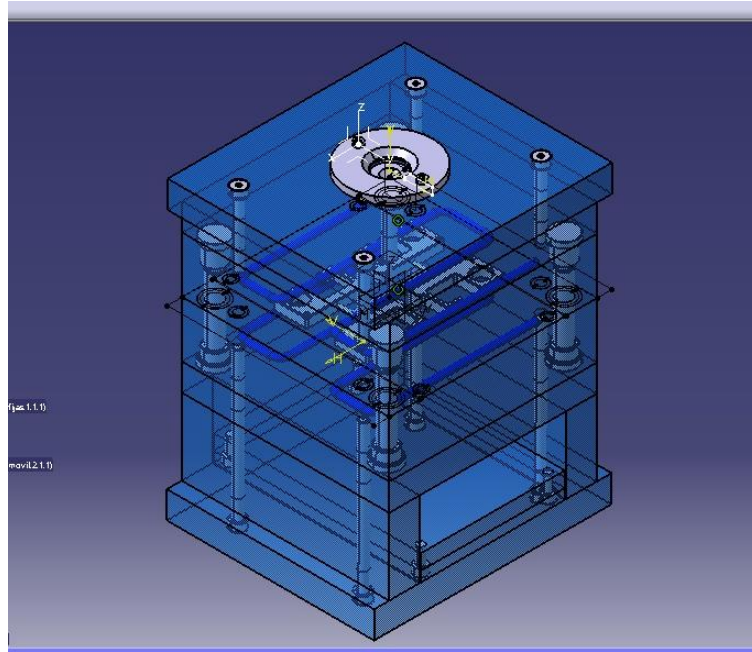


Ilustración 82. Molde completo caso 1

7.2. Caso 2

En este caso, la empresa pide un total de 400.000 piezas a realizar en un año.

Sustituyendo este valor en la ***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.***

$$N_{cavidades} = \frac{V}{\frac{\sum_{i=1}^n M_i}{C}} = \frac{400.000 \text{ piezas}}{\frac{6336000 \text{ s}}{35 \text{ s}}} = 1,89 \approx 2$$

Ecuación 11. Resultado número de cavidades (II).

$$B_x = 2 \cdot L_x + (1 + N_{cav}) \cdot h_x = 2 \cdot 76 + (1 + 2) \cdot 13,62 = 193 \text{ mm} = A2$$

$$B_y = 2 \cdot L_y + (1 + N_{cav}) \cdot h_x = 2 \cdot 40 + (1 + 2) \cdot 32,05 = 176.15 \text{ mm} = B$$

Ecuación 12. Dimensiones de las placas del molde (II).

$$Espesor = 40 + \text{profundidad de la pieza} = 40 + 6 = 46 \text{ mm}$$

Ecuación 13. Espesor de las placas del molde (II).

Según los moldes parametrizados que se han diseñado anteriormente y con los resultados obtenidos, se escoge el molde 196x196 (A2xB) con un espesor de 46 mm.

Se introducen los canales de refrigeración y se realiza el análisis de llenado, observando que se produce un correcto llenado y refrigeración.

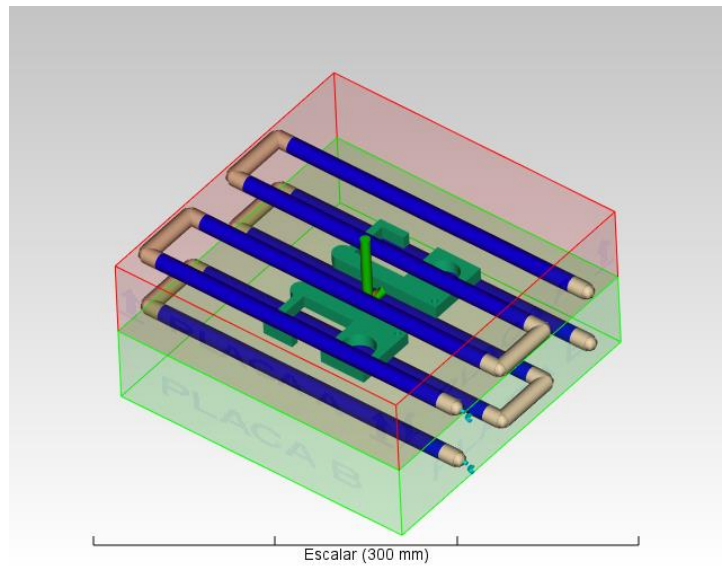
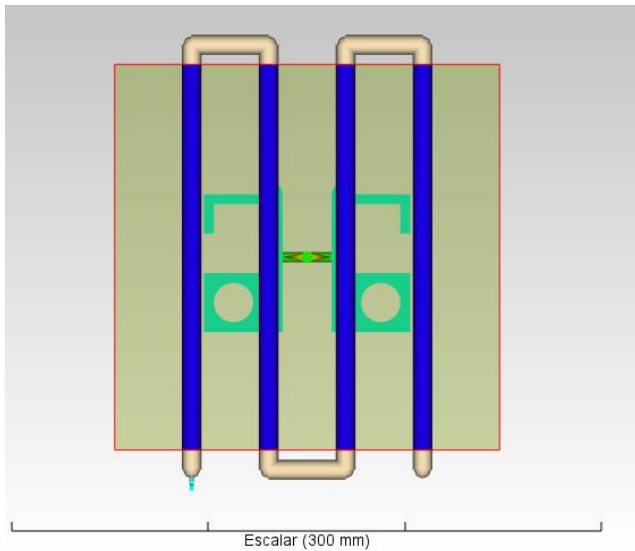


Ilustración 83. Canales de refrigeración para dos cavidades.

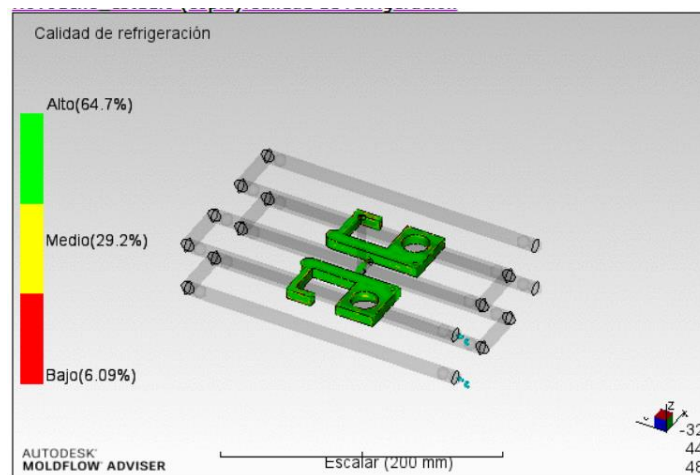


Ilustración 84. Análisis caso 2

Se introducen las cavidades y los canales de estrangulamiento y enfriamiento en el molde parametrizado diseñado para dos cavidades.

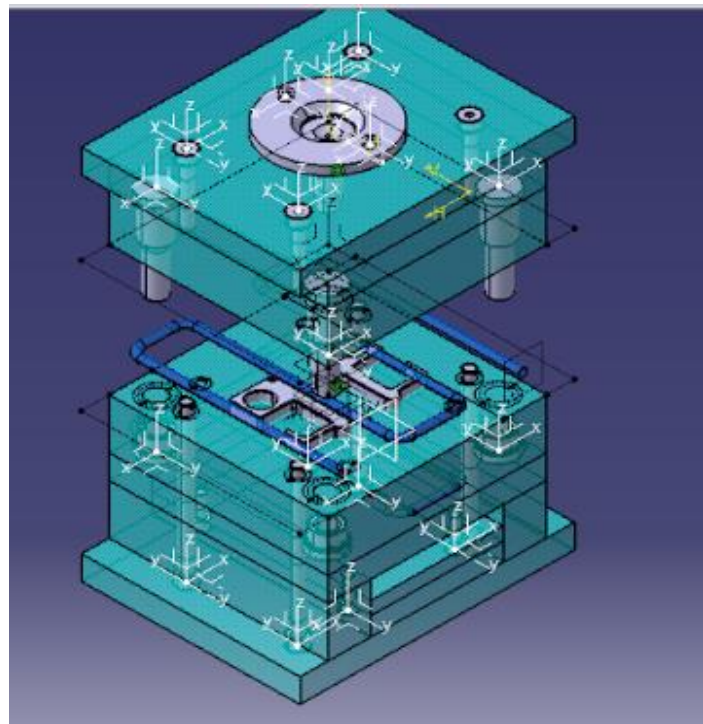
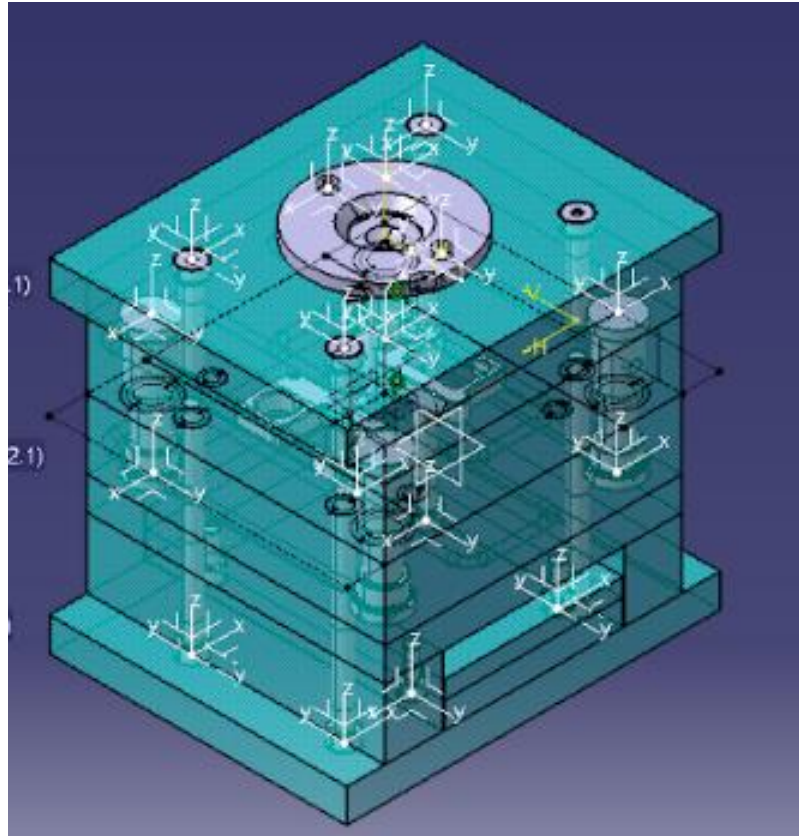


Ilustración 85. Molde completo caso 2

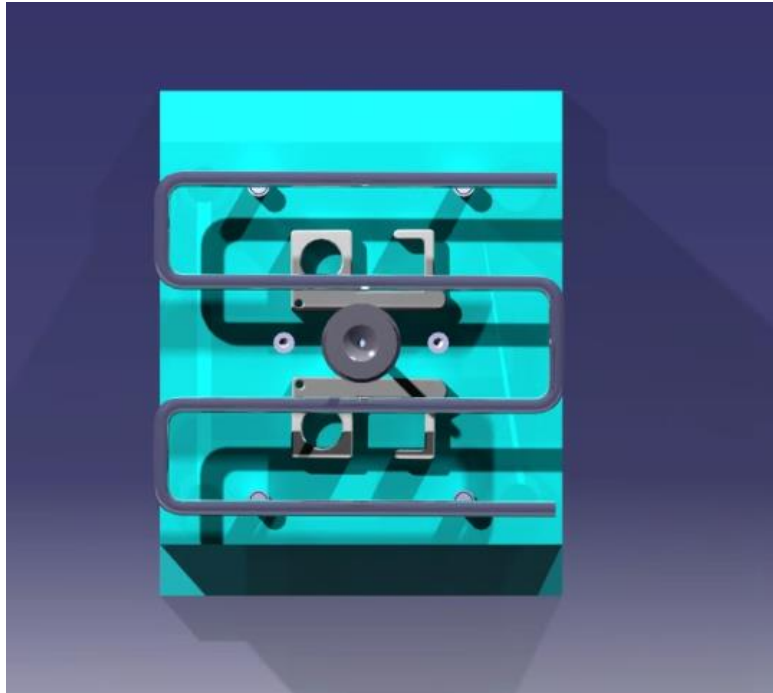


Ilustración 87. Molde completo caso 2

7.3. Caso 3

En este caso, la empresa pide un total de 1.000.000 piezas a realizar en un año.

$$N_{cavidades} = \frac{V}{\frac{\sum_{i=1}^n M_i}{C}} = \frac{1.000.000 \text{ piezas}}{\frac{6336000 \text{ s}}{35.00 \text{ s}}} = 5,67 \approx 6$$

Ecuación 14. Resultado número de cavidades (III).

$$B_x = 2 \cdot L_x + (1 + N_{cav}) \cdot h_x = 2 \cdot 76 + (1 + 6) \cdot 13,62 = 247 \text{ mm} = A2$$

$$B_y = 2 \cdot L_y + (1 + N_{cav}) \cdot h_x = 2 \cdot 40 + (1 + 6) \cdot 32,05 = 304.035 \text{ mm} = B$$

Ecuación 15. Dimensiones de las placas del molde (III).

$$\text{Espesor} = 40 + \text{profundidad de la pieza} = 40 + 6 = 46 \text{ mm}$$

Ecuación 16. Espesor de las placas del molde (III).

Según los moldes parametrizados que se han diseñado anteriormente y con los resultados obtenidos, se escofe el molde 246x346 (A2xB) con un espesor de 46 mm.

Escalón (500 mm)



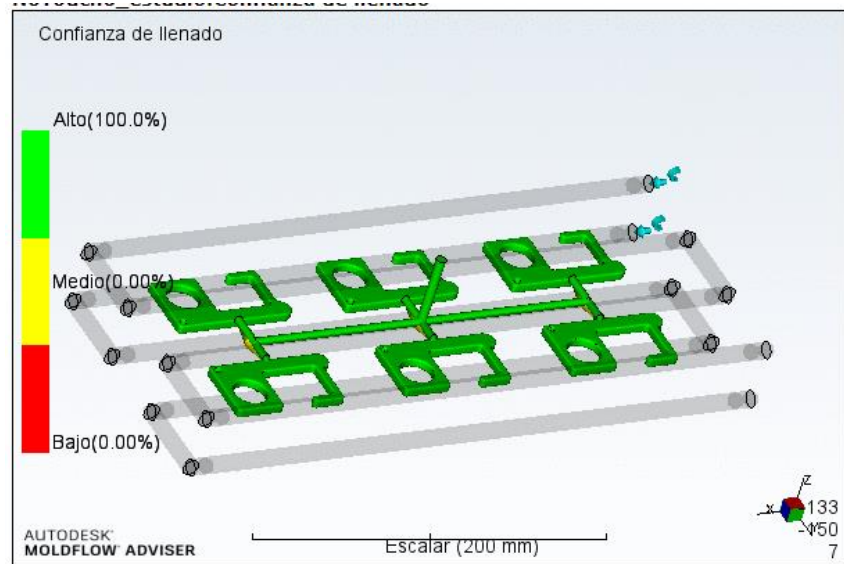
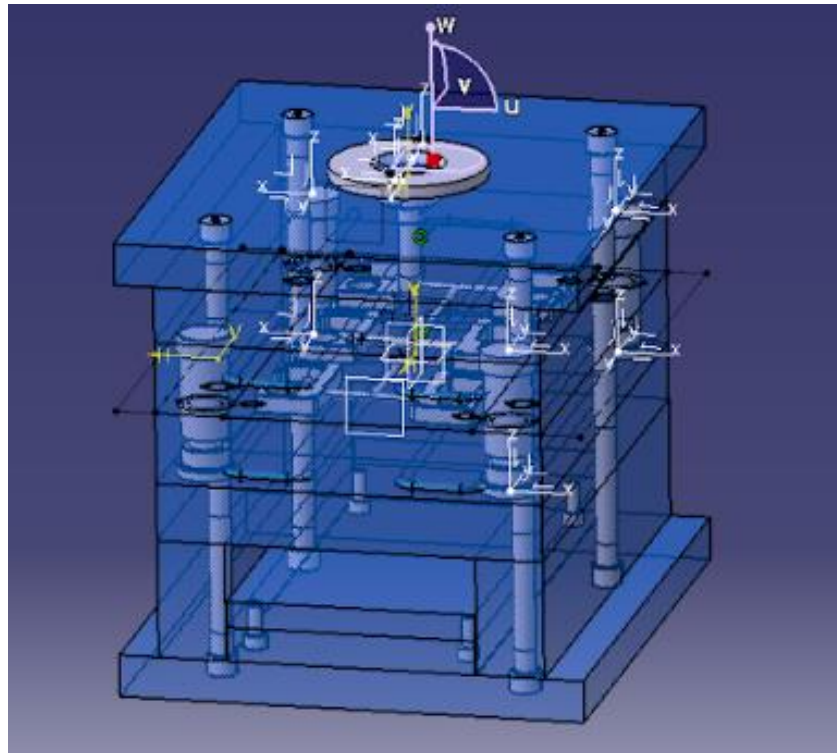


Ilustración 90. Confianza de llenado caso 3

Se introducen las cavidades y los canales de estrangulamiento y enfriamiento en el molde parametrizado diseñado para seis cavidades.



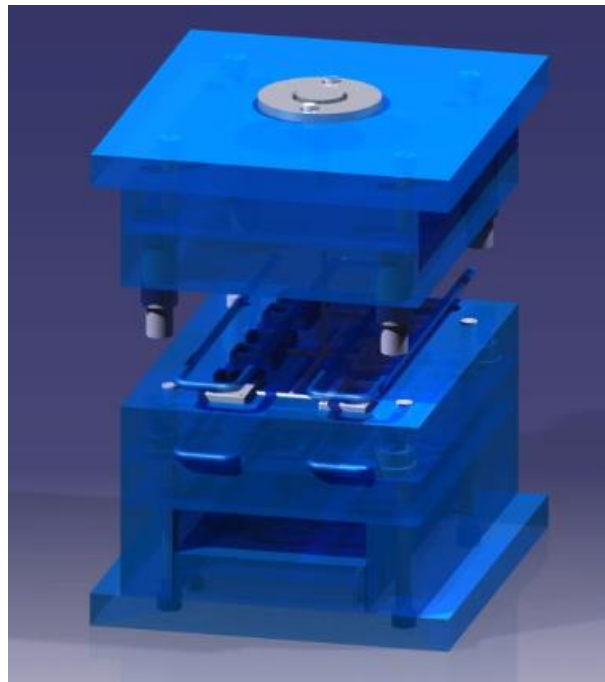


Ilustración 91. Molde completo caso 3

8. CONCLUSIONES

A partir de los datos obtenidos en capítulos anteriores y gracias a los diferentes tipos de moldes, se ha conseguido desarrollar un sistema normalizado para poder diseñar el armazón de un molde que se corresponda con el número de cavidades, sin necesidad de repetir el proceso de diseño del armazón del molde.

Este diseño ha podido ser modelado a través del software Catia V5r21 y las tablas de diseño de Excel vinculadas.

Tras el estudio del número adecuado de cavidades para cada situación que se ha propuesto, se ha realizado una simulación de llenado y refrigeración, gracias a la cual se observa la importancia de las dimensiones de la pieza para obtener una mejora de la calidad final de esta.

Con ayuda del proceso de inyección que se ha explicado anteriormente y los datos obtenidos de las simulaciones se ha modelado un dispositivo en forma de gancho el cual serviría para no tocar elementos que puedan estar contaminados con partículas del virus debido a la situación en la que se encuentra actualmente el mundo por motivos de la Covid-19.

El diseño del dispositivo es ergonómico para adaptarse a la mano, incluyendo un gancho para la apertura de manillas de puertas y ventanas y así como un saliente para pulsar botones, interruptores, etc.

Como acciones o trabajos futuros a raíz de este proyecto se podría realizar la fabricación de este u otros dispositivos cuyos procesos serían más ecológicos y sostenibles para el planeta gracias a la reutilización de los excesos producidos durante el proceso.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Hyatt, J. W., & Hyatt, I. S. (19 de Noviembre de 1872). *New York Patente nº 133,229*.

Cidoncha, M. G., Martínez Lomas, M. E., Martínez Palacios, J., & Pérez Díaz, S. (s.f.).

científicas, C. S. (s.f.). *Manual de Moldes para inyección de termoplásticos*.

Eckert, P. (10 de Julio de 1930). *Alemania Patente nº 1,952,241*.

ENGEL. (s.f.). *Unidad de plastificación. Mayor capacidad de rendimiento, vida útil y rentabilidad de las máquinas de moldeo por inyección*. Obtenido de www.engelglobal.com

Hammack, B. (24 de Noviembre de 2015). *Plastic Injection Molding*. Obtenido de Engineerguy:
https://www.youtube.com/watch?time_continue=51&v=RMjtmsr3CqA&feature=emb_logo

Lerma, J. R. (11 de Julio de 2016). *Interempresas*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/159596-El-mecanismo-del-husillo.html>

López, C. T. (27 de Enero de 2015). *Cuaderno de cultura científica*. Obtenido de [https://culturacientifica.com/2015/01/27/de-los-polimeros/#:~:text=Fue%20J%C3%B6ns%20Jacob%20Berzelius%20quien,\(CnH2n\)](https://culturacientifica.com/2015/01/27/de-los-polimeros/#:~:text=Fue%20J%C3%B6ns%20Jacob%20Berzelius%20quien,(CnH2n)).

Marcilla, A., & Beltrán, M. (s.f.). Tecnología de polímeros. *Inyección*.

Menges, & Mohren. (s.f.). *Moldes de inyección para plástico*.

Mohren, G., & Menges, G. (1983). *Moldes para inyección de plásticos*. México, D.F: Calypso, S.A.

polímeros, T. e. (13 de Marzo de 2019). *Tipos de boquillas en moldeo por inyección*. Obtenido de <https://todoenpolimeros.com/2019/03/13/tipos-de-boquillas-en-moldeo-por-inyeccion/>

Tecnología de plásticos. (13 de Junio de 2011). Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-i.html>

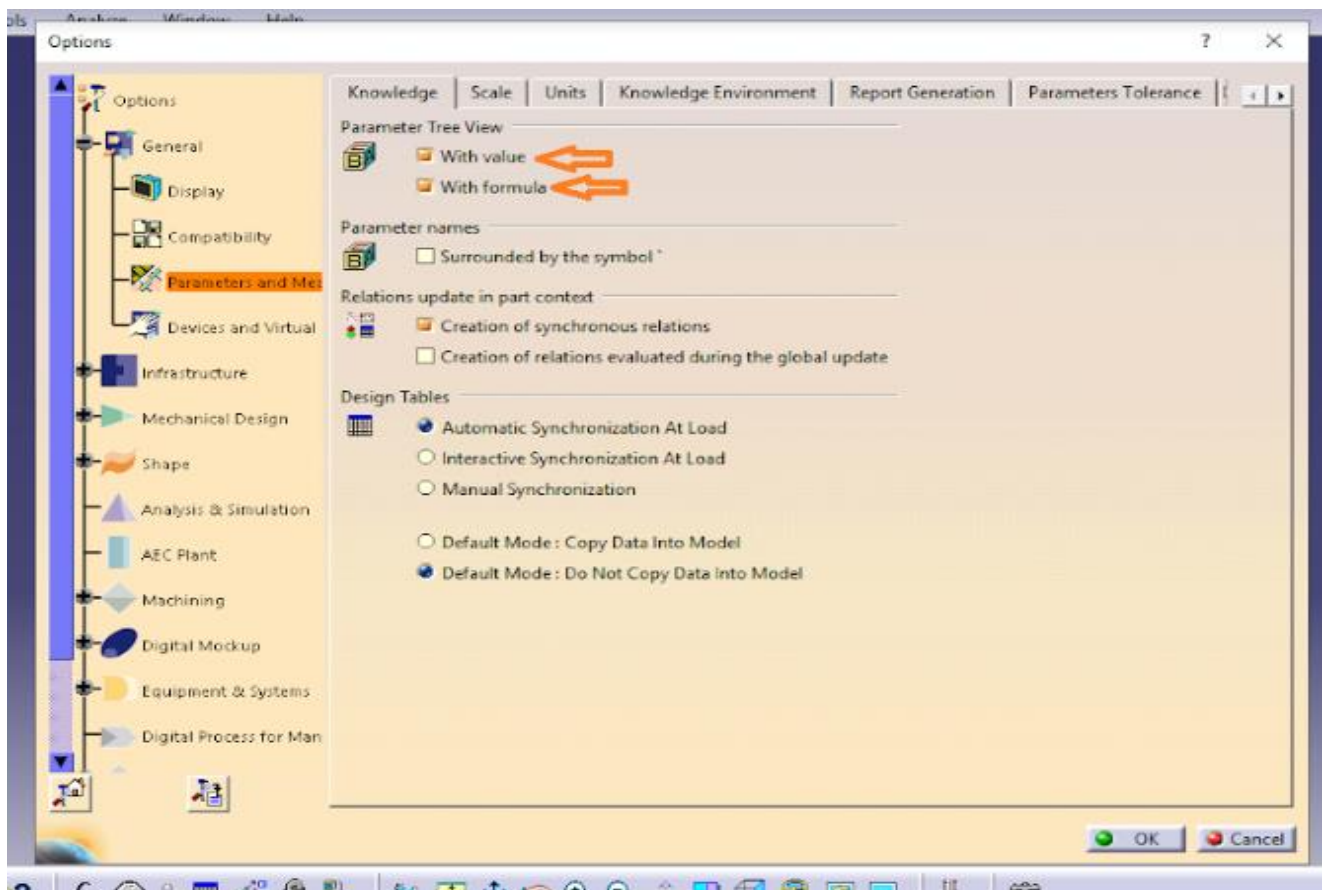
United Performance Metals. (s.f.). Obtenido de <https://www.upmet.com/products/alloy-steels/nitr alloy-135>

ANEXOS

Instrucciones para establecer parámetros en CATIA

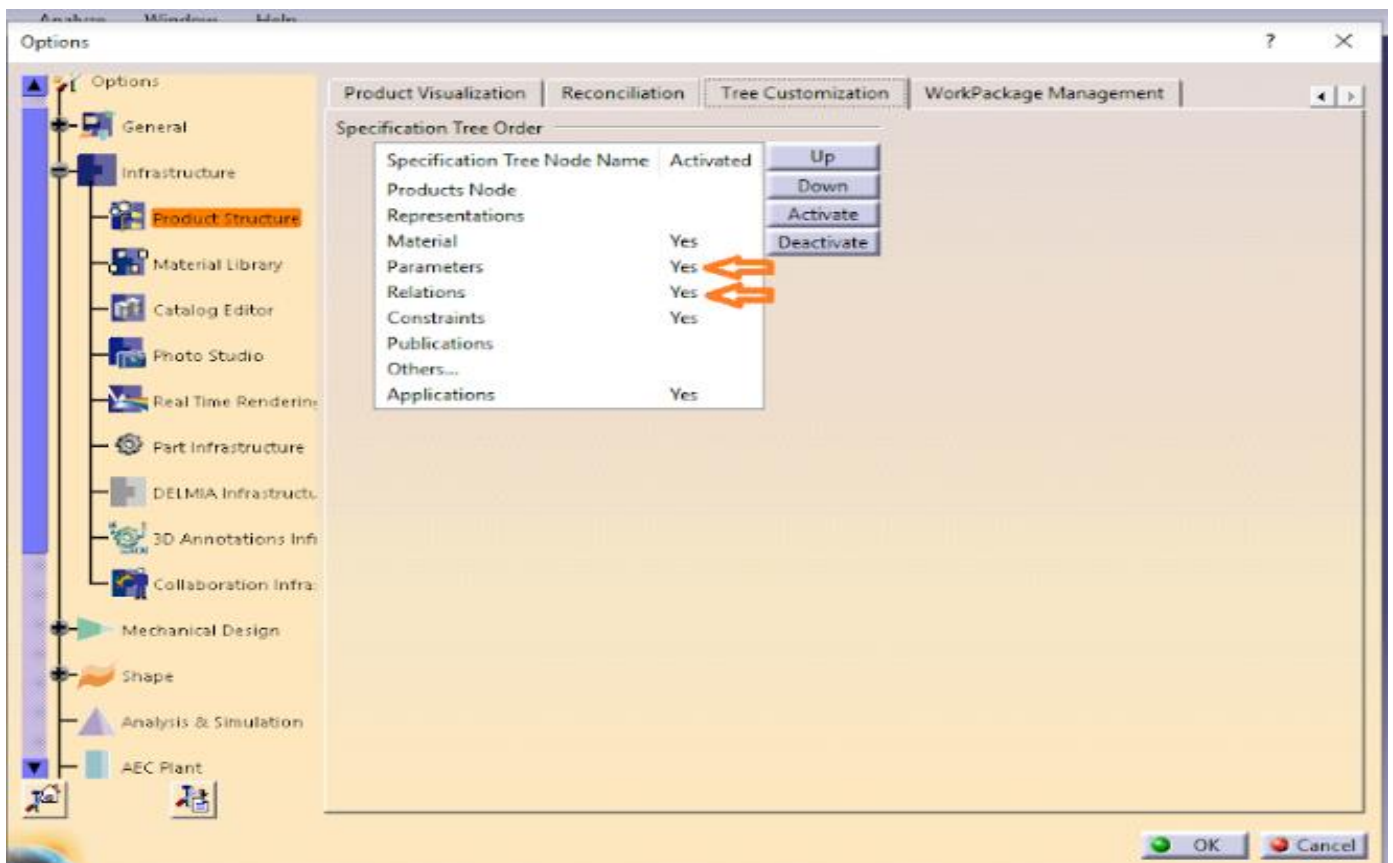
Para poder establecer relaciones entre los diferentes parámetros y que se muestren en el árbol del CADPart, se deben seguir los siguientes pasos:

En *Tools* → *Options* → *General* → *Parameters and Measures* se deben activar las siguientes opciones:

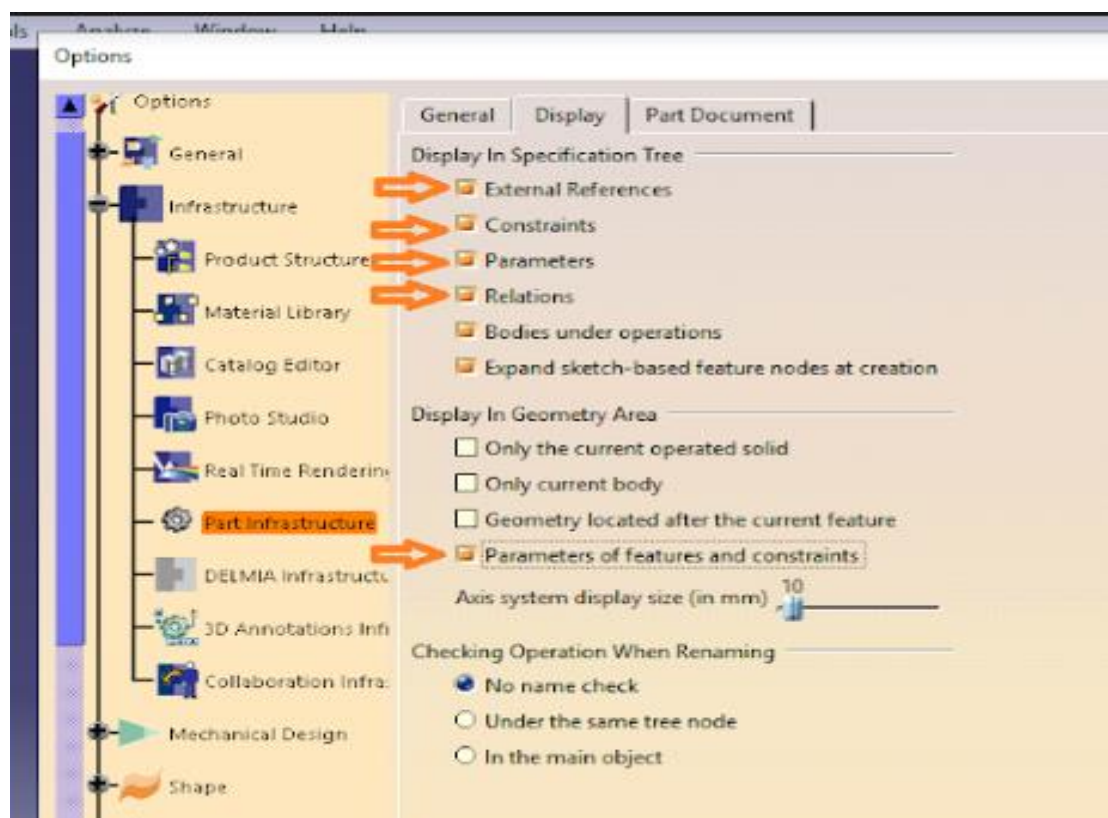
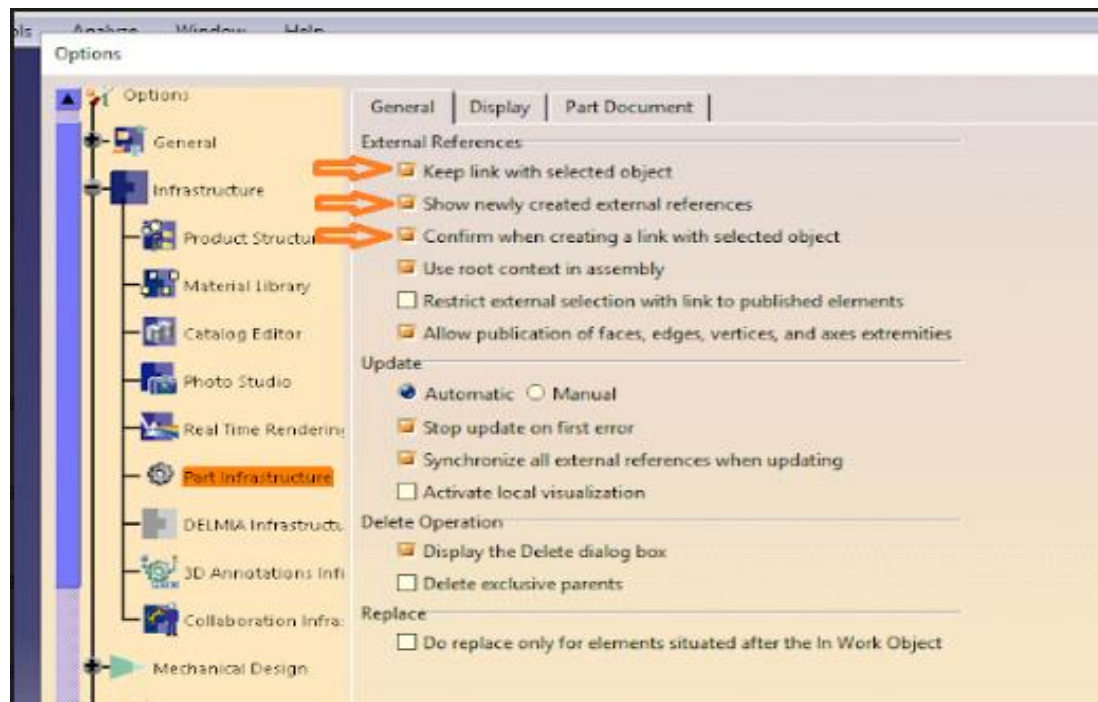


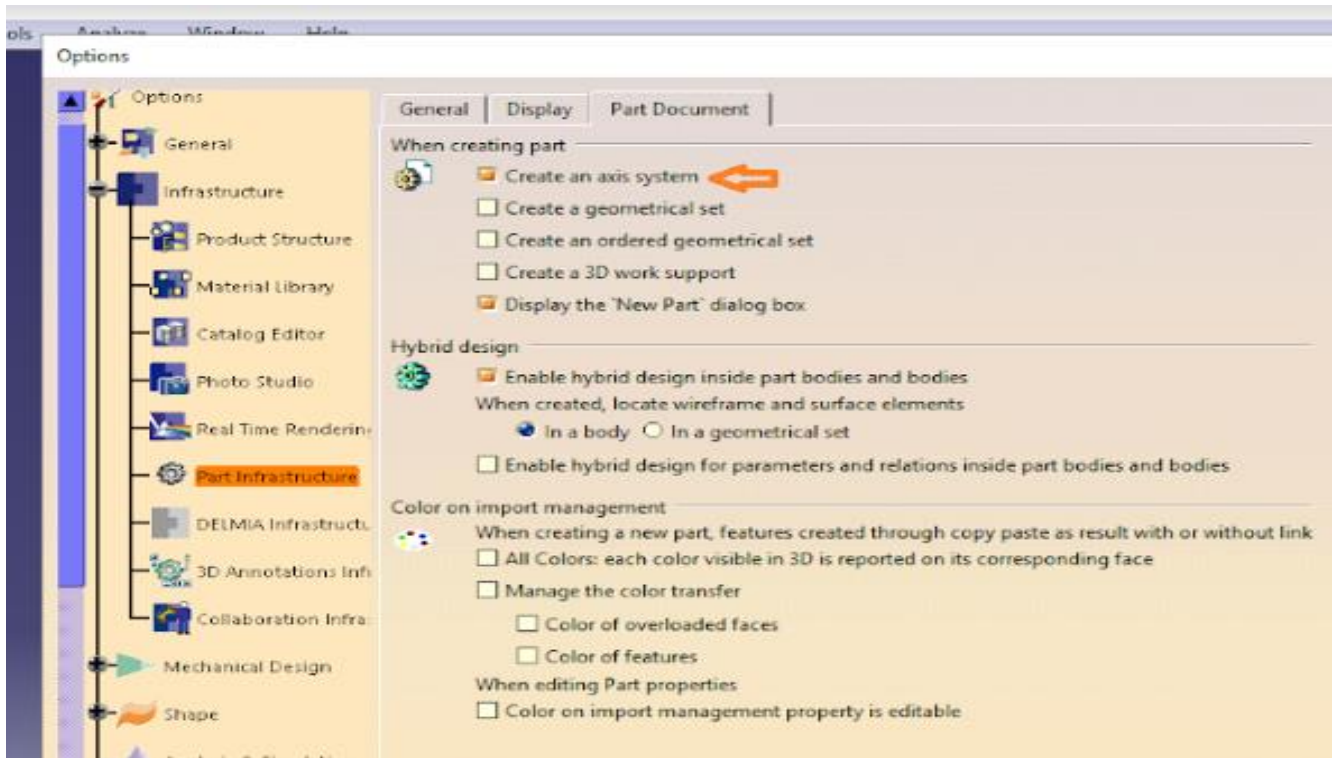
Dentro de *Infrastructure* → *Product Structure* es necesario activar las siguientes opciones para poder ver los parámetros.

- Material
- Parameters
- Relations
- Constraints
- Applications



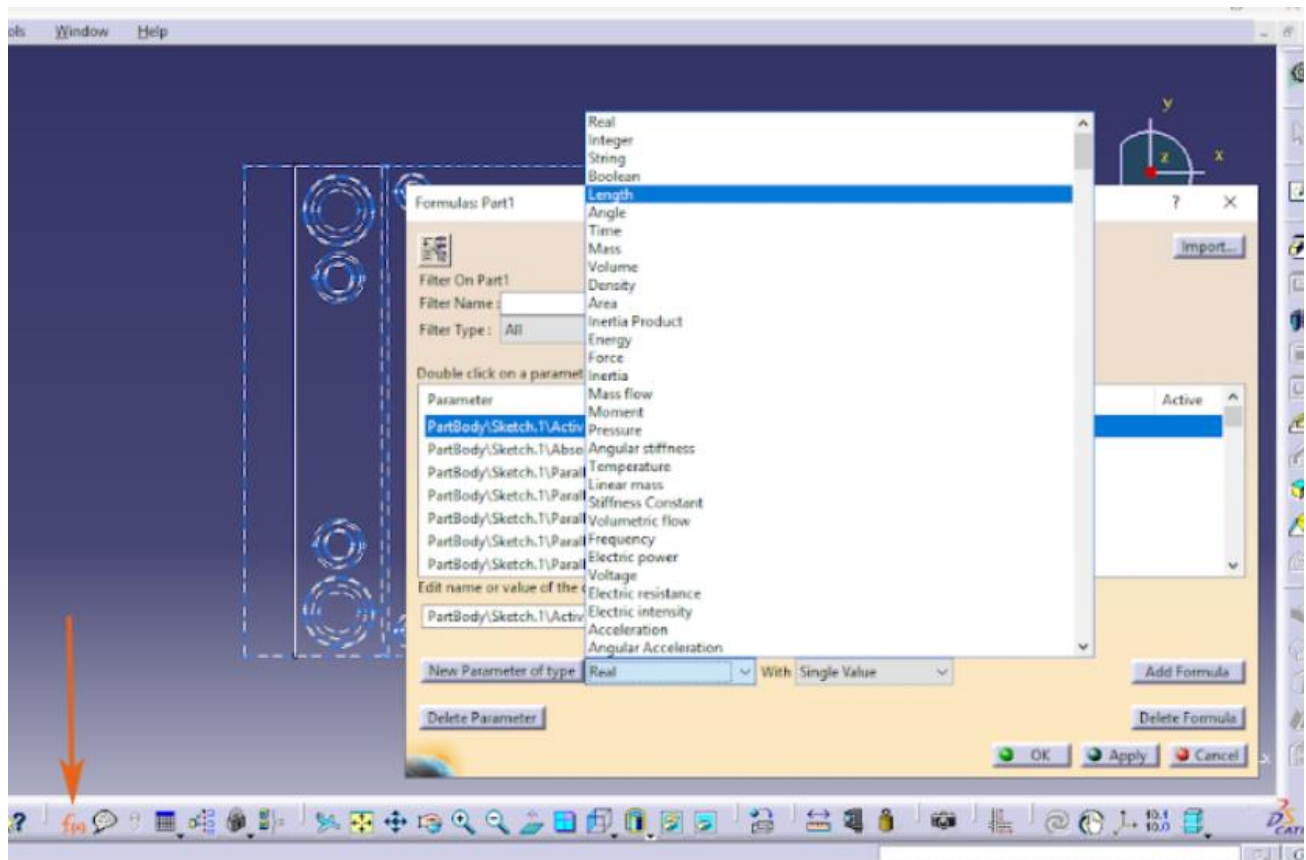
En las relaciones de *Part Infrastructure*, se seleccionan las opciones marcadas en las siguientes ilustraciones para que los parámetros sean visibles además de para poder ver las fórmulas, también llamadas *relaciones*.





Para la creación de parámetros, se siguen los siguientes pasos:

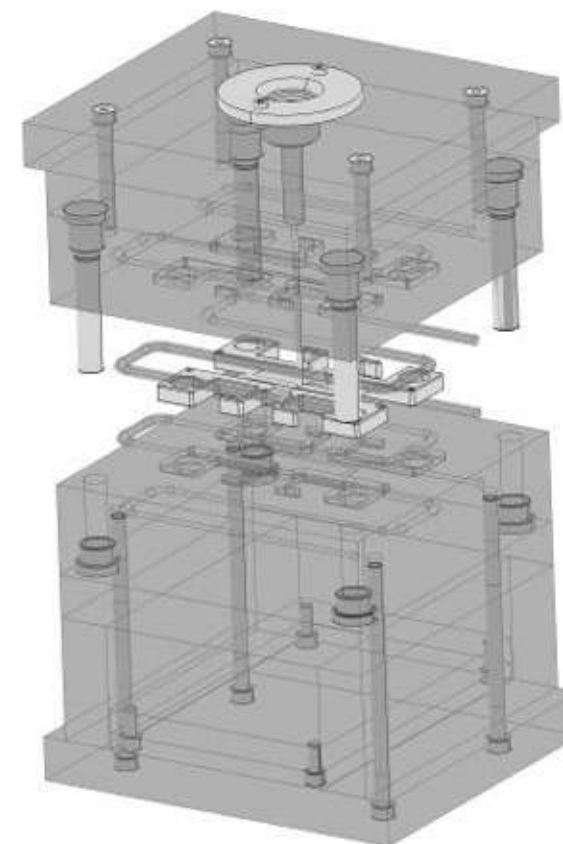
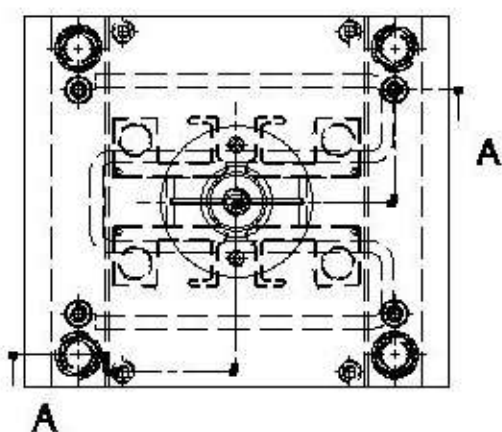
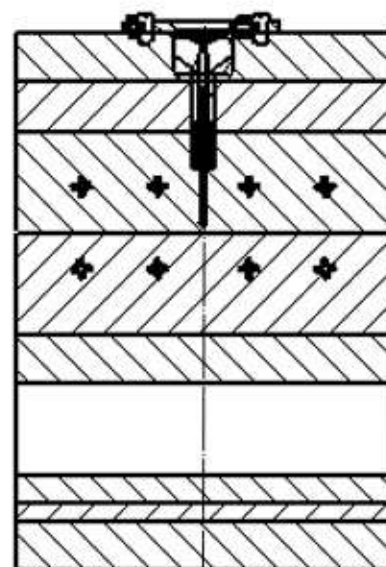
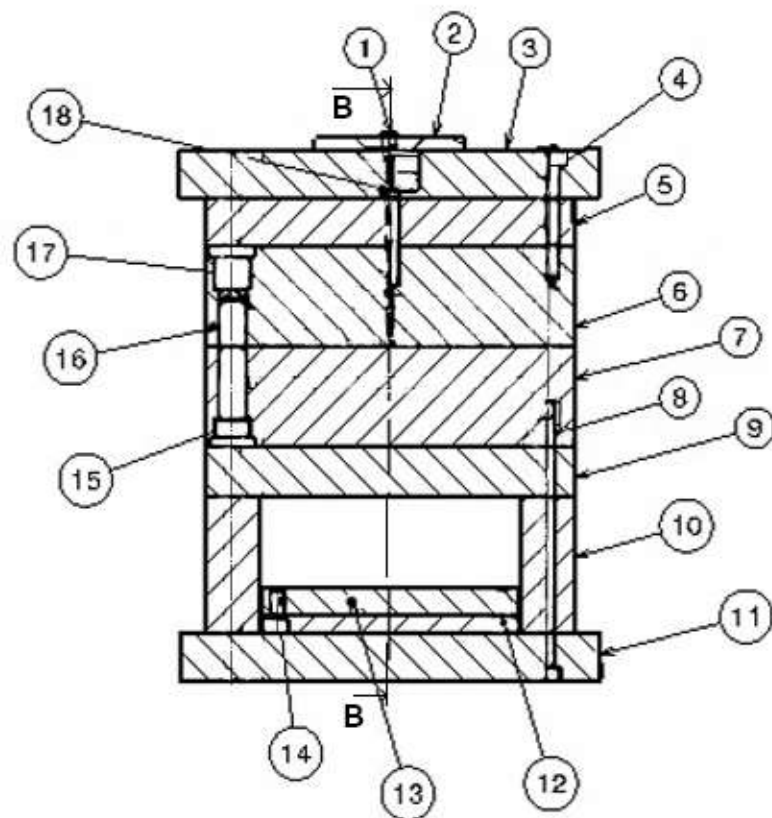
- Click en $f(x)$
- Establecer el tipo de valores que contendrá(uno o múltiples)
- Crear el parámetro con la opción *New Parameter of Type*
- Selección de una cota.
- Se define la fórmula o relación entre cotas.
- Se puede observar en el árbol la relación impuesta en la rama *Relations*



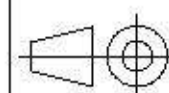
PLANOS

A-A

B-B



1	Manguito del bebedero	18			Acero
1	Bebedero	17			Acero
4	Guía	16			Acero
4	Casquillo	15			Acero
4	Tornillo expulsora	14			Acero
1	Placa expulsora superior	13			Aluminio
1	Placa expulsora inferior	12			Aluminio
1	Placa móvil base	11			Aluminio
1	Regla	10			Aluminio
1	Placa sufridera móvil	9			Aluminio
4	Tornillo placa móvil	8			Acero
1	Placa figura móvil	7			Aluminio
1	Placa figura fija	6			Aluminio
1	Placa sufridera fija	5			Aluminio
4	Tornillo placa fija	4			Acero
1	Placa fija base	3			Aluminio
1	Bebedero	2			Acero
2	Tornillo bebedero	1			Acero
Cant.	Denominación	Marca	Plano	Modelo	Material



Escala

1:5

Dibujado por

Elena Plaza Jiménez

Fecha

27/07/2020



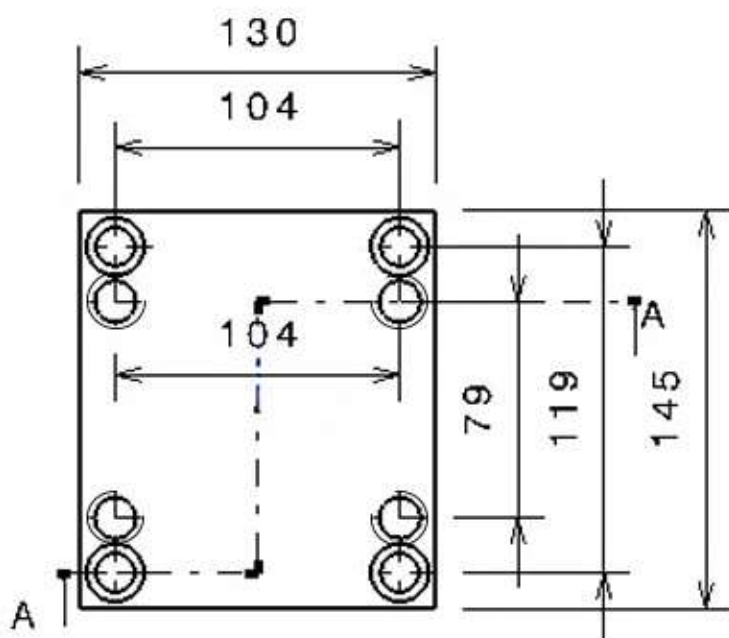
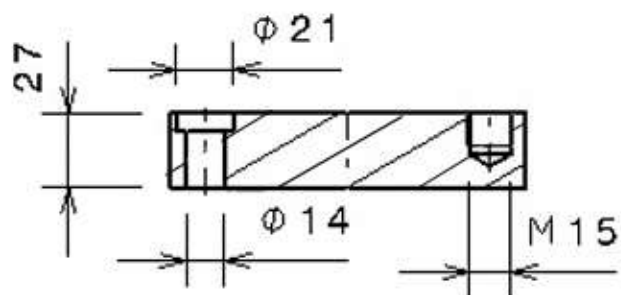
Universidad de Jaén

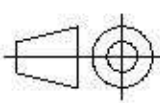
INGENIERÍA
GRÁFICA, DISEÑO Y PROYECTOSMOLDE DE
INYECCIÓN

Nº PLANO

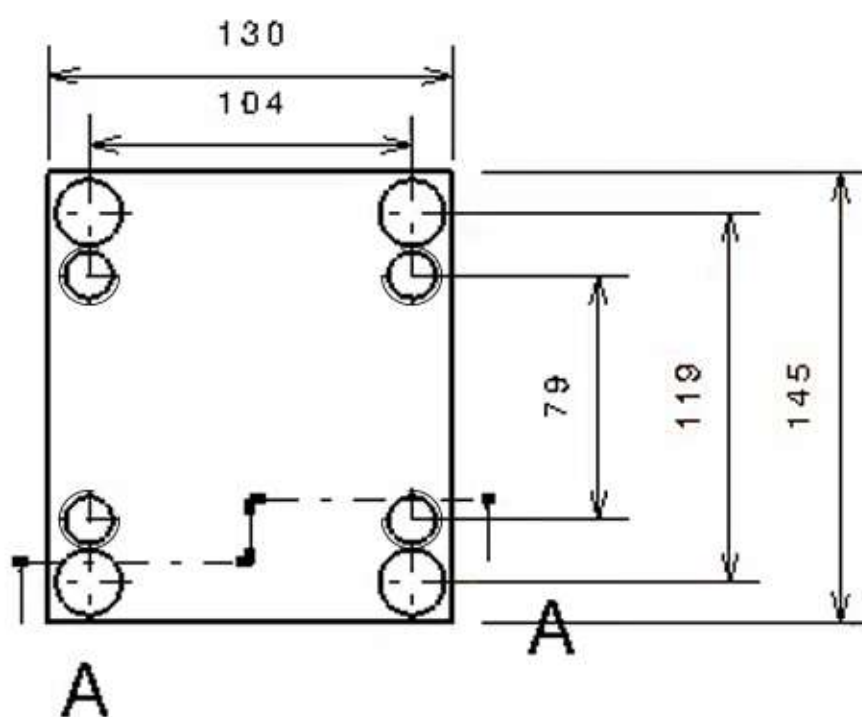
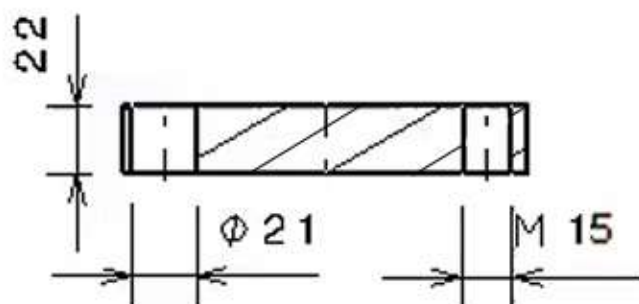
1.0

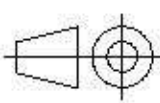
A-A



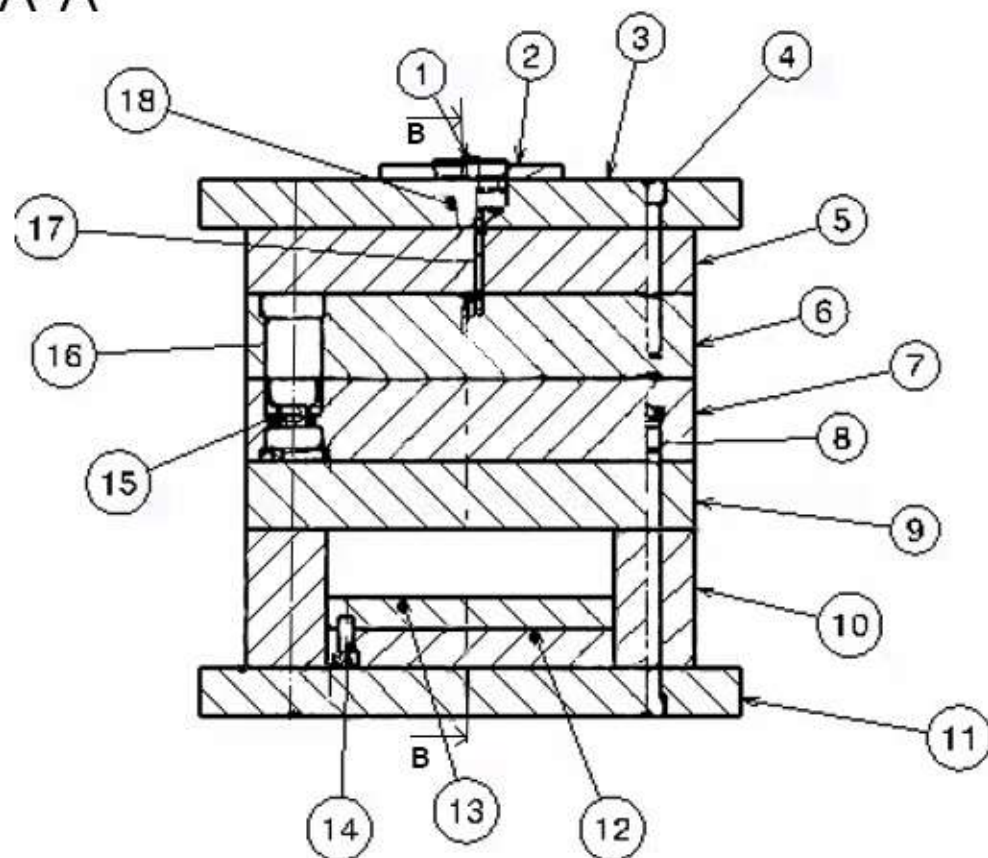
	Escala	Dibujado por	Fecha
	1:2	Elena Plaza Jiménez	23/07/2020
 Universidad de Jaén INGENIERÍA GRÁFICA, DISEÑO Y PROYECTOS	PLACA TIPO		Nº PLANO
			1.6

A-A

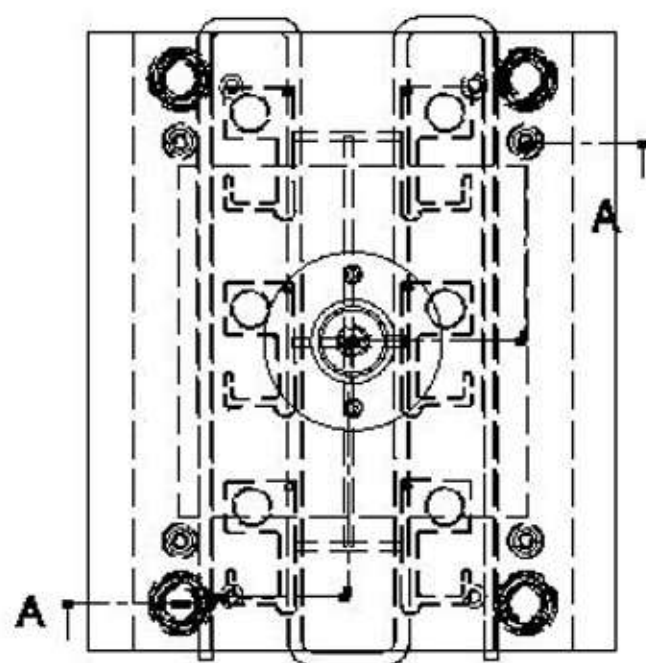
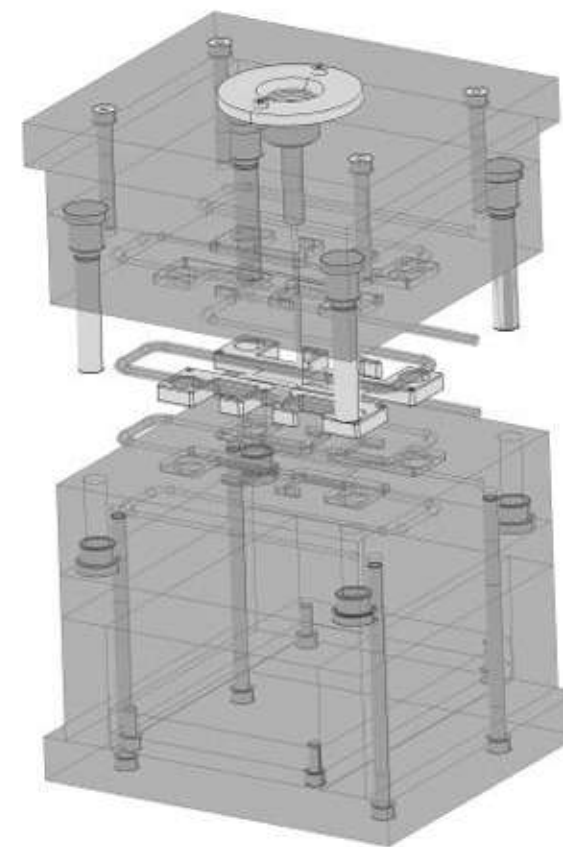
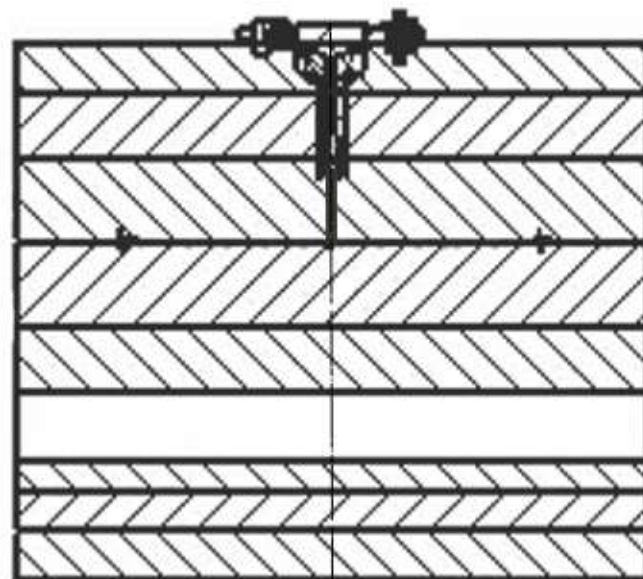


	Escala	Dibujado por	Fecha
	1:2	Elena Plaza Jiménez	23/07/2020
 Universidad de Jaén INGENIERÍA GRÁFICA, DISEÑO Y PROYECTOS	PLACA TIPO		Nº PLANO
			1.9

A-A



B-B



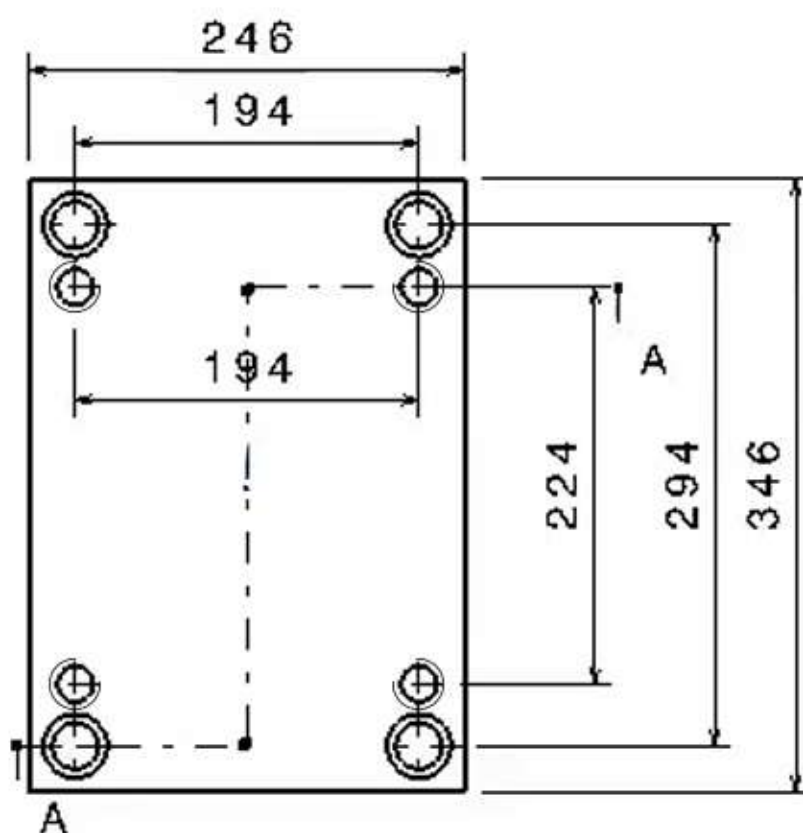
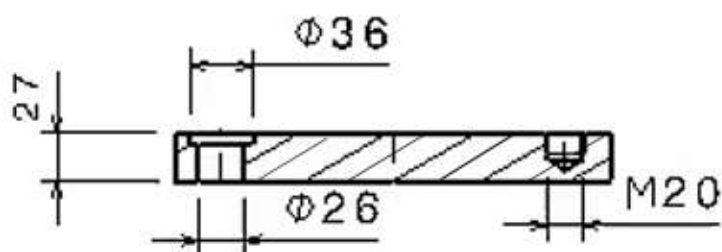
1	Manguito del bebedero	18			Acero
1	Bebedero	17			Acero
4	Guía	16			Acero
4	Casquillo	15			Acero
4	Tornillo expulsora	14			Acero
1	Placa expulsora superior	13			Aluminio
1	Placa expulsora inferior	12			Aluminio
1	Placa móvil base	11			Aluminio
1	Regla	10			Aluminio
1	Placa sufridera móvil	9			Aluminio
4	Tornillo placa móvil	8			Acero
1	Placa figura móvil	7			Aluminio
1	Placa figura fija	6			Aluminio
1	Placa sufridera fija	5			Aluminio
4	Tornillo placa fija	4			Acero
1	Placa fija base	3			Aluminio
1	Bebedero	2			Acero
2	Tornillo bebedero	1			Acero
Cant.	Denominación	Marca	Plano	Modelo	Material

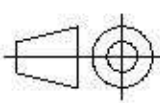
	Escala	Dibujado por		Fecha
	1:5	Elena Plaza Jiménez		27/07/2020

	MOLDE DE INYECCIÓN	Nº PLANO
		2.0

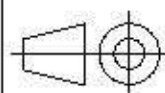
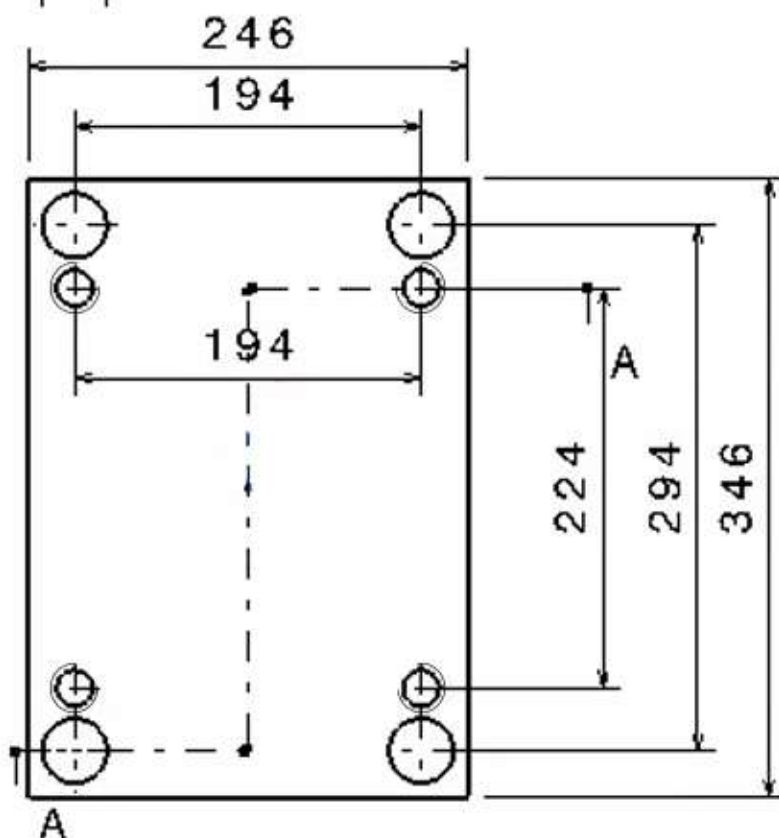
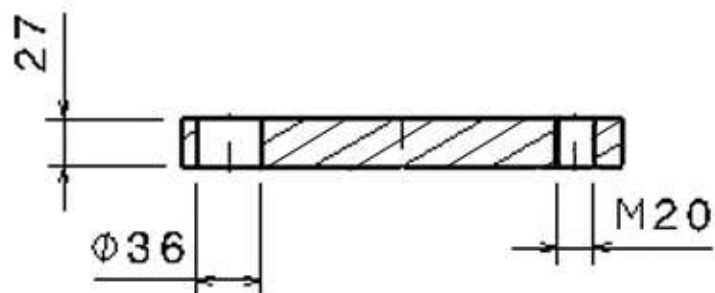
Universidad de Jaén
 INGENIERÍA
 GRÁFICA, DISEÑO Y PROYECTOS

A-A



	Escala	Dibujado por	Fecha
	1:2	Elena Plaza Jiménez	23/07/2020
 Universidad de Jaén INGENIERÍA GRÁFICA, DISEÑO Y PROYECTOS	PLACA TIPO		Nº PLANO
			2.6

A-A



Escala

1:2

Dibujado por

Elena Plaza Jiménez

Fecha

23/07/2020



Universidad de Jaén

INGENIERÍA
GRÁFICA, DISEÑO Y PROYECTOS

PLACA
TIPO

Nº PLANO

2.9