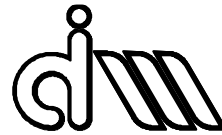


UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales



Trabajo Fin de Máster en Ingeniería Mecánica

---

“DISEÑO, SIMULACIÓN Y FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADOR  
DE UN MOLDE PARA INYECCIÓN DE PIEZAS DE PLÁSTICO”

---

*Presentado por:* D<sup>a</sup>. Belén Prieto García  
*Dirigido por:* D. Santiago Carlos Gutiérrez Rubert

Valencia, junio de 2021



## Resumen

El presente trabajo describe el proceso de diseño de un pequeño recipiente de muestras de plástico, así como el molde de inyección necesario para su fabricación mediante moldeo por inyección de plástico.

Este proyecto abarca desde el desarrollo del diseño de las partes de la pieza a inyectar, hasta su fabricación virtual a través de la herramienta CREO Parametric. Para lo cual se realizará el proceso de modelado CAD del molde, la selección adecuada de materiales, la simulación de inyección de plásticos (CAE) buscando un resultado óptimo, y el mecanizado de todos sus componentes (CAM).

Se trata de un proyecto real, en el que se van ajustando los datos del proceso según los resultados que se obtienen en las simulaciones. Estos resultados son los que determinan los rediseños y reajustes necesarios para encontrar la solución que mejor se adapta a las restricciones de partida.

Palabras clave: Moldes para inyección, Inyección de Plásticos, Diseño para Fabricación, CAD, CAM, CAE

## Resum

El present treball descriu el procés de disseny d'un xicotet recipient de mostres de plàstic, així com el motle d'injecció necessari per a la seua fabricació mitjançant emotlament per injecció de plàstic.

Aquest projecte abasta des del desenvolupament del disseny de les parts de la peça a injectar, fins a la seua fabricació virtual a través de l'eina CREO Parametric. Per a això es realitzarà el procés de modelatge CAD del motle, la selecció adequada de materials, la simulació d'injecció de plàstics (CAE) buscant un resultat òptim, i el mecanitzat de tots els seus components (CAM).

Es tracta d'un projecte real, en el qual es van ajustant les dades del procés segons els resultats que s'obtenen en les simulacions. Aquests resultats són els que determinen els redissenys i reajustaments necessaris per a trobar la solució que millor s'adapta a les restriccions de partida.

Paraules clau: Motles per a injecció, Injecció de Plàstics, Disseny per a Fabricació, CAD, CAM, CAE

## **Abstract**

The present work describes the design process of a small plastic sample container, as well as the injection mold necessary for its manufacture by means of plastic injection molding.

This project ranges from the development of the design of the parts of the piece to its virtual manufacture through the CREO Parametric tool. For which the CAD modeling process of the mold will be executed, the appropriate selection of materials, the simulation of plastic injection (CAE) looking for an optimal result, and the machining of all its components (CAM).

This is a real project, in which the process data will be adjusted according to the results obtained in the simulations. These results are what determine the necessary redesigns and readjustments to find the solution that best adapts to the starting restrictions.

Keywords: Injection Molds, Plastic Injection, Design for Manufacturing, CAD, CAM, CAE

# Índice de contenido

## DOCUMENTO 1 : MEMORIA TÉCNICA

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	ALCANCE Y EXCLUSIONES .....	2
3.	ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN .....	3
3.1.	Materiales plásticos .....	4
4.	LA INYECCIÓN DE PLÁSTICO .....	6
4.1.	Máquina de inyección de plástico BabyPlast.....	7
4.1.1.	Características técnicas .....	11
5.	METODOLOGÍA .....	13
5.1.	Normativas .....	13
5.2.	Mapa de procesos .....	14
6.	DESARROLLO.....	16
6.1.	Diseño de la pieza mediante Creo Parametric 3D .....	16
6.1.1.	Rediseño para reforzar las partes del recipiente .....	17
6.1.2.	Tolerancias dimensionales del recipiente .....	21
6.1.3.	Ajustes para el cierre del recipiente.....	23
6.2.	Diseño de molde mediante Creo Parametric 3D .....	24
6.2.1.	Molde de la base.....	28
6.2.2.	Molde de la tapa.....	30
6.2.3.	Mejora del diseño del molde.....	33
6.2.4.	Tolerancias dimensionales del molde.....	36
6.3.	Selección de materiales mediante CES-Edupack.....	38
6.3.1.	Selección del material del recipiente .....	38
6.3.2.	Selección del material del molde .....	42
7.	SIMULACIÓN DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO .....	48
7.1.	Elementos a mecanizar .....	48
7.1.1.	Sistema de alimentación y expulsores .....	48
7.2.	Simulación de inyección de plástico de la base .....	51
7.2.1.	Defectos a controlar.....	55
7.3.	Simulación de inyección de plástico en la tapa .....	57
7.3.1.	Defectos a controlar.....	59
7.4.	Simulación de inyección de plástico de las dos piezas juntas .....	60
7.4.1.	Defectos a controlar.....	62

7.5.	Alternativas de mejora de las simulaciones .....	63
7.5.1.	Defectos a controlar.....	74
7.6.	Simulación final.....	76
7.6.1.	Defectos a controlar.....	78
8.	PROCESO DE FABRICACIÓN. MECANIZADO .....	80
8.1.	Hoja de ruta.....	80
8.2.	Proceso de mecanizado mediante CREO Parametric.....	80
8.3.	Herramientas de mecanizado .....	82
8.4.	Amarres de mecanizado.....	90
8.5.	Inspección y acabados .....	92
9.	RESULTADOS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN .....	93
10.	CONCLUSIONES.....	96
11.	REFERENCIAS.....	97

## **DOCUMENTO 2: PLIEGO DE CONDICIONES**

1.	OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES .....	101
2.	DOCUMENTOS QUE DEFINEN EL PROYECTO.....	102
3.	CONDICIONES GENERALES .....	103
3.1.	Ejecución del proyecto .....	103
3.2.	Normativas aplicables .....	103
3.3.	Materiales y ensayos en la ejecución del proyecto .....	103
3.4.	Inspecciones.....	104
4.	CONDICIONES TÉCNICAS.....	105
4.1.	Especificaciones informáticas.....	105
4.2.	Especificaciones técnicas de los componentes.....	105
4.2.1.	Mecanizado y procesado de los componentes .....	105
4.2.2.	Materiales de los componentes .....	106
4.2.3.	Máquina de inyección de plástico.....	106
4.3.	Simulación de inyección de plástico.....	107
5.	MONTAJE Y MANTENIMIENTO DEL MOLDE.....	109
5.1.	Condiciones generales.....	109
5.2.	Montaje en máquina .....	109
5.3.	Mantenimiento.....	110

## **DOCUMENTO 3: PRESUPUESTO**

1.	INTRODUCCIÓN .....	112
2.	PRESUPUESTO.....	112
2.1.	Materia prima .....	112

2.2.	Softwares.....	113
2.3.	Diseño del molde .....	113
2.4.	Mecanizado .....	113
2.5.	Montaje y ajuste del molde .....	113
2.6.	Inversión total.....	114
2.7.	Coste de inyección .....	114

#### **DOCUMENTO 4: PLANOS**

ANEXOS.....	100
ANEXO I.....	101
Ejemplo mapa de procesos de un producto.....	101
ANEXO II.....	103
Hojas de ruta .....	103
ANEXO III.....	108
Herramientas de mecanizado .....	108
III.1. Cajeados del <i>cavity</i> .....	109
III.2. Desbastes y perfilados del <i>core</i> .....	110
III.3. Redondeo tapa y base del <i>core</i> .....	114
III.4. Ranurados .....	115
III.5. Taladrados .....	120
ANEXO IV.....	124
Propiedades de los materiales seleccionados según CES-Edupack.....	124



# Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 1-1. Plástico reciclado</i> .....	1
<i>Ilustración 4-1. Diagrama termodinámico del proceso de inyección</i> .....	6
<i>Ilustración 4-2. Máquina de inyección de plástico Babyplast 6/6</i> .....	8
<i>Ilustración 4-3. Panel de control de la máquina Babyplast 6/6</i> .....	8
<i>Ilustración 4-4. Partes fundamentales Babyplast 6/6</i> .....	9
<i>Ilustración 4-5. Indicador de volumen de material en Babyplast, 6/6</i> .....	10
<i>Ilustración 4-6. Sistema de platos porta-moldes de una Babyplast y partes más importantes</i> .....	11
<i>Ilustración 6-1. Piezas a diseñar</i> .....	16
<i>Ilustración 6-2. Base recipiente mediante CREO</i> .....	17
<i>Ilustración 6-3. Tapa recipiente mediante CREO</i> .....	17
<i>Ilustración 6-4. Refuerzos de la base</i> .....	18
<i>Ilustración 6-5. Refuerzos de la tapa</i> .....	18
<i>Ilustración 6-6. Mejora de los refuerzos de la base con dos anillos exteriores</i> .....	20
<i>Ilustración 6-7. Redondeo de los anillos de refuerzo</i> .....	20
<i>Ilustración 6-8. Redondeos de la tapa</i> .....	21
<i>Ilustración 6-9. Ajuste con juego</i> .....	23
<i>Ilustración 6-10. Ajuste con juego hasta la mitad de la altura de la tapa</i> .....	23
<i>Ilustración 6-11. Ajuste con interferencia</i> .....	24
<i>Ilustración 6-12. Ajuste con apriete hasta el final de la altura de la tapa</i> .....	24
<i>Ilustración 6-13. Dimensiones del molde</i> .....	25
<i>Ilustración 6-14. Estructura del molde</i> .....	25
<i>Ilustración 6-15. Moldes con correderas interiores</i> .....	27
<i>Ilustración 6-16. Vista previa del molde con corredera</i> .....	27
<i>Ilustración 6-17. Rediseño de la base para el diseño del molde</i> .....	28
<i>Ilustración 6-18. Plano de partición del molde</i> .....	29
<i>Ilustración 6-19. Volumen core del molde de la base</i> .....	29
<i>Ilustración 6-20. Volumen cavity del molde de la base</i> .....	29
<i>Ilustración 6-21. Abertura del molde de la base</i> .....	30
<i>Ilustración 6-22. Rediseño de la tapa para el diseño del molde</i> .....	30
<i>Ilustración 6-23. Vista previa de la dirección de extracción de la tapa y plano de partición</i> .....	31
<i>Ilustración 6-24. Volumen core del molde de la tapa</i> .....	31
<i>Ilustración 6-25. Volumen cavity del molde de la tapa</i> .....	32
<i>Ilustración 6-26. Abertura del molde de la tapa</i> .....	32
<i>Ilustración 6-27. Croquis mejora de un solo molde</i> .....	33
<i>Ilustración 6-28. Colocación de las dos piezas para un mismo molde</i> .....	34
<i>Ilustración 6-29. Unión de las dos piezas</i> .....	34
<i>Ilustración 6-30. Plano de partición del molde de las dos piezas</i> .....	35
<i>Ilustración 6-31. Volumen core del molde conjunto para las dos piezas</i> .....	35
<i>Ilustración 6-32. Volumen cavity del molde conjunto para las dos piezas</i> .....	36
<i>Ilustración 6-33. Vista de explosión del molde conjunto para las dos piezas</i> .....	36
<i>Ilustración 6-34. Tolerancias dimensionales de los moldes de Babyplast</i> .....	37
<i>Ilustración 6-35. Restricciones de durabilidad del material</i> .....	39
<i>Ilustración 6-36. Restricciones ópticas del material</i> .....	39
<i>Ilustración 6-37. Restricciones de proceso del material</i> .....	39
<i>Ilustración 6-38. Gráfico de límite elástico frente a densidad del material</i> .....	40
<i>Ilustración 6-39. Gráfico del módulo de Young frente a densidad del material</i> .....	40
<i>Ilustración 6-40. Materiales que cumplen con las restricciones</i> .....	41
<i>Ilustración 6-41. Gráfico del precio de los materiales candidatos</i> .....	41
<i>Ilustración 6-42. Restricciones de durabilidad del material</i> .....	43
<i>Ilustración 6-43. Gráfico de la rigidez a flexión frente a densidad del material</i> .....	43
<i>Ilustración 6-44. Gráfico de fractura frágil frente al módulo de Young del material</i> .....	44
<i>Ilustración 6-45. Gráfico de límite elástico frente a densidad del material</i> .....	44
<i>Ilustración 6-46. Gráfico del módulo de Young frente a densidad del material</i> .....	45
<i>Ilustración 6-47. Gráfico de conductividad térmica</i> .....	45
<i>Ilustración 6-48. Gráfico de desgaste y dureza del material</i> .....	46
<i>Ilustración 6-49. Materiales que cumplen con las restricciones</i> .....	46

<i>Ilustración 6-50. Gráfico del precio de los materiales candidatos</i> .....	47
<i>Ilustración 7-1. Eliminación elemento de unión</i> .....	48
<i>Ilustración 7-2. Dimensiones pre-molde sistema de alimentación</i> .....	48
<i>Ilustración 7-3. Sistema de alimentación y expulsores en el core</i> .....	49
<i>Ilustración 7-4. Canaletas de inyección del core (izquierda) y del cavity (derecha)</i> .....	49
<i>Ilustración 7-5. Expulsores y centradores del cavity</i> <i>Ilustración 7-6. Expulsor</i> .....	50
<i>Ilustración 7-7. Vista explosión del molde con los elementos mecanizados</i> .....	50
<i>Ilustración 7-8. Vista explosión del molde definitivo</i> .....	51
<i>Ilustración 7-9. Propiedades físicas del PP para la simulación de inyección</i> .....	52
<i>Ilustración 7-10. Propiedades físicas del PP para la simulación de inyección</i> .....	52
<i>Ilustración 7-11. Sugerencias de 1 punto de inyección (izquierda) y 2 puntos de inyección (derecha) en la base.</i> .....	53
<i>Ilustración 7-12. Punto de inyección según las canaletas diseñadas de la base</i> .....	53
<i>Ilustración 7-13. Tiempo de llenado primer análisis de la base</i> .....	54
<i>Ilustración 7-14. Presión durante el llenado primer análisis de la base</i> .....	54
<i>Ilustración 7-15. Fuerza de cierre primer análisis de la base</i> .....	55
<i>Ilustración 7-16. Atrapamiento de aire primer análisis de la base</i> .....	55
<i>Ilustración 7-17. Líneas de soldadura primer análisis</i> .....	56
<i>Ilustración 7-18. Degradación primer análisis</i> .....	56
<i>Ilustración 7-19. Sugerencias de puntos de inyección en la tapa</i> .....	57
<i>Ilustración 7-20. Punto de inyección según las canaletas diseñadas de la tapa</i> .....	57
<i>Ilustración 7-21. Tiempo de llenado primer análisis de la tapa</i> .....	58
<i>Ilustración 7-22. Presión durante el llenado primer análisis de la tapa</i> .....	58
<i>Ilustración 7-23. Fuerza de cierre primer análisis</i> .....	58
<i>Ilustración 7-24. Atrapamiento de aire primer análisis de la tapa</i> .....	59
<i>Ilustración 7-25. Líneas de soldadura primer análisis de la tapa</i> .....	59
<i>Ilustración 7-26. Degradación primer análisis de la tapa</i> .....	60
<i>Ilustración 7-27. Puntos de inyección sugeridos para las dos piezas juntas</i> .....	60
<i>Ilustración 7-28. Punto de inyección en conducto para ambas piezas</i> .....	61
<i>Ilustración 7-29. Tiempo de llenado de las dos piezas conjuntas con conductos</i> .....	61
<i>Ilustración 7-30. Presión de llenado de las dos piezas conjuntas con conductos</i> .....	62
<i>Ilustración 7-31. Fuerza de cierre necesaria para las dos piezas conjuntas con conductos frente al tiempo (segundos).</i> .....	62
<i>Ilustración 7-32. Atrapamiento de aire de las piezas en conjunto con conductos.</i> .....	63
<i>Ilustración 7-33. Líneas de soldadura de las piezas en conjunto con conductos.</i> .....	63
<i>Ilustración 7-34. Comportamiento de la temperatura en la pared del molde</i> .....	64
<i>Ilustración 7-35. Presión de inyección con el molde a 50°C. Izquierda pieza "base00, derecha "tapa".</i> 64	64
<i>Ilustración 7-36. Tiempo de llenado aumentado de ambas piezas con el molde a 50°C</i> .....	65
<i>Ilustración 7-37. Presión necesaria de llenado de ambas piezas con el molde a 50°C.</i> .....	65
<i>Ilustración 7-38. Fuerza de cierre necesaria en el proceso de llenado con el molde a 50°C frente al tiempo (segundos)</i> .....	66
<i>Ilustración 7-39. Fuerza de cierre necesaria para ambas piezas con el molde a 50°C</i> .....	66
<i>Ilustración 7-40. Tiempo de llenado de las piezas juntas con 3 conductos</i> .....	67
<i>Ilustración 7-41. Presión de inyección de las piezas juntas con 3 conductos</i> .....	67
<i>Ilustración 7-42. Fuerza de cierre necesaria de las piezas juntas con 3 conductos</i> .....	68
<i>Ilustración 7-43. Punto de inyección sugerido para ambas piezas con espesor aumentado</i> .....	69
<i>Ilustración 7-44. Tiempo de llenado ambas piezas con espesor aumentado</i> .....	69
<i>Ilustración 7-45. Presión de inyección de ambas piezas con espesor aumentado</i> .....	70
<i>Ilustración 7-46. Fuerza de cierre de ambas piezas con espesor aumentado</i> .....	70
<i>Ilustración 7-47. Presión de inyección y fuerza de cierre con punto de inyección en el agujero diseñado.</i> .....	71
<i>Ilustración 7-48. Conductos estrechados y punto de inyección</i> .....	71
<i>Ilustración 7-49. Presión y fuerza de cierre con los conductos estrechados</i> .....	72
<i>Ilustración 7-50. Balance del recorrido de los conductos de alimentación y ataque tipo cortina en la sección menor.</i> .....	72
<i>Ilustración 7-51. Tiempo de llenado de las dos piezas con ataque cortina</i> .....	73
<i>Ilustración 7-52. Presión de inyección de las dos piezas con ataque cortina.</i> .....	73
<i>Ilustración 7-53. Fuerza de cierre de las dos piezas con ataque cortina.</i> .....	74
<i>Ilustración 7-54. Atrapamiento de aire con ataque cortina.</i> .....	74

<i>Ilustración 7-55. Líneas de soldadura con ataque cortina.</i>	75
<i>Ilustración 7-56. Degradación de la temperatura con ataque cortina.</i>	75
<i>Ilustración 7-57. Fenómeno de "hesitation" con ataque cortina.</i>	76
<i>Ilustración 7-58. Modificación en conductos de alimentación.</i>	76
<i>Ilustración 7-59. Tiempo de llenado suavizando el balance del recorrido de los conductos.</i>	77
<i>Ilustración 7-60. Presión de inyección suavizando el balance del recorrido de los conductos.</i>	77
<i>Ilustración 7-61. Fuerza de cierre suavizando el balance del recorrido de los conductos.</i>	78
<i>Ilustración 7-62. Atrapamiento de aire suavizando el balance del recorrido de los conductos.</i>	79
<i>Ilustración 7-63. Líneas de soldadura suavizando el balance del recorrido de los conductos.</i>	79
<i>Ilustración 8-1. Cero pieza del core (izquierda) y del cavity (derecha).</i>	81
<i>Ilustración 8-2. Cajeados y vaciados en el cavity.</i>	82
<i>Ilustración 8-3. Fresa integral tórica para cajeras.</i>	83
<i>Ilustración 8-4. Fresado profundo a escuadra APXD4000.</i>	83
<i>Ilustración 8-5. Plaquita para fresa de planeado.</i>	83
<i>Ilustración 8-6. Perfilado del core.</i>	84
<i>Ilustración 8-7. Fresa integral para perfilado de las protusiones del core.</i>	84
<i>Ilustración 8-8. Restos del core.</i>	84
<i>Ilustración 8-9. Fresa integral para perfilado de las costillas de la base del core.</i>	85
<i>Ilustración 8-10. Herramienta de forma para redondeos de protusiones.</i>	85
<i>Ilustración 8-11. Ranuras de los conductos semi-cilíndricos y ataques cortina.</i>	86
<i>Ilustración 8-12. Fresa de punta esférica para ranurado 3mm.</i>	86
<i>Ilustración 8-13. Ranuras de la tapa en el cavity.</i>	87
<i>Ilustración 8-14. Fresa integral de punta plana para ranurado interior de la tapa.</i>	87
<i>Ilustración 8-15. Herramienta para ranurado interior del anillo de refuerzo de la tapa.</i>	87
<i>Ilustración 8-16. Plaquita para ranurado interior del anillo de refuerzo de la tapa.</i>	88
<i>Ilustración 8-17. Dimensiones de las brocas de la serie MPS.</i>	88
<i>Ilustración 8-18. Broca para los agujeros centradores.</i>	89
<i>Ilustración 8-19. Broca para avellanado de los centradores del cavity.</i>	89
<i>Ilustración 8-20. Mordaza ARNOLD CLASSIC mecánica.</i>	90
<i>Ilustración 8-21. Boca lisa para mordaza ARNOLD CLASSIC.</i>	91
<i>Ilustración 8-22. Características ARNOLD CLASSIC Mecánica 90mm.</i>	91
<i>Ilustración 8-23. Micrómetro de interiores (izquierda) y de exteriores (derecha) para inspección y acabados.</i>	92
<i>Ilustración 8-24. Pie de rey de tornero.</i>	92
<i>Ilustración 9-1. Ejecución de las trayectorias mediante verificación CN del mecanizado del cavity.</i>	93
<i>Ilustración 9-2. Tabla de mecanizado del cavity.</i>	93
<i>Ilustración 9-3. Ejecución de las trayectorias mediante verificación CN del mecanizado del core.</i>	94
<i>Ilustración 9-4. Tabla de mecanizado del core.</i>	94
<i>Ilustración 9-5. Formato de bloque CNC.</i>	95
<i>Ilustración 5-1. Equilibrado del molde.</i>	110
<i>Ilustración I-0-1. Ejemplo Mapa de procesos de un producto.</i>	102
<i>Ilustración III-0-1. Selección de fresa integral tórica para cajeras.</i>	109
<i>Ilustración III-0-2. Condiciones de corte de la fresa integral tórica para cajeras.</i>	109
<i>Ilustración III-0-3. Fresado desbaste perfilado APXD4000.</i>	110
<i>Ilustración III-0-4. Plaquita para fresa de desbaste perfilado.</i>	110
<i>Ilustración III-0-5. Condiciones de corte para plaquita de fresa de desbaste perfilado.</i>	111
<i>Ilustración III-0-6. Selección fresa integral para perfilado de las protusiones del core.</i>	112
<i>Ilustración III-0-7. Condiciones de corte para fresa integral para perfilado de las protusiones del core.</i>	112
<i>Ilustración III-0-8. Fresa integral para perfilado de las costillas de la base.</i>	113
<i>Ilustración III-0-9. Condiciones de corte de fresa integral para perfilado de las costillas de la base.</i>	113
<i>Ilustración III-0-10. Fresa de cuarto de círculo para redondeos.</i>	114
<i>Ilustración III-0-11. Condiciones de corte para fresa de cuarto de círculo para redondeos.</i>	114
<i>Ilustración III-0-12. Fresa integral para ranurado de conductos 3mm.</i>	115
<i>Ilustración III-0-13. Condiciones de corte de gran eficiencia para ranurado 3mm.</i>	116
<i>Ilustración III-0-14. Fresa integral para ranurado interior de la tapa del cavity.</i>	117
<i>Ilustración III-0-15. Condiciones de corte de fresa integral para ranurado interior de la tapa del cavity.</i>	117

<i>Ilustración III-0-16. Sistema para ranurado interior Serie GY para ranura del anillo de refuerzo de la tapa. ....</i>	<i>118</i>
<i>Ilustración III-0-17. Plaquita para el sistema para ranurado interior Serie GY de la ranura del anillo de refuerzo de la tapa. ....</i>	<i>118</i>
<i>Ilustración III-0-18. Condiciones de corte para el sistema para ranurado interior Serie GY de la ranura del anillo de refuerzo de la tapa. ....</i>	<i>119</i>
<i>Ilustración III-0-19. Taladro para agujeros de expulsores de 3,5mm. ....</i>	<i>120</i>
<i>Ilustración III-0-20. Condiciones de corte para agujeros de expulsores de 3,5mm. ....</i>	<i>120</i>
<i>Ilustración III-0-21. Taladro para agujeros de expulsores de 4,5mm. ....</i>	<i>121</i>
<i>Ilustración III-0-22. Condiciones de corte para agujeros de expulsores de 4,5mm. ....</i>	<i>121</i>
<i>Ilustración III-0-23. Broca para los agujeros centradores. ....</i>	<i>122</i>
<i>Ilustración III-0-24. Condiciones de corte para agujeros centradores. ....</i>	<i>122</i>
<i>Ilustración III-0-25. Broca para avellanados de los centradores. ....</i>	<i>123</i>
<i>Ilustración III-0-26. Condiciones de corte para avellanados de los centradores. ....</i>	<i>123</i>

## Índice de tablas

<i>Tabla 3-1. Ejemplos materiales plásticos</i> .....	5
<i>Tabla 4-1. Características técnicas Babyplast 6/6</i> .....	12
<i>Tabla 6-1. Dimensiones recipiente de muestras</i> .....	16
<i>Tabla 6-2. Resumen comparación de volúmenes</i> .....	19
<i>Tabla 6-3. Tolerancias para dimensiones lineales</i> .....	21
<i>Tabla 6-4. Tolerancias para dimensiones de radios de curvas y alturas de bisel</i> .....	22
<i>Tabla 6-5. Tolerancias para dimensiones relacionadas con ángulos</i> .....	22
<i>Tabla 6-6. Clasificación de plásticos para Ajustes</i> .....	22
<i>Tabla 6-7. Listado de piezas del molde</i> .....	26
<i>Tabla 7-1. Volúmenes con aumento de espesor</i> .....	68
<i>Tabla 7-2. Características del resultado final de la simulación de inyección de plástico.</i> .....	78
<i>Tabla 8-1. Esquema operaciones de mecanizado en cada mitad del molde.</i> .....	81
<i>Tabla 9-1. Código CNC del mecanizado del cavity.</i> .....	95
<i>Tabla 11-1. Características técnicas del equipo informático utilizado.</i> .....	105

**DOCUMENTO 1:**  
**MEMORIA TÉCNICA**

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la búsqueda de nuevas tecnologías más eficientes está aumentando, así como las medidas para reducir el consumo de recursos. Con ello, el plástico ha tomado un papel importante en nuestro día a día, haciendo posible la fabricación de todo tipo de productos con geometrías impensables. Asimismo, gracias a sus innumerables propiedades, se han conseguidos grandes logros en cuanto a rapidez y bajos costos, además de su respeto al medio ambiente. Más del 80% de las piezas inyectadas son termoplásticos, los cuales son reciclables. En la siguiente imagen de la web “Residuos Profesional” se muestra un montón de plástico reciclado en la Asociación Europea de Transformadores de Plástico (EuPC).



*Ilustración 1-1. Plástico reciclado*

En general, se pretende que el proceso de fabricación sea el más rentable y económico para los usuarios, buscando soluciones innovadoras para obtener el menor coste por pieza posible con un sistema de producción con alta capacidad de proceso, ya que las diversas aplicaciones del método de la inyección de plásticos están presentes en nuestra vida. Este material es necesario en todos los sectores industriales, teniendo en cuenta el *packaging* y embalaje, que supone prácticamente un 40% de su uso.

Igualmente, la maquinaria industrial utilizada para los moldes de plástico ha aumentado continuamente durante más de 50 años, alcanzando un gran cambio en todo el panorama industrial a nivel mundial.

Adecuándonos a las normativas requeridas y ajustándonos a las restricciones existentes, se tratará de tener una buena trazabilidad del producto, teniendo éste la mejor calidad y precisión.

## 2. ALCANCE Y EXCLUSIONES

En este proyecto se tratará de diseñar un recipiente de plástico para almacenar muestras mediante el software CREO Parametric. Serán dos piezas diferentes, recipiente base y su respectiva tapa. Se realizará la pertinente búsqueda de un termoplástico apto para ser inyectado por la máquina de inyección Babyplast, seleccionando su compatibilidad de temperaturas y presiones, así como su contaminación con las muestras que vaya a contener el recipiente.

Posteriormente, nos centraremos en la simulación y fabricación virtual del componente, buscando la solución óptima para que el recipiente no se rompa (realizando las modificaciones necesarias en caso de que fracture). Uno de los requisitos de partida es que sea transparente tras su enfriamiento.

Por otro lado, se excluirán del proyecto los ajustes paramétricos en la máquina de inyección Babyplast, así como la realización física del componente y sus respectivas comprobaciones postproceso.



### 3. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN

Primeramente, es necesario introducir qué antecedentes se van a tratar en este proyecto. Se incidirá en los antecedentes de este trabajo en cuanto a TFM desarrollados por la Escuela Técnica de Ingenieros Industriales de la Universitat Politècnica de València, dejando excluidos los antecedentes históricos sobre la fabricación 3D y sobre la inyección de plásticos. Asimismo, se incluirá un apartado breve sobre los materiales plásticos para facilitar el correcto entendimiento de este proyecto para cualquier lector.

Se centrará la búsqueda de información en trabajos académicos de grado, máster o trabajos finales que incluyan la fabricación por inyección de plástico, sin entrar en detalles del proceso de inyección o funcionamiento de las máquinas inyectoras. En este caso, se han revisado diferentes TFM (Trabajo Fin de Máster) de la Universitat Politècnica de València, como son:

- “Análisis del proceso de diseño y optimización de piezas para el conformado por inyección de plástico con herramientas PLM aplicado al sector de la automoción”, del curso académico 2016-17, gracias al cual se ha podido comprender mejor la fabricación mediante moldeo por inyección de plásticos.
- “Diseño y fabricación de un molde de inyección para envases de uso alimentario”, del curso académico 2014-15. Mediante este trabajo, se ha obtenido una aclaración sobre el diseño de los moldes mediante herramientas CAD.
- “Diseño y análisis de un molde para la inyección de bandas modulares para transportadores”, de 2017, donde se entiende con claridad todo el proceso de diseño del molde y su simulación. Además, es interesante el mecanizado de las piezas del molde.

Asimismo, se incluirá la base de datos vista durante el Máster Universitario en Ingeniería Mecánica en la Universitat Politècnica de València, habiendo utilizado el diseño 3D de piezas mediante CAD/CAM en diferentes asignaturas como Expresión Gráfica (CAD y Normalización), donde se aprendió a utilizar el software Inventor realizando diferentes diseños de piezas, y Diseño Asistido por Ordenador mediante el Método de los Elementos Finitos (DAOMEF), donde se diseñaban piezas reales para luego analizar sus fallos y tensiones máximas. También se introdujo la simulación de mecanizado de estas piezas mediante el software Inventor HSM en Simulación de Procesos de Fabricación (SPF), diseñando una brida y su matriz mediante forjado y mecanizando un apoyo móvil de hierro.

Además, se realizó la simulación de fabricación de un pequeño ventilador por inyección de plástico a través de la herramienta 3DEXPERIENCE.

Por otro lado, se trata de un proyecto que tiene su interés en el valor práctico real del diseño para fabricación. El conocimiento en este ámbito suele estar basado en la experiencia de profesionales en el sector, por lo que la transmisión de éste puede ser realizado a largo plazo y a pie de máquina. Por ello, se ha deseado diseñar y simular el proceso de inyección de plástico virtualmente, para adquirir el manejo correcto del software Creo Parametric para diseño de piezas y simulación de la fabricación de la misma. Se tratará de que este proyecto sirva para poner en práctica todos los conocimientos teóricos adquiridos sobre procesos de fabricación en la Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial de Universidad de León durante el grado, así como los conocimientos prácticos mediante herramientas CAD/CAM adquiridos el curso anterior en el máster universitario citado anteriormente.

### **3.1. Materiales plásticos**

Gracias a los materiales plásticos se consiguen variedad de propiedades que no pueden lograrse con otros materiales, como son la ligereza, el color, la resistencia a la degradación ambiental, etc.

Primeramente, definiremos que la palabra *plástico* se refiere al estado del material, ya que los polímeros sintéticos son en realidad materiales sintéticos que alcanzan el estado plástico, sin resistencia a esfuerzos mecánicos. Estos materiales son fáciles de trabajar y moldear con un bajo costo de producción, además de tener una baja densidad y ser buenos aislantes eléctricos.

Diferenciaremos los termoplásticos de los termoestables, siendo los primeros los que se derriten cuando son calentados, y se endurecen cuando se enfrían lo suficiente. Después de calentarse y moldearse, pueden recalentarse y formar otros componentes, a diferencia de los termoestables, que después de ser enfriados su forma no cambia y arden. Si se funden y se moldean varias veces, los termoplásticos pueden cambiar sus propiedades físicas, disminuyendo en la mayoría de los casos. En cambio, los termoestables se transforman químicamente, enlazándose sus moléculas permanentemente, siendo éstos insolubles y adquiriendo una alta resistencia al fenómeno de fluencia.

Algunos de estos materiales se indican en la siguiente tabla:

Tabla 3-1. Ejemplos materiales plásticos

TERMOPLÁSTICOS	TERMOESTABLES
Poliétileno (PE) (Cristalino)	Resinas epoxi (reacción de difenilolpropano y epiclorhidrina)
<b>Polipropileno (PP)</b> (Cristalino)	Resinas fenólicas (Bakelitas)
Poliestireno (PS) (Amorfo)	Resinas de poliéster (Ácido tereftálico Glicerina, Pentaeritrita, Ácido Maleico)
<b>Polimetilmetacrilato (PMMA)</b> (Amorfo)	Resinas ureicas (policondensación de fenilamina y formol)
<b>Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)</b> (Amorfo)	Silicona
Policloruro de vinilo (PVC) (Amorfo)	
Politereftalato de etileno (PET) (Cristalino)	
Nylon (poliamida) (PA) (Cristalino)	

Para este proyecto se utilizarán materiales termoplásticos El recipiente debe poseer las características que se enumeran a continuación:

- No debe verse afectado por la muestra (sustancias químicas, disolventes, etc)
- Debe garantizar el mantenimiento de la calidad de las muestras
- Debe ser resistente a roturas con base y tapa estables
- Debe ser transparente tras su enfriamiento
- Debe aguantar a la intemperie y no absorber humedad ni grasas

Con estas características, tenemos tres posibles candidatos, que son:

1. Polipropileno (PP). Tiene densidad baja, es rígido y tiene poca absorción de agua. Es resistente a los agentes químicos y tiene buena estabilidad térmica.
2. Polimetilmetacrilato (PMMA). Es transparente y resistente a impactos. Tiene buena resistencia ultravioleta.
3. Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). Tiene un alto impacto, alta resistencia al calor y puede ser transparente. Su desventaja principal por lo que será descartado es su mala resistencia a la intemperie.

Más tarde, elegiremos el material óptimo para este proyecto mediante el software de selección de materiales CES-Edupack 2020.

## 4. LA INYECCIÓN DE PLÁSTICO

Definiremos la inyección de plástico como el proceso que permite el moldeo de piezas a través de un molde, inyectando a presión granos plastificados de polímero. Este proceso se realiza en cuatro fases sincronizadas donde existen cinco puntos clave. En este proceso el polímero va sufriendo efectos termodinámicos, variando su presión, su temperatura y su volumen según un diagrama PVT (representación en el espacio tridimensional Presión – Volumen específico – Temperatura de los estados posibles de un compuesto) dependiente de cada material. Estas transformaciones se pueden observar en la siguiente imagen, Ilustración 4-1, la cual ha sido obtenida de un Trabajo de Fin de Grado de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao, donde se diseña un molde de inyección de una pieza plástica.

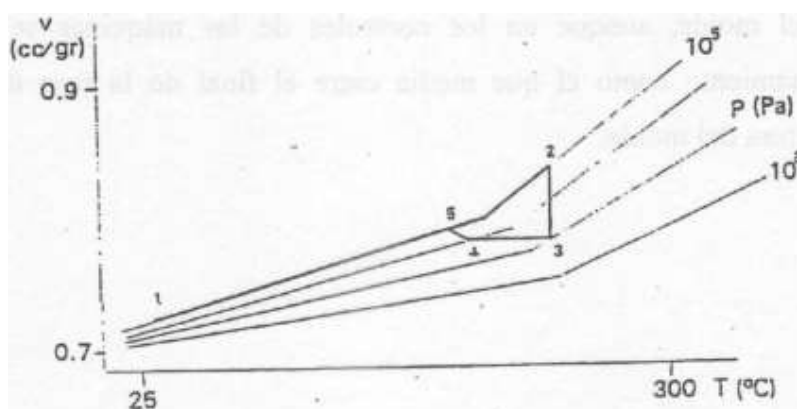


Ilustración 4-1. Diagrama termodinámico del proceso de inyección.

En la primera fase, donde el material se encuentra a temperatura ambiente (punto 1), se suministrará el polímero en la máquina de inyección y se cerrará el molde por presión. Aquí se producirá la plastificación del material aumentando su temperatura y su volumen específico, sin producirse una variación de presión relevante, suponiendo un proceso ideal (punto 2).

Llega así la segunda fase, donde se produce la inyección del plástico mediante una boquilla introducida en el molde, llenando éste a una velocidad alta para que se llenen todos los extremos antes de que se produzcan viscosidades y zonas frías. Para lograr esto, disminuye la presión, considerando este proceso, por otro lado, isoterma en un proceso ideal (punto 3).

La tercera fase tratará del mantenimiento de la pieza en el molde hasta que se enfríe. En esta fase se sigue inyectando algo de material con el objetivo de que no exista reflujos hacia la cámara de inyección y minimizar las contracciones que se producen cuando la pieza va

enfriándose. La presión va decreciendo hasta el punto cuatro, cuando el material se solidifica.

Por último, se abre el molde y la pieza se expulsa a presión atmosférica (punto 5).

Es importante alcanzar una temperatura idónea para la fusión del polímero que se mantenga durante la inyección antes de enfriarse, así como la presión justa y necesaria. La presión y el tiempo de mantenimiento son claves para que la pieza tenga las dimensiones y acabado deseado.

Algunas de las ventajas de este proceso son:

- Reducción de costes, ya que es un proceso automatizado.
- Precisión elevada, con características detalladas y geometrías complejas
- Aprovechamiento de recursos gracias a la fabricación en cadena
- Utilización de varios tipos de plástico simultáneamente, moldeo por coinyección
- Generalmente, no se necesitan procesos de acabado

Sin embargo, existe la posibilidad de que se introduzca aire en el proceso de llenado, deformándose el material. Para evitar estos defectos durante el proceso de diseño, éste será validado con distintas simulaciones de inyección, a través de las cuales se observará y analizará su comportamiento. Gracias a las innovaciones de este proceso, se obtienen piezas complejas de forma rápida y eficiente, indispensables hoy en día en diversas aplicaciones en distintos sectores.

#### **4.1. Máquina de inyección de plástico BabyPlast**

La máquina de inyección real en la que se colocará el molde a diseñar será la Babyplast 6/6, Ilustración 4-2. Se trata de una máquina industrial adaptada para la formación, instalada en la Universitat Politècnica de València, donde, si se llegase a una buena solución en este proyecto, se podría mecanizar el molde y pieza que se diseñarán. Esta máquina se desarrolló para cubrir grandes necesidades, como son:

- La fabricación de pequeñas series
- El desarrollo de prototipos
- El bajo coste de los moldes
- Ensayos de laboratorio
- Para enseñanza técnica

Como ya se citó en apartados anteriores, se trata de una máquina con experiencia en el campo de la micro-inyección. Esta máquina ha sido diseñada y construida bajo las

normativas EN 201, EN 60204-1-1992 y EN 292-2. Tiene una programación muy fácil, ya que está clasificada por menús con iconos.

Además, Babyplast resuelve el problema de fabricar pequeñas piezas de plástico moldeadas sin necesidad de recurrir a moldes de cavidades múltiples, sobre todo cuando se trata de pequeñas series de prototipos, permitiendo el seguimiento de la producción a través de sinópticos que indican en tiempo real el estado de los captadores y accionadores. Posee concepción modular y es compacta, silenciosa y limpia.

En las siguientes ilustraciones se muestra la máquina inyectora real de la Universidad y una imagen más clara de su panel de control (Ilustración 4-3), donde se pueden observar los diversos menús *Manual*, *Automático*, *Varios*, *Temperaturas* y *Tiempos*. Cada una de las opciones dispone de más opciones llamadas *Submenús*.

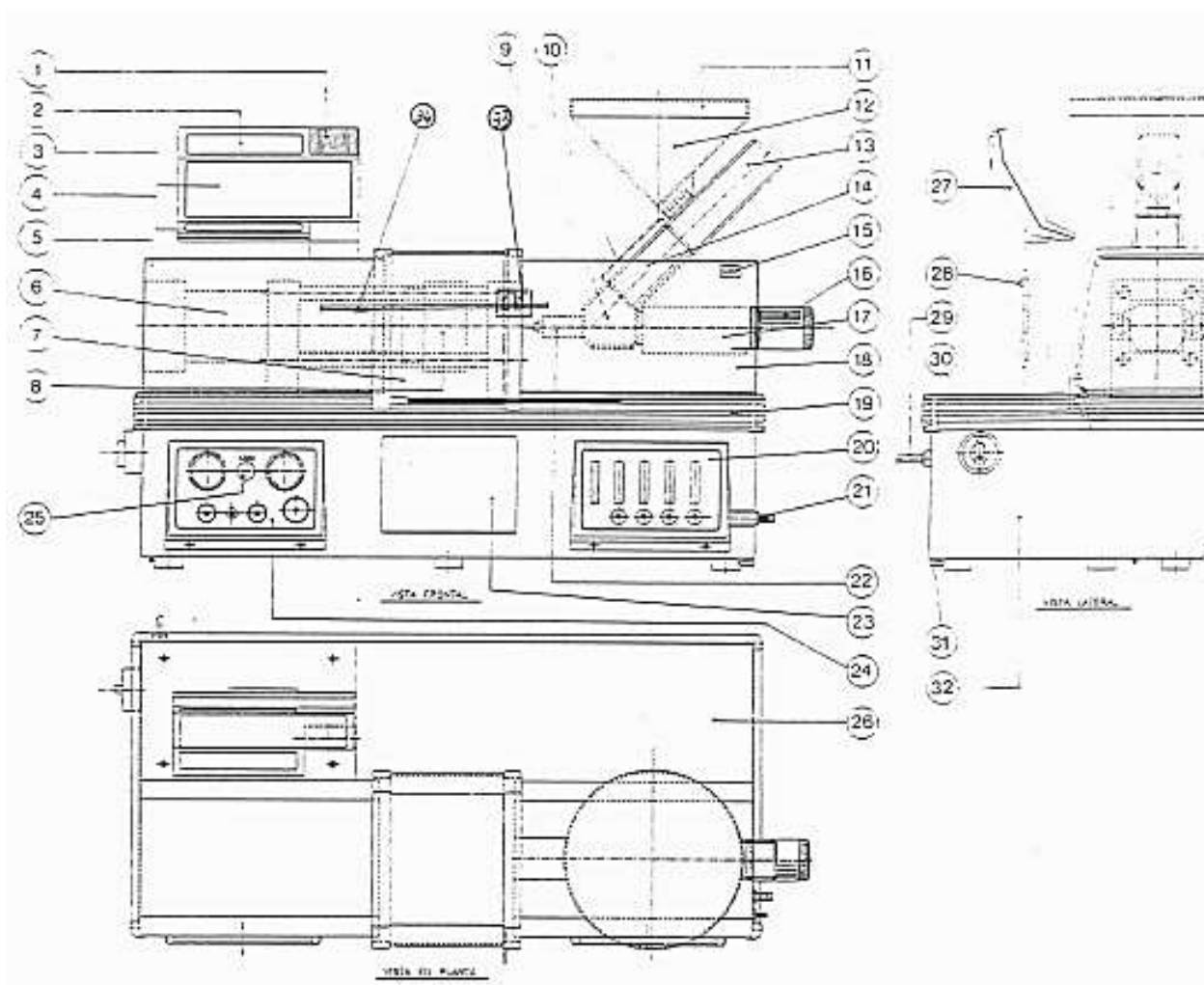


Ilustración 4-2. Máquina de inyección de plástico Babyplast 6/6



Ilustración 4-3. Panel de control de la máquina Babyplast 6/6

Según el propio manual de Cronoplast, SL, tenemos el siguiente esquema de las partes fundamentales de la Babyplast 6/6 en la siguiente Ilustración 4-4.



- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| 1-Luz de alarma.                         | 17-Pistón de Inyección.         |
| 2-Display                                | 18-Carenado de Inyección.       |
| 3-Cuadro Sinóptico                       | 19-Perfil Guía.                 |
| 4-Teclado.                               | 20-Caudalímetro.                |
| 5-Carenado de Cierre                     | 21-Entrada-Salida de agua.      |
| 6-Pistón de Cierre                       | 22-Boquilla.                    |
| 7-Carlinga.                              | 23-Caida de Piezas.             |
| 8-Plato Móvil.                           | 24-Paro de Emergencia.          |
| 9-Cámara de Inyección.                   | 25-Cuadro de Mandos Hidráulicos |
| 10-Cámara de Plastificación, Protección. | 26-Tapa Depósito.               |
| 11-Tapa Tolva.                           | 27-Ordenador                    |
| 12-Tolva.                                | 28-Conector de Memoria Externa. |
| 13-Pistón de Plastificación.             | 29-Cable de Red.                |
| 14-Camará de Plastificación.             | 30-Interruptor General.         |
| 15-Ventana.                              | 31-Desagüe                      |

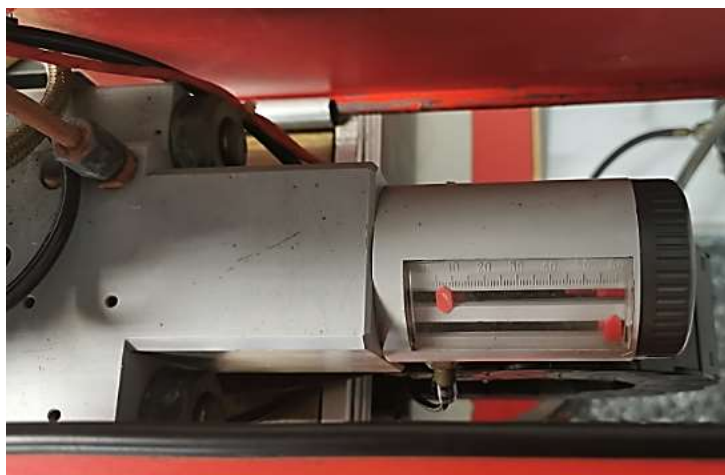
Ilustración 4-4. Partes fundamentales Babyplast 6/6

Asimismo, según indica el catálogo Alecop, permite inyectar la mayor parte de los materiales termoplásticos del mercado: PP, PA, ABS, PS, PBT, POM, PPS. Todos sus movimientos son hidráulicos y están realizados por un grupo motor-bomba de alto rendimiento. Contiene también manómetros de visualización de presión de inyección y de

presión de cierre del molde, controlando la prensa por dos microprocesadores. También se indica que se puede programar la puesta en marcha anticipada del motor y de la calefacción para reducir tiempos muertos al inicio de la producción, así como una refrigeración regulable mediante caudalímetro.

Su sistema de platos es de concepción original, usado siempre como porta-moldes, el cual permite el montaje únicamente de placas (que serán seleccionadas mediante la empresa *Hasco Iberica Normalizados S.L.U.*), reduciendo el tiempo y coste de los moldes. Esto mejora la precisión de las piezas producidas, permitiendo el cambio rápido en la producción.

En la Ilustración a continuación, Ilustración 4-5 se muestra la cantidad de volumen máximo de material a introducir en la máquina inyectora, siendo éste bastante reducido, como se verá posteriormente en las características técnicas de la máquina.



*Ilustración 4-5. Indicador de volumen de material en Babyplast, 6/6*

En las siguientes imágenes, Ilustración 4-6, se observan diferentes partes importantes de nuestra inyectora, señalando las más destacables:



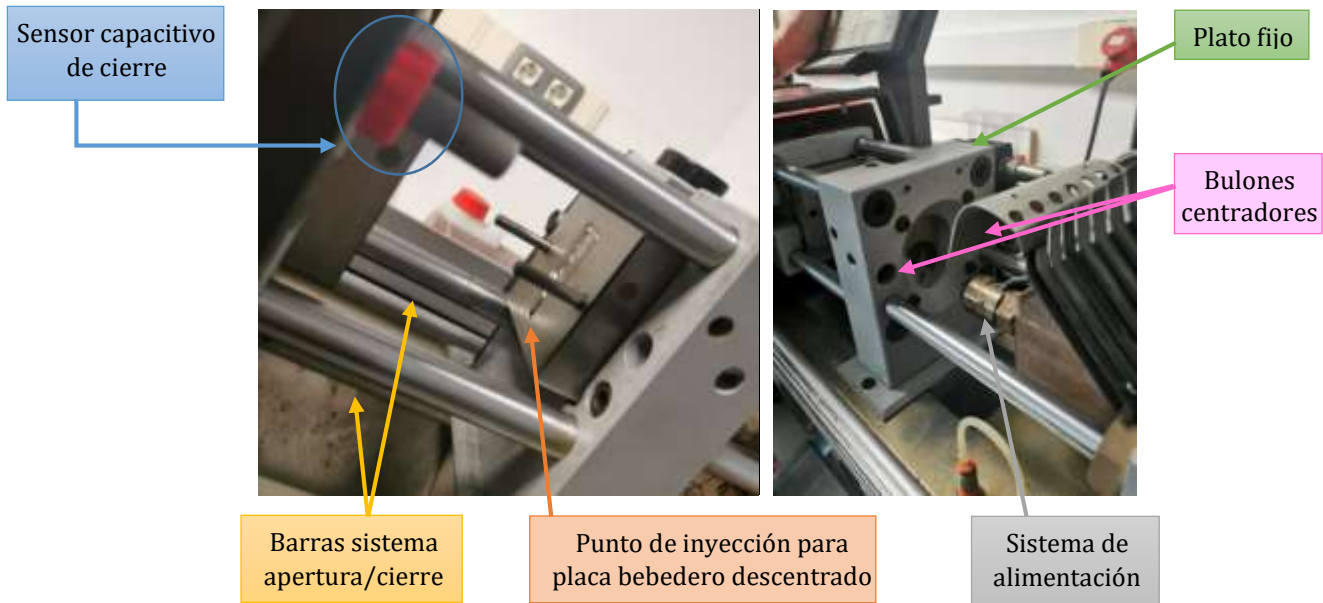


Ilustración 4-6. Sistema de platos porta-moldes de una Babyplast y partes más importantes

Como se citó anteriormente, gracias a este sistema de platos la precisión dimensional es muy fácil de obtener, así como un coste competitivo debido al bajo coste por hora. Como se trata de moldes de pocas cavidades, el equilibrado de la posición de estas cavidades se hace simple y fácil, permitiendo minimizar el ciclo de inyección. Se reducen los tiempos en los cambios de moldes y materiales, ya que los moldes postizos se fijan con los dos tornillos que se ven en la imagen anterior, centrados a los platos de la máquina. Como nos explica la propia empresa Babyplast, el grupo de inyección posee dos posiciones, una central y otra 25mm más baja, por lo que, si en alguna ocasión fuese imposible inyectar centralmente, se podría mantener la cavidad descentrada respecto al molde, inyectando por el lado inferior.

Finalmente, contiene parada de emergencia mediante seta, así como pantalla de protección con detectores y protección de las zonas calientes. Está certificada cumpliendo la normativa Europea CE.

#### 4.1.1. Características técnicas

A continuación, se muestra una Tabla 4-1, donde se plasman las características técnicas de nuestra inyectora según la empresa de tecnología Alecop. De todos estos parámetros, observamos que el volumen máximo que se podrá conseguir es de 9,2 cm<sup>3</sup>, dato en el que nos centraremos para diseñar nuestras piezas y para el diseño del molde.

Tabla 4-1. Características técnicas Babyplast 6/6

<b>Diámetro del pistón (mm)</b>	10	12	14	16	18
<b>Presión de inyección (Kg/cm)</b>	2650	1830	1340	1030	815
<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	4,7	6,8	9,2	12	15
<b>Fuerza de cierre</b>	62,6 KN				
<b>Fuerza de apertura</b>	4 KN				
<b>Carrera de apertura</b>	30 - 110 mm				
<b>Fuerza de expulsión</b>	7,5 KN				
<b>Carrera de expulsión</b>	45 mm				
<b>Presión hidráulica</b>	130 bar				
<b>Capacidad del depósito de aceite</b>	16 litros				
<b>Nivel de ruido</b>	< 70 dB				
<b>Ciclo en vacío</b>	2,4''				
<b>Potencia instalada</b>	2,95 KW				
<b>Grueso del molde</b>	70:135 mm				
<b>Memorización de parámetros</b>	100 moldes				
<b>Refrigeración</b>	Circuito abierto de agua				
<b>Refrigeración (opcional)</b>	Mesa-refrigerador circuito cerrado				
<b>Peso</b>	125 Kg				
<b>Dimensiones</b>	1100 x 500 x 700 mm				
<b>Alimentación</b>	3x 380 Vac (3 fases+neutro+tierra)				
<b>Homologaciones</b>	CE APAVE				

Estas son las características básicas de la máquina inyectora Babyplast, en el caso de que se necesitare más información técnica, se recurrirá al manual de Cronoplast SL.

## 5. METODOLOGÍA

La metodología que se seguirá en este proyecto para dar con una solución válida será sencilla, con un método de prueba y error, probando alternativas y, más tarde, verificando si funcionan.

En primer lugar, tendremos que diseñar el recipiente de plástico en dos componentes distintos: tapa y base. Será necesario rediseñar estos elementos para reforzarlos de manera mejorada para su posterior fabricación mediante moldeo por inyección. Estos diseños nos servirán para simular el proceso de inyección de plástico y analizar las entradas de inyección y defectos a controlar para corregir posibles errores.

Se realizará también la parte CAM correspondiente al plan de procesos que se seguirá para la fabricación de las piezas a través del molde que las conformará. Una vez realizados todos los diseños y teniendo clara su manufactura, se postprocesará y se simulará el código CNC para verificar que todo cumple los requisitos establecidos.

A medida que se realice este proyecto, se añadirán, modificarán o eliminarán variantes del producto, todo ello con el objetivo de proponer mejoras en nuestro proceso de inyección.

### 5.1. Normativas

Para este proyecto, también se deberán tener en cuenta las distintas normativas existentes para el proceso de inyección de plástico y su maquinaria, así como para el diseño de las piezas y molde. Con el desarrollo hoy en día de las máquinas y los riesgos que pueden provocar, se debe certificar que la máquina a utilizar cumpla con todas las normativas preventivas de aplicación (marcado CE). Para ello, se utilizarán las siguientes normas:

- ✚ UNE-EN 201:2010: Maquinaria de plásticos y caucho. Máquinas de moldeo por inyección. Requisitos de seguridad.
- ✚ UNE-EN ISO 294-1:2017: Plásticos. Moldeo por inyección de probetas de materiales termoplásticos.
- ✚ ISO 14001: Sistema de Gestión del Medio Ambiente.
- ✚ UNE-EN ISO 13485:2018: Productos sanitarios. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos para fines reglamentarios.
- ✚ OHSAS 18001: Gestión de Seguridad y Salud Laboral.

Sin embargo, ya que el recipiente va a ser empleado para almacenar diferentes muestras, nos centraremos en materiales plásticos que no contaminen éstas. Por lo que las normativas

a utilizar serán similares a las referidas por el sector de la alimentación, enumeradas a continuación.

- ✚ Reglamento 10/2011 de la Comisión, de 14 de enero de 2011, sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos. Esta norma trata de listar las sustancias autorizadas en la composición de los materiales plásticos, así como de marcar los límites de migración para que los materiales no contaminen los alimentos.
- ✚ Reglamento 2023/2006, de 22 de diciembre de 2006, sobre buenas prácticas de fabricación de materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos. Se tienen en cuenta las instalaciones, el control de calidad y la selección de materias primas.
- ✚ Reglamento 282/2008, de 27 de marzo de 2008, sobre los materiales y objetos de plástico reciclado destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se modifica el Reglamento 2023/2006. Este reglamento indica que sólo pueden comercializarse los materiales procedentes de un proceso de reciclado autorizado.

Más tarde, también se tendrán en cuenta las tolerancias geométricas y dimensionales de las piezas, así como los parámetros de inyección de nuestra máquina Babyplast.

## 5.2. Mapa de procesos

Primeramente, se debería analizar el Mapa de Procesos para definir los límites de cálculo, ya que es una fase fundamental que recoge de forma ordenada todas las etapas del ciclo de vida de la unidad funcional de un producto.

Existen dos enfoques del alcance de los componentes a diseñar y simular:

- Business to Business (B2B) o de la cuna a la puerta, el cual entiende que el ciclo de vida del producto finaliza con su entrega a otra organización.
- Business to Consumer (B2C) o de la cuna a la tumba, tiene en cuenta las actividades posteriores a la entrega del producto al cliente o usuario.

Más tarde, se recopilarían los datos necesarios para la realización del mecanizado de los componentes, como pueden ser los procesos implicados, la selección de los materiales adecuados, la maquinaria e instalaciones, los consumos de energía, etc.

Por consiguiente, se realizará el diseño de la pieza y del molde mediante softwares CAD/CAM que facilitarán el trabajo para, después, realizar la simulación de inyección de plástico de los mismos, obteniendo así los resultados.

A modo de ejemplo, en el [Anexo I](#), para su mayor claridad, se puede apreciar un mapa de procesos sobre la fabricación de un producto.

## 6. DESARROLLO

En primer lugar, se diseñará el recipiente base y la tapa de un pequeño bote para almacenar muestras mediante el software CREO Parametric 7. Su diseño será simple, salvo que se añadirán unos refuerzos para solucionar problemas de roturas derivados de su manipulación y uso.

Seguido de esto, se diseñará también los moldes necesarios para la fabricación de cada componente. Para ello, se pondrá atención en las características de nuestra máquina inyectora BabyPlast recogidas anteriormente en el apartado 4.1.1.

Para ambos diseños se seleccionarán los materiales más adecuados según los requisitos existentes mediante el software CES-Edupack 2020.

### 6.1. Diseño de la pieza mediante Creo Parametric 3D

A continuación, se muestran imágenes reales del recipiente original con sus dos partes a diseñar, Ilustración 6-1.



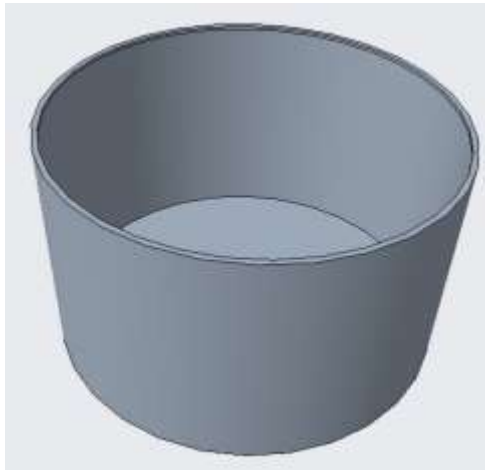
Ilustración 6-1. Piezas a diseñar

Las dimensiones medidas para estas piezas son las mostradas en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1. Dimensiones recipiente de muestras

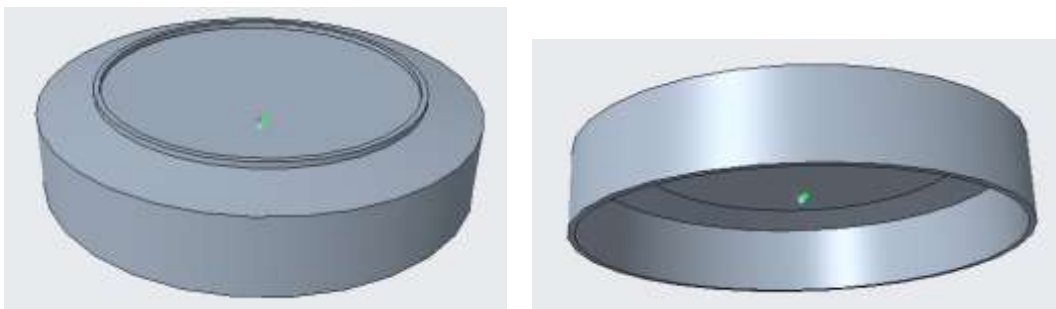
BASE		TAPA	
<b>Diámetro exterior abertura</b>	34,7 mm	<b>Diámetro exterior</b>	35,8 mm
<b>Diámetro exterior fondo</b>	33,7 mm	<b>Diámetro interior</b>	34,8 mm
<b>Espesor</b>	1 mm	<b>Altura (con aro circular)</b>	7,83 mm
<b>Altura</b>	20 mm	<b>Altura (sin aro circular)</b>	6,4 mm
<b>Diámetro bulto</b>			23,6 mm

Elegiremos el plano XY para trabajar, ya que el eje Z coincide siempre con el eje de la herramienta y con la dirección de desmoldeo en inyección a la hora de fabricar. Esto nos facilitará la parte CAM y CAE de nuestro diseño. Seguido de esto, se procede a crear la geometría de la base mediante extrusiones. A continuación, en la Ilustración 6-2 se muestra la base realizada. Se puede observar la ligera conicidad del bote.



*Ilustración 6-2. Base recipiente mediante CREO*

En la siguiente Ilustración 6-3 se muestra la tapa del recipiente, donde se aprecia la conicidad de la parte de arriba, realizada para mejorar el ajuste al ensamblar ambas piezas.

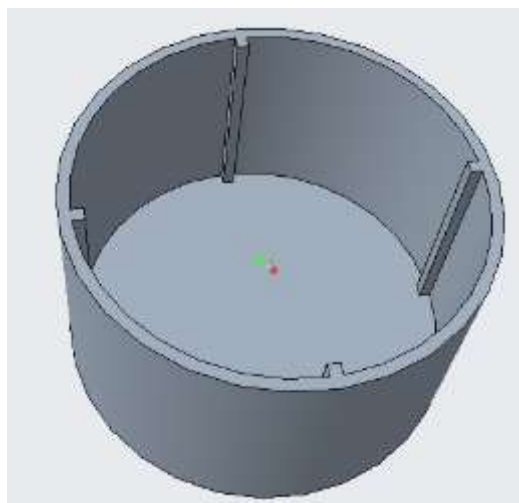


*Ilustración 6-3. Tapa recipiente mediante CREO*

### 6.1.1. Rediseño para reforzar las partes del recipiente

Habría que implementar algunas modificaciones que faciliten ciertos aspectos del proceso de inyección. Para ello, se realizará un pequeño rediseño para reforzar tanto la base como la tapa del recipiente de muestras, ya que se rompe con mucha facilidad. Todo esto será posible si contamos con volumen suficiente para realizar la inyección de cada pieza por separado. Se tratará de añadir refuerzos interiores en la base y en la tapa, intentando aumentar el espesor lo mínimo posible, y siempre dentro de los 9,2 cm<sup>3</sup> que es capaz de inyectar la máquina.

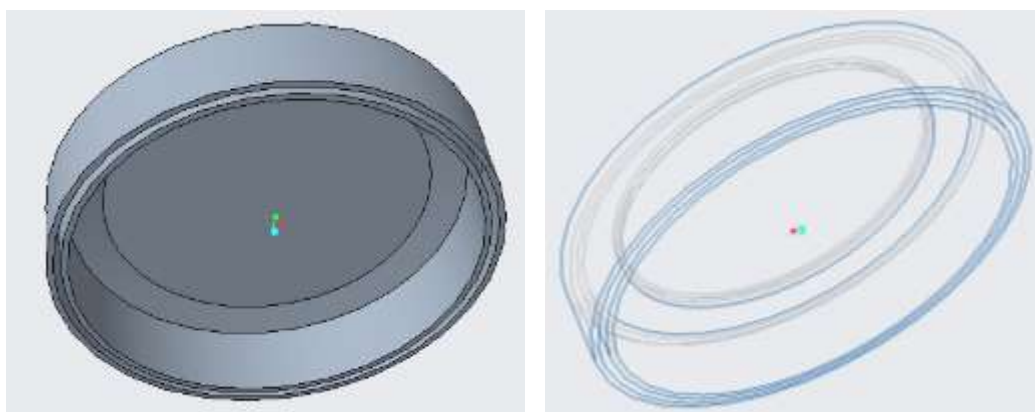
Se ha optado, en una primera versión para la base, añadir cuatro costillas de 1x19x1 mm en las paredes interiores como se muestra en la siguiente imagen, Ilustración 6-4.



*Ilustración 6-4. Refuerzos de la base*

Sin embargo, este rediseño no será mecanizable debido a las esquinas interiores a  $90^{\circ}$ , por lo que buscaremos otra alternativa de refuerzo en la que el radio de la herramienta de mecanizado, así como la altura, sean posibles y adecuadas para la fabricación de la pieza. Aun así, se realizarán los cálculos pertinentes con este rediseño.

Por otro lado, para la tapa, se ha añadido una pared interna de 33,6mm de diámetro y 1mm de espesor, haciendo que la base encaje entre ésta y la pared exterior de la tapa, evitando así posibles flexiones que puedan provocar la fractura de la pieza, como se muestra en la Ilustración 6-5:



*Ilustración 6-5. Refuerzos de la tapa*

Para que esto sea viable, necesitamos no sobrepasar el volumen máximo que puede inyectar nuestra máquina inyectora. Como se citó anteriormente, este volumen máximo es de 9,2 cm<sup>3</sup> con 14 mm de diámetro del pistón.



Calcularemos entonces el volumen de nuestras dos piezas por separado analíticamente:

- Volumen de la base como un cono truncado hueco:

$$V = \frac{1}{3}h\pi(R_{fondo}^2 + R_{abert}^2 + R_{fondo}R_{abert}) - \frac{1}{3}h\pi(r_{fondo}^2 + r_{abert}^2 + r_{fondo}r_{abert})$$

$$= \frac{1}{3}20\pi \cdot (16,85^2 + 17,35^2 + 16,85 \cdot 17,35) - \frac{1}{3}19\pi$$

$$\cdot (15,85^2 + 16,35^2 + 15,85 \cdot 16,35) = 2900,41 \text{ mm}^3 = 2,90 \text{ cm}^3$$

- Volumen de la base reforzada:

$$V_{base \text{ reforzada}} = V_{base} + V_{refuerzos} = 2900,41 + 19 \cdot 4 = 2976,41 \text{ mm}^3 =$$

$$2,98 \text{ cm}^3 < 9,2 \text{ cm}^3$$

- Volumen de la tapa como cono truncado hueco y cilindro hueco:

$$V = \frac{1}{3}h\pi(R_2^2 + R_1^2 + R_2R_1) - \frac{1}{3}h\pi(r_2^2 + r_1^2 + r_2r_1) + h\pi(R_e^2 - R_i^2)$$

$$= \frac{1}{3}1,43\pi \cdot (17,9^2 + 11,8^2 + 17,9 \cdot 11,8) - \frac{1}{3}0,43\pi \cdot (16,9^2 + 10,8^2 + 16,9 \cdot 10,8)$$

$$+ 6,4\pi \cdot (11,8^2 - 11,3^2) = 973,53 \text{ mm}^3 = 0,97 \text{ cm}^3$$

- Volumen de la tapa reforzada:

$$V_{tapa \text{ reforzada}} = V_{tapa} + V_{refuerzos} = 973,53 + 6,4\pi \cdot (16,8^2 - 16,3^2) =$$

$$1306,29 \text{ mm}^3 = 1,31 \text{ cm}^3 < 9,2 \text{ cm}^3$$

- Volumen total del recipiente en conjunto:

$$V_{total} = 4,29 \text{ cm}^3 < 9,2 \text{ cm}^3$$

Viendo este dato, diremos que se podrá fabricar la pieza en conjunto por inyección de plástico en la inyectora Babyplast sin ningún problema, llegando incluso a aumentar espesores si fuese necesario.

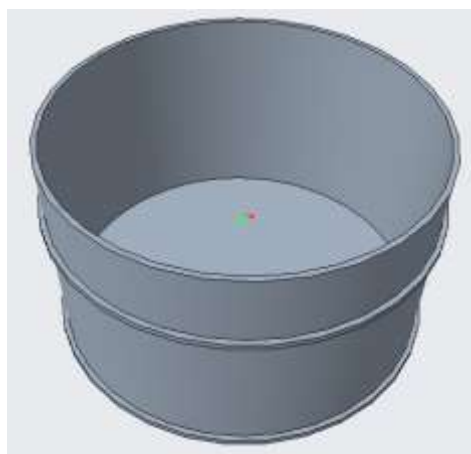
Comparando los resultados analíticos con los obtenidos mediante el software de diseño, tenemos la tabla que se muestra a continuación a modo resumen, verificando que cada pieza podría ser inyectada por separado sin problema, al igual que conjuntamente.

Tabla 6-2. Resumen comparación de volúmenes

	Volumen calculado	Volumen CREO	Volumen Total (cm <sup>3</sup> )	
	(cm <sup>3</sup> )	Parametric (cm <sup>3</sup> )	Calculado	CREO
Base	2,90	1,48	4,29	2,71
Base reforzada	2,98	1,53		
Tapa	0,97	0,86		
Tapa reforzada	1,31	1,18		

### 6.1.1.1. Mejora del refuerzo de la base del recipiente

Ya que la primera versión de los refuerzos de la base no es posible de mecanizar, se ha optado por desechar esta opción. En cambio, se han acoplado dos anillos exteriores, como se observa en la siguiente Ilustración.



*Ilustración 6-6. Mejora de los refuerzos de la base con dos anillos exteriores*

Ahora, el volumen obtenido de la base con estos refuerzos será de  $1,67 \text{ cm}^3$ , volumen mucho menor al máximo de nuestra inyectora. Sin embargo, estos refuerzos deberán tener un radio de acuerdo mínimo, cuyo valor dependerá de la herramienta de mecanizado, que analizaremos con más profundidad más adelante.

Así, hemos diseñado los radios de acuerdo de los dos anillos de  $0,5\text{mm}$  por cada lado. Este redondeo se muestra en la siguiente imagen.



*Ilustración 6-7. Redondeo de los anillos de refuerzo*

Existirá, sin embargo, el problema de mecanizar estas ranuras añadidas, las cuales se tallarán en el molde. Para ello, se podría hacer por electroerosión, pero en este caso se ha buscado otra solución utilizando fresas de disco.

Por otro lado, para la tapa se han aplicado redondeos de 0,5mm por cada lado en la zona superior donde existe un anillo circular. Además, se redondea también la parte superior de la tapa con un radio de 1mm. Todo esto se muestra en la siguiente Ilustración para una mayor comprensión.

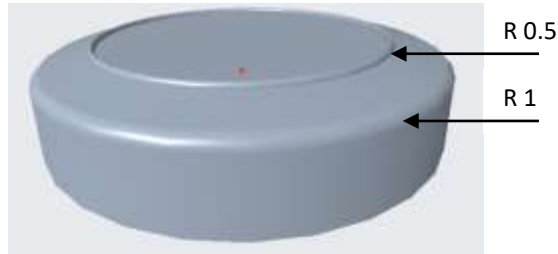


Ilustración 6-8. Redondeos de la tapa

Con estas modificaciones, nuestras dos piezas estarán ya preparadas para ser fabricadas eligiendo las tolerancias adecuadas, como se explica a continuación.

### 6.1.2. Tolerancias dimensionales del recipiente

Los materiales plásticos tienen un comportamiento visco elástico, lo que hace que las dimensiones de la pieza cambien al ser ésta inyectada. Absorben humedad y se expanden térmicamente, haciendo que su volumen aumente. Sin embargo, no existen tolerancias estandarizadas para estos materiales y por ello, estas tolerancias las elegiremos nosotros mismos, dependiendo de la función de nuestra pieza.

Para hacer referencia a las tolerancias estándar nos centraremos en la norma DIN ISO 2768, donde se encontrarán tolerancias parecidas a las obtenibles con materiales metálicos.

Primero, para plásticos, utilizaremos una tolerancia de rango M (media), según DIN ISO 2768 T1 y la empresa Bronymec, de distribución y piezas bajo plano de plásticos técnicos:

- Para dimensiones lineales, excepto aristas matadas, en mm, tendremos:

*Tabla 6-3. Tolerancias para dimensiones lineales*

		RANGO NOMINAL (MM)							
TOLERANCIA		0.5	3	6	30	120	400	1000	2000
		3	6	30	120	400	1000	2000	4000
M		±0.10	±0.10	±0.20	±0.30	±0.50	±0.80	±1.20	±2.00

- Para dimensiones de radios de curvas y alturas de bisel, en mm, tendremos:

*Tabla 6-4. Tolerancias para dimensiones de radios de curvas y alturas de bisel*  
RANGO NOMINAL (MM)

TOLERANCIA	0.5 3	3 6	>6
M	±0.20	±0.50	±1

- Para dimensiones relacionadas con los ángulos, tendremos:

*Tabla 6-5. Tolerancias para dimensiones relacionadas con ángulos*  
RANGO NOMINAL (MM)

TOLERANCIA	<10	10 50	50 120	120 400	400
M	±1°	±0.30'	±20'	±10'	±5'

Como se ha citado al principio de este apartado, estas son las tolerancias estándar en los planos. Ahora, se elegirán las tolerancias según la funcionalidad de la pieza a tratar en este proyecto en concreto. En cuanto a tolerancias más específicas para una mayor precisión, como pueden ser las cotas que realmente se consideren importantes, dejando atrás las que no lo sean, se tiene en cuenta la norma ISO 2768, que regula las tolerancias generales.

En cuanto a las tolerancias geométricas, cada plástico presenta un comportamiento diferente, por lo no se recomienda trasladar la nomenclatura ISO definida para aleaciones metálicas a los plásticos para ingeniería. Existen dos grupos principales para clasificar la tolerancia adecuada a los plásticos, plasmados en la siguiente tabla:

*Tabla 6-6. Clasificación de plásticos para Ajustes*

Categoría	Plásticos	Definición
<b>A</b>	POM, PET, PVC-U, PVDF, PP-H, PEEK, PEI, PSU, HGW	Termoplásticos con o sin refuerzo. Baja absorción de humedad
<b>B</b>	PE-HD, PE-HMW, PE-UHMW, PTFE, PA6, PA6G, PA66, PA12	Poliámidas con absorción de humedad

Por lo que, para este proyecto, usaremos la categoría A, materiales termoplásticos con baja absorción de humedad, ya que es lo que se busca para el recipiente de muestras.

### 6.1.3. Ajustes para el cierre del recipiente

Para que ambas piezas encajen sin problema, es necesario distinguir dos zonas en las que se deben realizar ajustes.

1. Primero, para que la tapa del recipiente encaje en la base, sabemos que el diámetro interior de la tapa debe ser ligeramente mayor que el diámetro exterior de la base. Por ello, se propone un **ajuste con juego** en la pared interior de la tapa y la exterior de la doble pared para facilitar el cierre.

Se calculará el juego mínimo ( $J_m$ ) y máximo ( $J_M$ ) admisible, como se muestra en la siguiente imagen para su mayor aclaración, obtenida de apuntes de la asignatura Procesos de Fabricación.

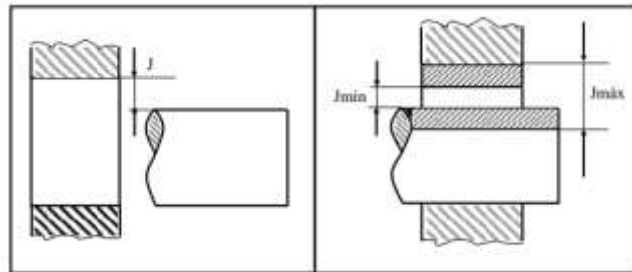


Ilustración 6-9. Ajuste con juego

Así, el juego máximo será la diferencia del diámetro máximo de la tapa y del diámetro mínimo de la base, siendo éste de 0,1mm en la pared interior de la tapa, hasta la mitad de su altura interior, 3,2mm. Por otro lado, el juego mínimo será la diferencia del diámetro mínimo del interior de la tapa y el diámetro máximo de la base, siendo éste de 0mm hasta la mitad de la altura interior de la tapa, al igual que para el juego máximo, como se muestra en la imagen a continuación.

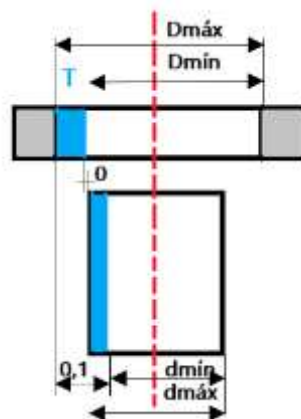


Ilustración 6-10. Ajuste con juego hasta la mitad de la altura de la tapa

2. Tendremos una segunda zona a ajustar para que el recipiente se cierre ajustando. Desde este punto en la mitad de la altura hasta el final de la tapa, habrá una interferencia debido a la ligera conicidad del hueco interior de la tapa, por lo que el diámetro interior de la tapa será menor que el diámetro exterior de la base. Esto se ajustará con un apriete mínimo de 0,05mm y un apriete máximo de 0,1mm. Se muestra en la Ilustración 6-11 la definición de ajuste con interferencia y, en la Ilustración 6-12, el ajuste realizado hasta el final de la altura de la tapa.

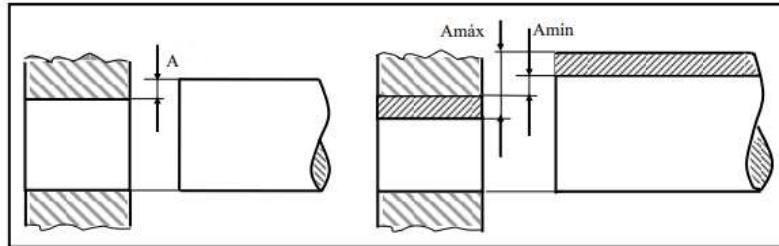


Ilustración 6-11. Ajuste con interferencia

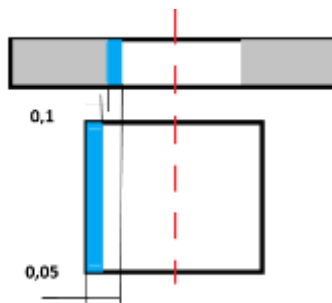


Ilustración 6-12. Ajuste con apriete hasta el final de la altura de la tapa

Así, apretando al final del recorrido, ajustarán las dos piezas adecuadamente.

## 6.2. Diseño de molde mediante Creo Parametric 3D

Principalmente, los moldes de inyección son de gran utilidad para producir grandes volúmenes de piezas de plástico, ya que los moldes pueden tener varias cavidades, fabricando varias piezas en un solo ciclo. En un molde destacan tres partes: bebedero, canal de alimentación y cavidad. La cavidad del molde es una parte importante, ya que de ella depende el correcto desmolde y la salida de los gases que hayan podido quedar dentro del molde.

Es importante conocer el material de la pieza antes de realizar el diseño del molde, así como elegir el material adecuado para el molde. La mayoría están contruidos de aceros

endurecidos, aluminio y/o aleaciones de berilio-cobre, dependiendo del tamaño de la pieza, el volumen a fabricar y la calidad. En el caso de este proyecto, seleccionaremos el material óptimo para nuestro molde mediante el software CES-Edupack en el apartado 6.3.

Así, mediante la herramienta Creo Parametric, se diseñará y simulará (a través del módulo "MoldFlow" de la compañía Autodesk, que incluye Creo) este nuevo componente, buscando un diseño suficientemente bueno para que el resultado final cumpla con los requisitos previos establecidos, así como las tolerancias. A continuación, se muestra en la Ilustración 6-13 las dimensiones del molde y sus partes, según el manual de nuestra máquina inyectora Babyplast 6/6.

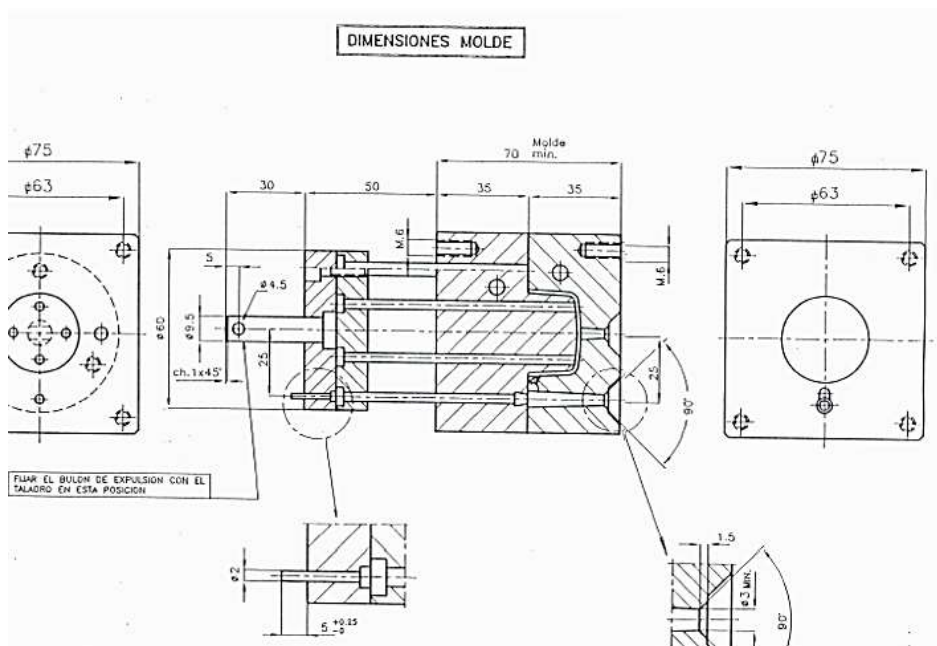


Ilustración 6-13. Dimensiones del molde

Se trata de moldes que han sido concebidos para la máquina de inyección Babyplast, específicamente para la producción de micropiezas de inyección. En la siguiente Ilustración, 6-14, sacada del manual de nuestra Babyplast, se muestra la estructura del molde y, después, el listado de piezas de las que está compuesto, plasmado en la tabla.

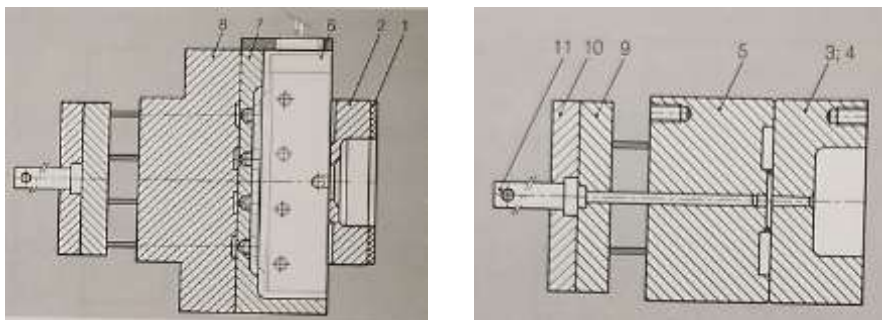


Ilustración 6-14. Estructura del molde

Tabla 6-7. Listado de piezas del molde  
**LISTA DE PIEZAS**

Posición	Denominación	Cantidad	Nº /Norma
1	Placas de aislamiento térmico	1	K5005
2	Placa de sujeción	1	K5110
3	Placa de figura, bebedero central	1	K5121
4	Placa de figura, bebedero descentrado	1	K5122
5	Placa de figura	1	K5120
6	Minicanal caliente	1	H7000
7,8	Placa de figura, sin perforar para H7000	1	K5100
9	Placa porta expulsores	1	K5160
10	Placa base expulsores	1	K5170
11	Tirante de expulsión	1	K5010

Además, en la visita al laboratorio de la Universidad Politécnica de Valencia, se observó un molde de otra pieza ajena a este proyecto, para coger referencias de la posición de los bulones y expulsores, por ejemplo, y poder prever el diseño del molde que se realizará.

Para el diseño del molde de inyección que se va a realizar, se tendrán en cuenta:

1. Expulsores, que son una especie de pernos que ayudan a la expulsión de la pieza. Además, dejan escapar el aire atrapado durante el proceso de inyección.
2. Puntos de inyección
3. Sistema de vientos
4. Sistema de alimentación
5. Características del molde

Una vez obtenido el modelo 3D de nuestra pieza, el software utilizado nos construirá el molde de forma semi-automática. En primer lugar, se deben seleccionar las características propias de nuestro molde, que serán:

- Dimensiones: 75x75x35mm.
- Material: Acero AISI 420, ya que tiene una alta estabilidad dimensional durante el tratamiento térmico, así como una alta resistencia al desgaste y buena tenacidad. Este material ha sido seleccionado mediante el software CES-Edupack en un apartado posterior.
- Se debe sobredimensionar ligeramente el componente debido a las tolerancias de contracción que sufren los materiales. Se debe tener en cuenta que el molde inicialmente estará frío e irá absorbiendo temperatura, expandiéndose muy poco. En cuanto al plástico, se inyecta en caliente, ya expandido, por lo que cuando éste se enfríe se contraerá, por lo que deberá estar ligeramente sobredimensionado. En este



caso, usaremos un coeficiente de contracción del 2% para nuestro molde, estando su rango entre 1.2 - 2%, especificando en el software la fórmula 1+S.

Para poder realizar el componente deseado con la última versión de refuerzos planteados, necesitaríamos un molde con tres partes, compuesto de dos placas *core* y *cavity*. Estas dos placas serían iguales, es decir, las dos serían *core*. La tercera parte adicional sería una corredera ubicada en el hueco de la pieza, la cual se movería perpendicular a la dirección de extracción. Esta corredera formará una contrasalida en nuestro producto final, creando la forma deseada y facilitando la expulsión de la pieza. En la Ilustración 6-15, de la empresa *NOBLE, Equipment & Services*, se muestran dos croquis de este tipo de molde para un cubo de plástico, donde se observan las correderas interiores, resaltadas en amarillo, que ayudan a crear la geometría buscada.

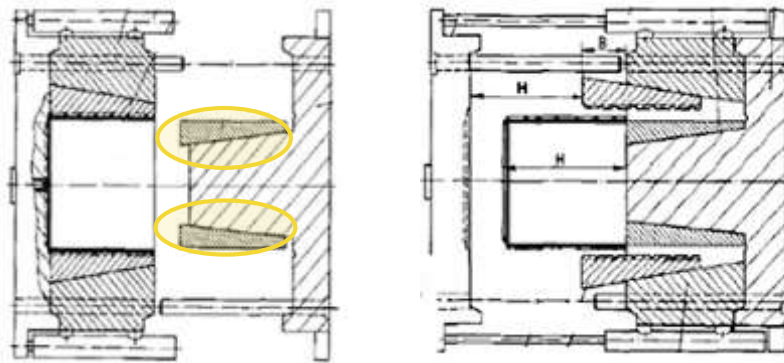


Ilustración 6-15. Moldes con correderas interiores

La dirección de extracción debería ser vertical a nuestra pieza debido a los refuerzos que se han acoplado, como se muestra en la Ilustración 6-16, donde también se puede apreciar la posición de nuestra corredera, en color azul, en la geometría analizada con CREO.

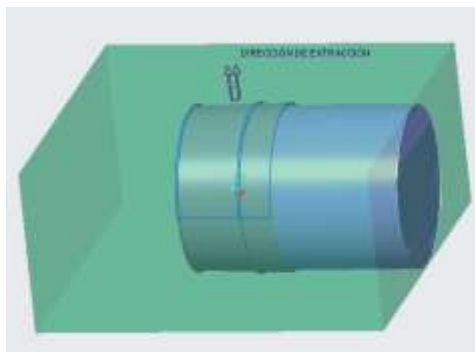


Ilustración 6-16. Vista previa del molde con corredera

Una vez creada la corredera, procederíamos a crear los volúmenes que compondrían las otras dos partes del molde, teniendo así tres archivos “.prt”\* distintos: corredera, *core* y *cavity*.

Sin embargo, nuestra máquina inyectora Babyplast no acepta esta corredera, es decir, solamente puede contener moldes en dos mitades. Por esta razón, los últimos refuerzos realizados no pueden ser inyectados correctamente. Para ello, consideraremos la primera opción de rediseño para la base, siendo estos refuerzos cuatro costillas interiores verticales.

Para la tapa, se realizarán diferentes redondeos, con el fin de poder diseñar un molde de dos partes que sea compatible con la geometría de nuestras piezas y, además, permita encajar con mayor ajuste la tapa en la base. Todo esto se detalla en los siguientes subapartados.

### 6.2.1. Molde de la base

Empezaremos diseñando el molde de dos partes para la base de nuestro componente. Al no poder realizar el molde con los últimos refuerzos diseñados, se optará por cambiar la geometría de la base, redondeando el fondo con un radio de 1mm, tanto exterior como interiormente y añadiendo costillas verticales de 0,5 mm de espesor, con un redondeo en cada costilla. Así, obtenemos un volumen de 1,5cm<sup>3</sup>. Este rediseño se muestra en las siguientes imágenes, Ilustración 6-17.

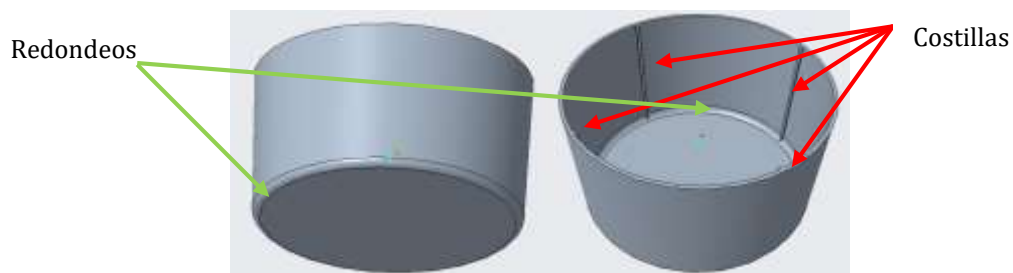
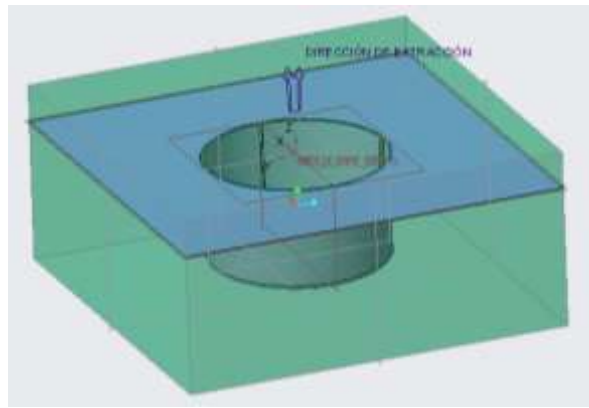


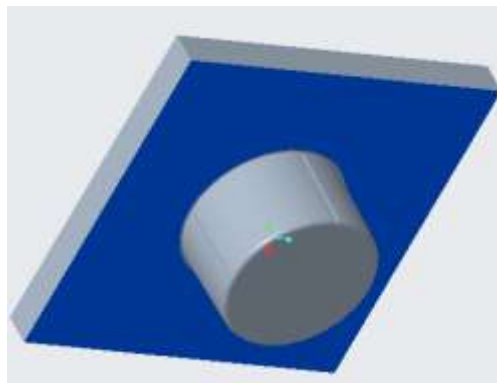
Ilustración 6-17. Rediseño de la base para el diseño del molde

Mediante este diseño se construye su molde con la dirección del eje normal a la base (eje Z) paralela a la dirección de extracción, introducimos las características citadas anteriormente y creamos la línea de partición que separa las dos partes de nuestro molde. Quedando nuestro hueco del componente en el *cavity* y lo que será una protusión cilíndrica en el *core*. Con esto, obtenemos lo que se muestra en la Ilustración 6-18.

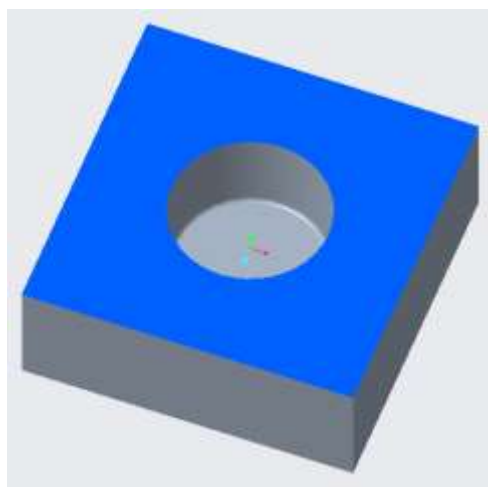


*Ilustración 6-18. Plano de partición del molde*

Una vez que tenemos claro cuáles serán nuestras dos partes del molde, procedemos a separar los volúmenes como hemos citado en el anterior párrafo. Esto hace que se guarden y exporten nuestros dos volúmenes por separado para que, posteriormente, podamos trabajar con ellos como modelos de referencia del tipo mecanizado (\*.asm) “Conjunto CN”. En las siguientes ilustraciones se muestran las dos partes por separado, observando la protusión cilíndrica del *core* y el hueco del recipiente en el *cavity*.



*Ilustración 6-19. Volumen core del molde de la base*



*Ilustración 6-20. Volumen cavity del molde de la base*

Con la vista de explosión de abertura del molde, podemos visualizar nuestro molde con la pieza, por partes, como se muestra en la Ilustración 6-21, comprobando que todo es correcto.

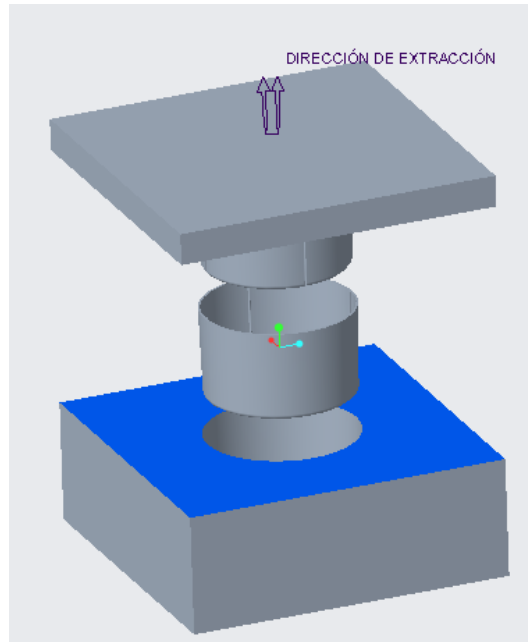


Ilustración 6-21. Abertura del molde de la base

### 6.2.2. Molde de la tapa

Asimismo, para la tapa tampoco podremos realizar los refuerzos que teníamos pensados. Por ello, se han rediseñado.

En este caso, se han realizado dos redondeos: uno en la parte interior, en el fondo de la tapa, de 1 mm, y otro en la parte externa de la abertura, incluyendo un anillo de 0,5mm de espesor. Todo esto se puede observar en la siguiente Ilustración.

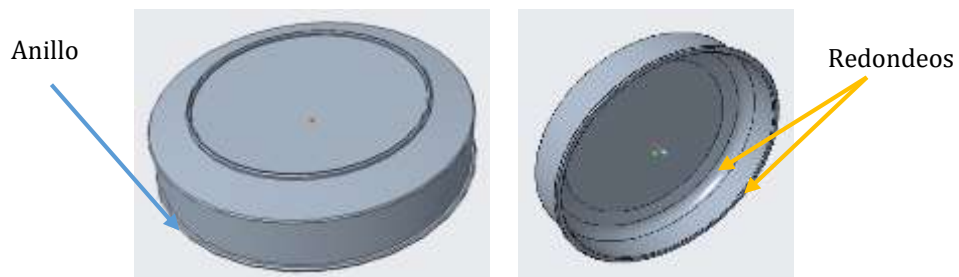
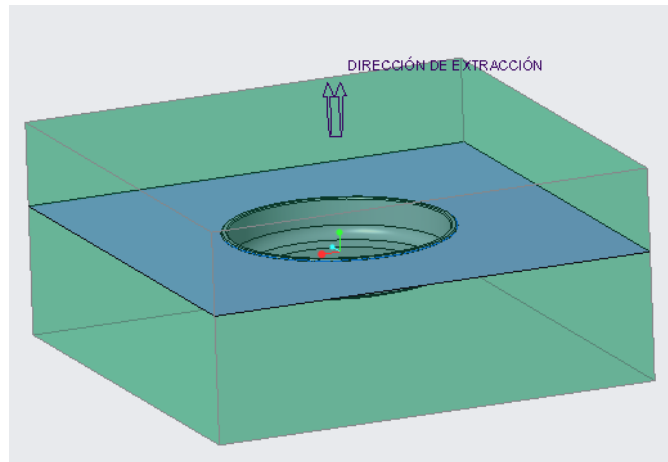


Ilustración 6-22. Rediseño de la tapa para el diseño del molde

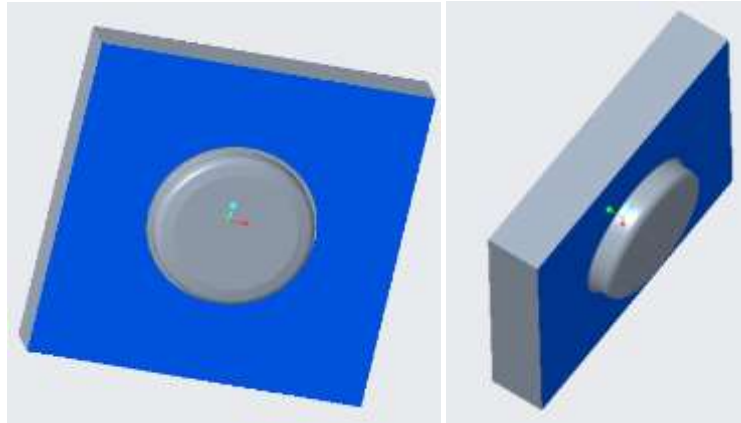
Así, obtenemos un volumen de  $0,94\text{cm}^3$ , obteniendo un volumen total del componente de  $2,44\text{cm}^3$ . Con esto, procedemos a realizar el diseño del molde, al igual que hicimos con la base del componente. Igual que para la base, la dirección de extracción será paralela a la

dirección del eje Z de la tapa, como se muestra en la siguiente ilustración con el plano de partición ya establecido.



*Ilustración 6-23. Vista previa de la dirección de extracción de la tapa y plano de partición*

Separamos los volúmenes indicando cuál el molde superior (*core*) y cuál será el molde inferior que contendrá el hueco de la tapa (*cavity*). Una vez separados, guardamos y exportamos los archivos igual que antes. En las siguientes imágenes observamos estas dos partes de nuestro molde para la tapa del componente.



*Ilustración 6-24. Volumen core del molde de la tapa*

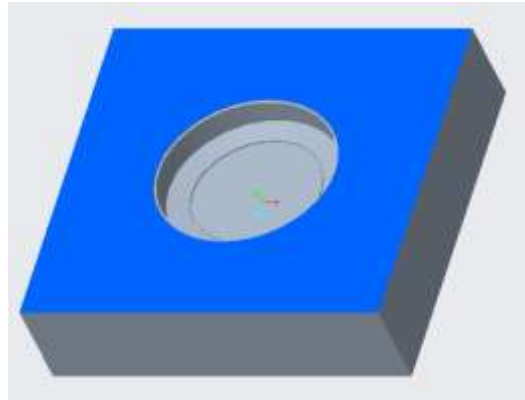


Ilustración 6-25. Volumen cavity del molde de la tapa

Y en este caso, la vista de explosión del molde de la tapa será la que se muestra en la Ilustración 6-26.

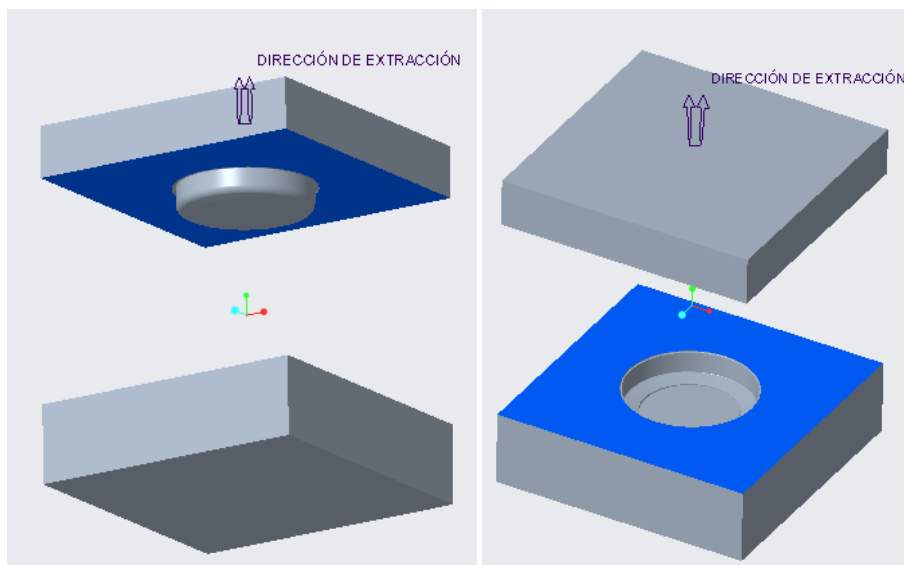


Ilustración 6-26. Abertura del molde de la tapa

Una vez tengamos nuestras dos partes del molde, estará listo para ser mecanizado. En cuanto a la producción de moldes de inyección, existen dos métodos principales:

- 1- Mecanizado convencional, mediante mecanizado CNC (Control Numérico por Computadora).
- 2- Mecanizado por electroerosión (EDM), generando un arco eléctrico entre la pieza y un electrodo, arrancando partículas de la pieza hasta conseguir la forma deseada.

En este proyecto, en principio, no se llevará a cabo la fabricación real de los componentes, pero se realizarán todos los diseños y procesos preparados (incluyendo los programas de control numérico) para que, en caso de querer fabricarlos, tan sólo sea necesario cargar los programas en las máquinas-herramientas de control numérico (MHCH) y proceder a su ejecución.

### 6.2.3. Mejora del diseño del molde

Tras realizar los moldes por separado, comprobar dimensiones y volúmenes, se ha visto que se podría llevar a cabo el diseño de un solo molde para ambas piezas, lo que sería una mejora eficiente. El diseño que realizaríamos, mediante la información que tenemos sobre los premoldes de Hasco K5120, tendría la forma y dimensiones que se muestran en el croquis a continuación, Ilustración 6-27. El círculo de diámetro 35,8mm se corresponde con el de la tapa y el otro con la base.

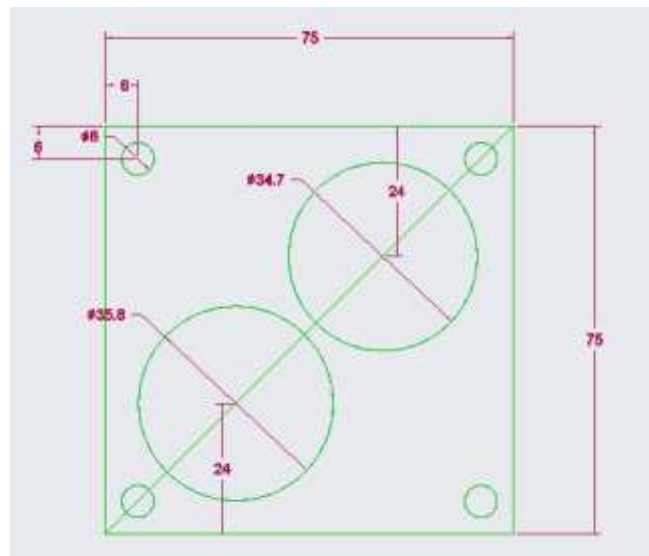
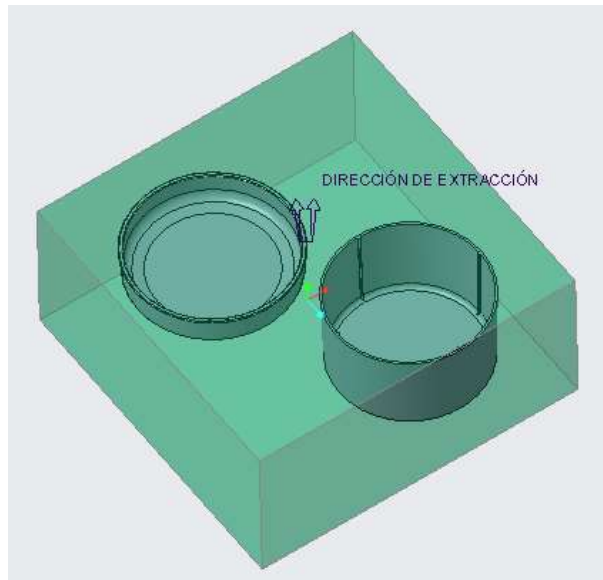


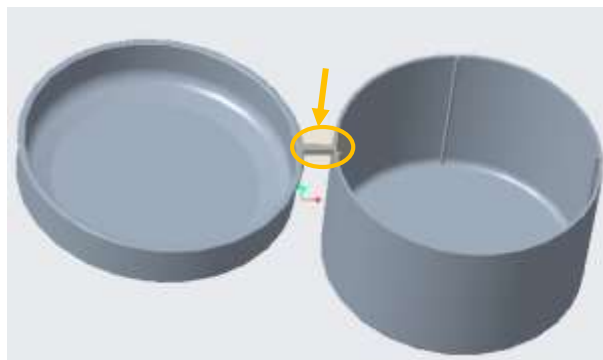
Ilustración 6-27. Croquis mejora de un solo molde

Para esto, realizaremos los mismos pasos que seguimos para crear los moldes de las piezas por separado. Primero, crearemos un conjunto con las dos piezas, ambas con la dirección de extracción paralela a los ejes de las piezas, como se muestra en la Ilustración 6-28. En esta figura se observa cómo sería nuestro molde con las dos piezas juntas.



*Ilustración 6-28. Colocación de las dos piezas para un mismo molde*

Sin embargo, al tratarse de dos piezas independientes, necesitamos unir las de alguna manera para que CREO entienda que se trata de “una sola pieza”, para poder utilizar las herramientas de creación del molde. Para ello, se ha optado por añadir un rectángulo que las una, como se muestra en la siguiente figura.

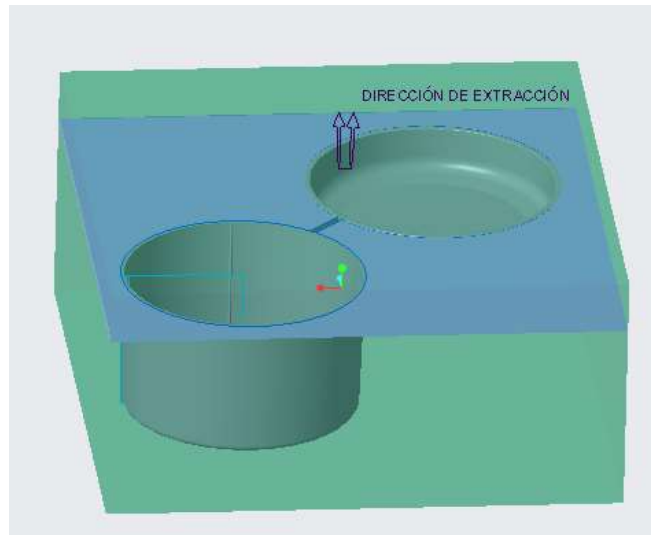


*Ilustración 6-29. Unión de las dos piezas*

Hecho esto, se procede de nuevo a diseñar el molde como si fuese una única pieza. Introducidas las características de nuestro molde según los pre-moldes de la empresa Hasco ya citados con anterioridad, definimos el plano de partición y la división de los volúmenes de las dos partes del molde.

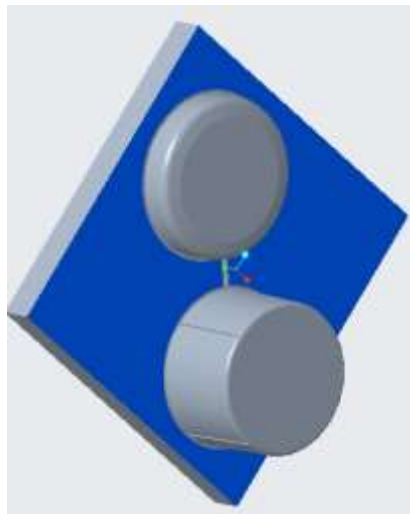
En las siguientes imágenes se muestra el molde finalizado, observando con claridad el plano de partición en la Ilustración 6-30, el cual ha sido posible gracias al componente de unión de las dos piezas, que se eliminará más tarde para proceder al mecanizado final.



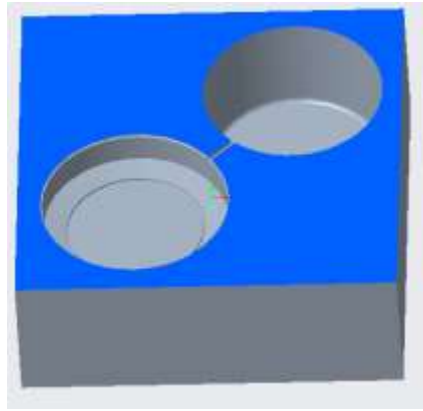


*Ilustración 6-30. Plano de partición del molde de las dos piezas*

Después de definir el plano de partición, se dividen los dos volúmenes, obteniendo el *core* y el *cavity* que se muestran en las Ilustraciones 6-31 y 6-32, respectivamente. Se observa que la unión no deja las dos piezas separadas completamente, pero esto no será problema debido a que, una vez mecanicemos el sistema de alimentación del molde, estas partes solo quedarán conectadas a través de la alimentación.

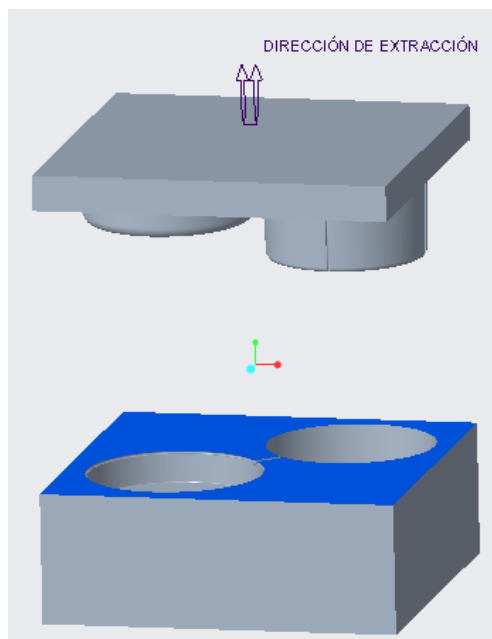


*Ilustración 6-31. Volumen core del molde conjunto para las dos piezas.*



*Ilustración 6-32. Volumen cavity del molde conjunto para las dos piezas.*

Finalmente, observamos en la siguiente Ilustración la vista de abertura del molde completo.



*Ilustración 6-33. Vista de explosión del molde conjunto para las dos piezas.*

#### 6.2.4. Tolerancias dimensionales del molde

Al igual que para las tolerancias dimensionales de la pieza, las tolerancias del molde se elegirán dependiendo de la funcionalidad del molde. Suponiendo un mecanizado convencional, se tendrán tolerancias típicas de menos de una décima de milímetro.

Según el propio manual de nuestra máquina inyectora Babyplast, las tolerancias para los moldes K5120, K5121, K5122 son las que se muestran en la siguiente figura.

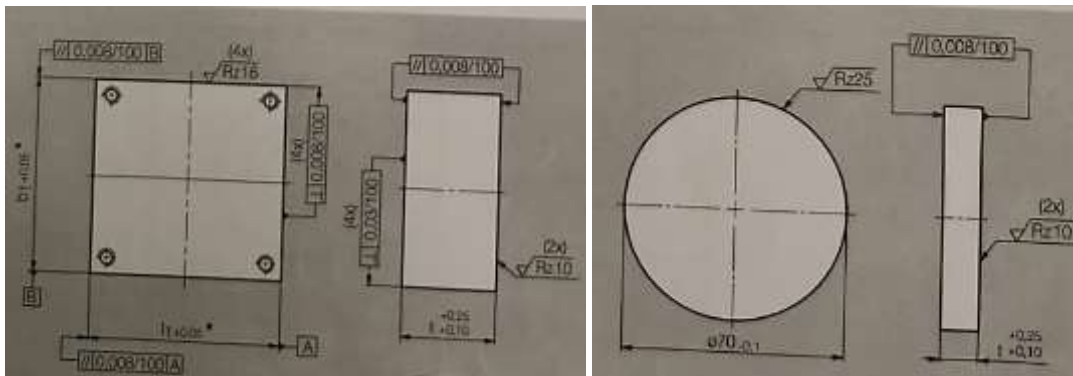


Ilustración 6-34. Tolerancias dimensionales de los moldes de Babyplast

Para nuestro molde, elegiremos unas tolerancias dimensionales similares, o iguales a las ya establecidas por Cronoplast para su máquina inyectora Babyplast.

Por el momento, se han usado los valores nominales para el diseño de las piezas y de los moldes. Estas tolerancias las tendremos en cuenta a la hora de la fabricación utilizando *offsets*, que se definen como las distancias mínimas que se deben mantener respecto a las zonas a mecanizar. El *offset* que utilizaremos será el mismo para la pieza (*offset on part*) como para las zonas a evitar (*offset on check*), que será de 0,1mm.

Además, todas estas tolerancias irán indicadas en los planos adjuntos en el Documento 4: Planos.

### 6.3. Selección de materiales mediante CES-Edupack

Así, llega el momento de la selección de los materiales, tanto del recipiente de muestras, como del molde. Esta selección se realizará mediante la herramienta CES-Edupack, gracias a la cual tendremos una amplia gama de materiales, descartando poco a poco los que no cumplan las características impuestas para su correcta función.

#### 6.3.1. Selección del material del recipiente

Como ya se introdujo anteriormente, utilizaremos un material termoplástico. El polímero a seleccionar debe ser seguro, es decir, que no desprenda sustancias químicas nocivas para que no contamine la muestra contenida en el recipiente. Para la pieza a fabricar, meteremos las restricciones de material en la herramienta CES-Edupack.

Primero definiremos los índices de materiales que vamos a utilizar para acotar nuestra selección:

- Deberá resistir la aparición de deformaciones plásticas debido a la presión del refrigerante interior. Para ello, se seleccionará un índice dentro del apartado “Strength-limited design at minimum mass”, dado que el peso también debe minimizarse, que tenga en cuenta la necesidad de resistir una presión interior sin sufrir deformaciones plásticas, se deberá maximizar:  $\sigma_y / \rho$  (donde  $\sigma_y$  = límite elástico;  $\rho$ = densidad).
- Además, el material empleado debe resistir cambios en la forma, es decir, tener una elevada rigidez. Para conseguir un diseño limitado por la rigidez y a la vez ligereza se elige un índice dentro del apartado “Stiffness-limited design at minimum mass”, en particular, se debe maximizar *Módulo de Young / Densidad* ( $E / \rho$ ).

Iniciamos el proceso de selección con la base de datos genérica (Level 3-Polymer) y elegimos “MaterialUniverse: Polymers - Plastics” (726 materiales). Ahora, introducimos mediante “Limit” las restricciones conocidas:

- Restricciones frente al medio en “Durability”, donde imponemos que el material debe ser resistente a la humedad y a los agentes químicos:

	Mínimo	Máximo
Water (fresh)	Acceptable; Excellent	
Water (salt)		
Weak acids		
Strong acids		
Weak alkalis		
Strong alkalis		
Organic solvents	Acceptable; Excellent	
UV radiation (sunlight)		
Flammability		
Oxygen index	<input type="text"/>	<input type="text"/> %

Ilustración 6-35. Restricciones de durabilidad del material

- Restricciones ópticas, donde especificamos que debe ser transparente y translúcido:

	Mínimo	Máximo
Refractive index	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Transparency	Translucent; Transparent	
Acoustic velocity	<input type="text"/>	<input type="text"/> m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Ilustración 6-36. Restricciones ópticas del material

- Restricciones de proceso, ya que el componente será inyectado por moldeo:

	Mínimo	Máximo
Polymer injection molding	Excellent	
Polymer extrusion		
Polymer thermoforming		
Linear mold shrinkage	<input type="text"/>	<input type="text"/> %
Melt temperature	<input type="text"/>	<input type="text"/> °C
Mold temperature	<input type="text"/>	<input type="text"/> °C
Molding pressure range	<input type="text"/>	<input type="text"/> MPa

Ilustración 6-37. Restricciones de proceso del material

Ahora, se ha reducido la selección directamente a 29 candidatos.

Procedemos ahora a incluir en un nuevo gráfico los índices de materiales seleccionados anteriormente. En este caso, seleccionamos una ventana de restricción maximizando estos índices. En las siguientes gráficas se muestran los materiales que escogemos con la ventana

de restricción, intentando maximizar los índices y desechando los materiales menos resistentes.

En la Ilustración 6-31 se muestra el gráfico del índice  $\sigma_y / \rho$  con una ventana de restricción, donde se encuentran los materiales cuyo índice sea máximo.

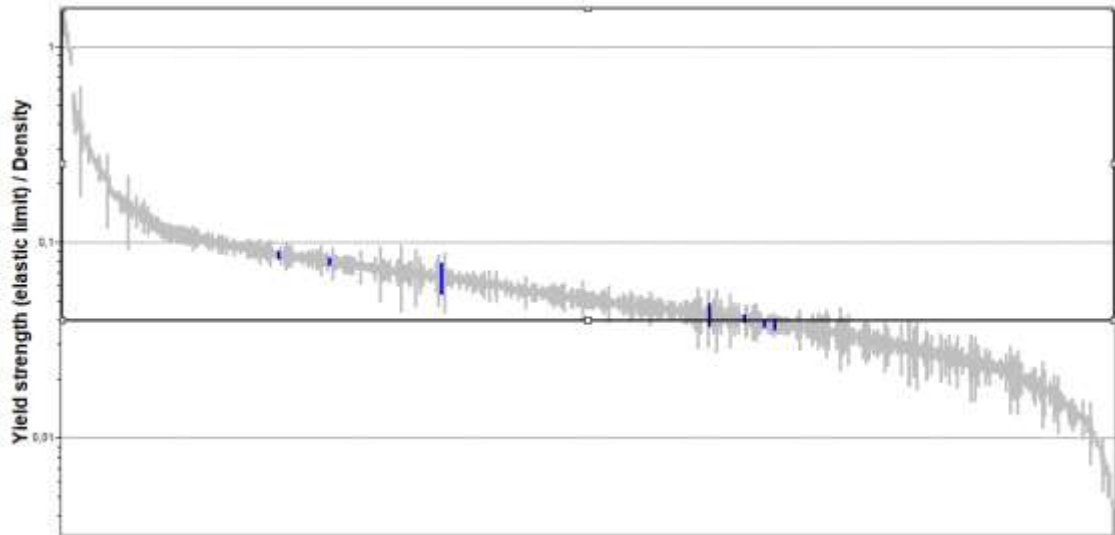


Ilustración 6-38. Gráfico de límite elástico frente a densidad del material

En la siguiente figura se muestra el otro índice a maximizar,  $E / \rho$ . En este caso, también usaremos la ventana de restricción para seleccionar los materiales más rígidos.

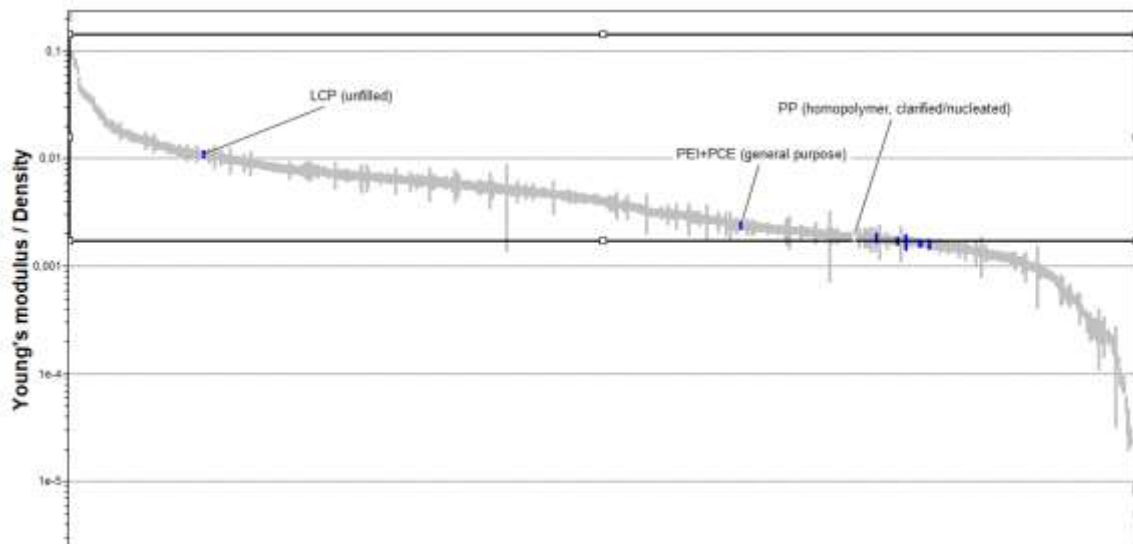


Ilustración 6-39 Gráfico del módulo de Young frente a densidad del material

Ahora, el número de materiales que pasan las restricciones son 7 candidatos:

Nombre
LCP (unfilled)
PDCPD, unfilled
PEI +PCE (general purpose)
PEI +PCE (impact grade)
PP (homopolymer, clarified/nuclea...)
PP (homopolymer, high flow)
PP (homopolymer, low flow)

Ilustración 6-40. Materiales que cumplen con las restricciones

Imponemos una nueva restricción relacionada con su procesado mediante molde por inyección. Para ello, pulsamos sobre el botón “Arbol” y cambiamos a “ProcessUniverse”. Aquí accedemos a conformado (“Shaping”) y seleccionamos dentro de la subcarpeta de “Molding” el proceso de molde por inyección. Los materiales que cumplen todas las restricciones siguen siendo los 7 candidatos anteriores.

Finalmente, aplicamos como última restricción el precio en un nuevo gráfico y ordenamos todos los materiales que han pasado las restricciones a través de esta última restricción, como se muestra en la siguiente Ilustración.

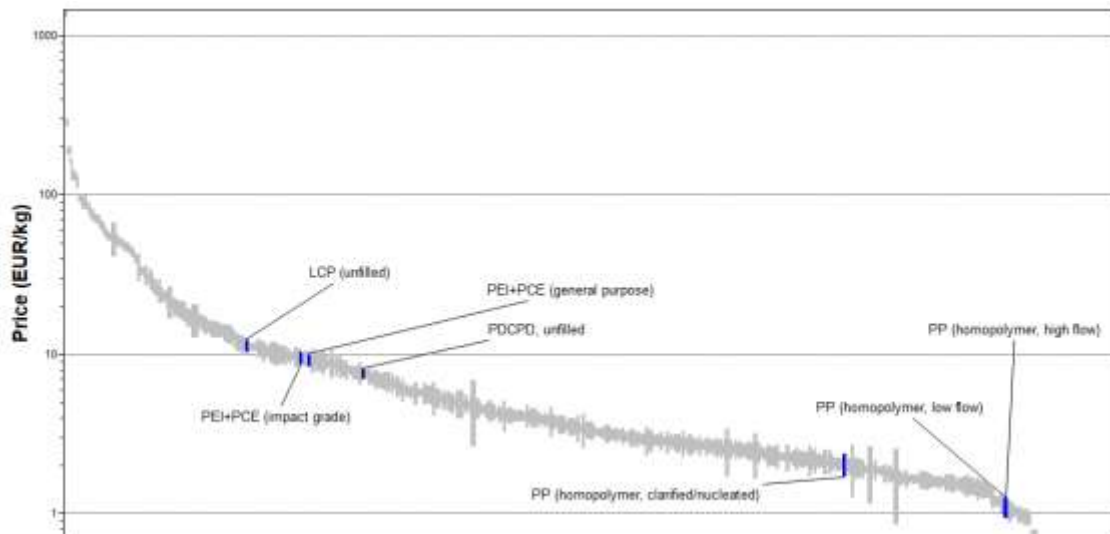


Ilustración 6-41. Gráfico del precio de los materiales candidatos

Se observa que el material más barato es el propileno, del que encontramos tres variantes:

1. Polipropileno homopolímero de alto flujo.
2. Polipropileno homopolímero de bajo flujo.
3. Polipropileno homopolímero clarificado / nucleado.

Analizando las fichas técnicas que ofrece CES-Edupack y comparando estos tres materiales, se decide seleccionar como el mejor material para nuestro recipiente el **PP homopolímero clarificado/nucleado**, ya que es el único de los tres completamente transparente, con un precio de 1,7-2,37 EUR/kg.

Para más información, en el [Anexo IV](#) se encuentra la ficha técnica del material seleccionado.

### 6.3.2. Selección del material del molde

En cuanto al molde, se llevará a cabo el mismo proceso realizado para obtener el material del recipiente. Esta vez seleccionaremos todos los materiales, buscando algún tipo de acero y/o aleación.

Definimos de nuevo los índices de materiales que vamos a utilizar para acotar nuestra selección:

- Se precisa un material con elevada rigidez que evite deformaciones bajo solicitaciones de flexión. Para ello, se elige un índice dentro del apartado “Stiffness-limited design at minimum mass” dado que el peso también debe minimizarse. En particular, se deberá maximizar  $E_f/\rho$  (donde  $E_f$  = módulo a flexión;  $\rho$ = densidad).
- La presencia de algún defecto puede provocar bajo solicitaciones fluctuantes la posibilidad de que una grieta produzca una fractura frágil. Por ello, considerando los esfuerzos a los que está sometido el molde dentro del apartado “Damage-tolerant Design”, se selecciona maximizar los índices:  $K_{IC} / E$  y  $\sigma_y$ .
- Por otro lado, debe ser capaz de resistir la presión ejercida por los gases de salida. Aunque ya se ha considerado maximizar el límite elástico en el índice anterior, pudiera también ser interesante que lo haga a menor peso para conseguir menor gasto energético. Así pues, como alternativa se puede tomar dentro del apartado “Strength-limited design at minimum mass” el criterio a maximizar:  $\sigma_y / \rho$ .
- Además, y al igual que en el caso del recipiente, el material empleado debe resistir cambios en la forma. Para conseguir un diseño rígido y ligero se elige un índice dentro del apartado “Stiffness-limited design at minimum mass”, se debe maximizar *Módulo de Young / Densidad* ( $E / \rho$ ).

Iniciamos el proceso de selección con la base de datos genérica *Level 3-All materials* (4181 materiales). Ahora, introducimos mediante “Limit” las restricciones conocidas:



- Restricciones frente al medio en “Durability”, donde imponemos que el material debe ser resistente a la humedad, a los agentes químicos, a la oxidación de corrosión, a la radiación ultravioleta, resistente a la abrasión y que sea no inflamable:

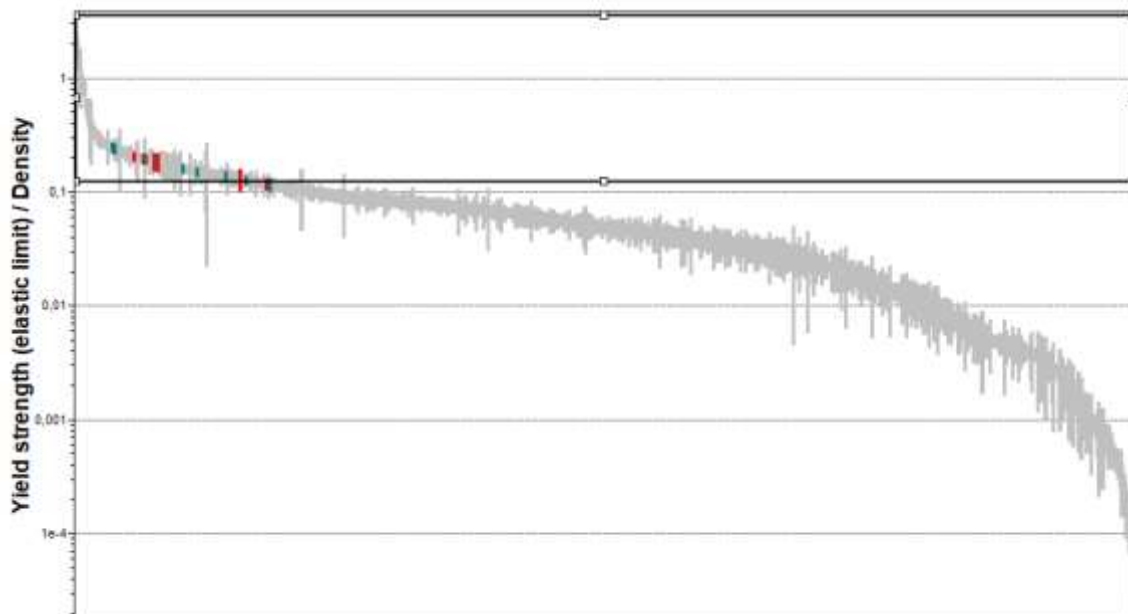
▼ Durability	
Water (fresh)	Acceptable; Excellent
Water (salt)	
Weak acids	Excellent
Strong acids	
Weak alkalis	Excellent
Strong alkalis	
Organic solvents	Excellent
Oxidation at 500C	Excellent
UV radiation (sunlight)	Excellent
Galling resistance (adhesive wear)	Excellent
Flammability	Non-flammable

*Ilustración 6-42. Restricciones de durabilidad del material*

Así, se reducen los candidatos a 57 materiales, siendo la mayoría de ellos aceros inoxidables.

A continuación, se incluyen los gráficos donde se maximizan los índices de materiales indicados, con el fin de restringir los materiales para nuestro molde.

Primero, se maximiza la rigidez a flexión de nuestro material, como se muestra en la siguiente gráfica, limitando así mucho más los materiales.



*Ilustración 6-43. Gráfico de la rigidez a flexión frente a densidad del material*

Después, se analiza la fractura frágil en la siguiente gráfica, donde solamente descartamos un material respecto a la gráfica de la rigidez a flexión.

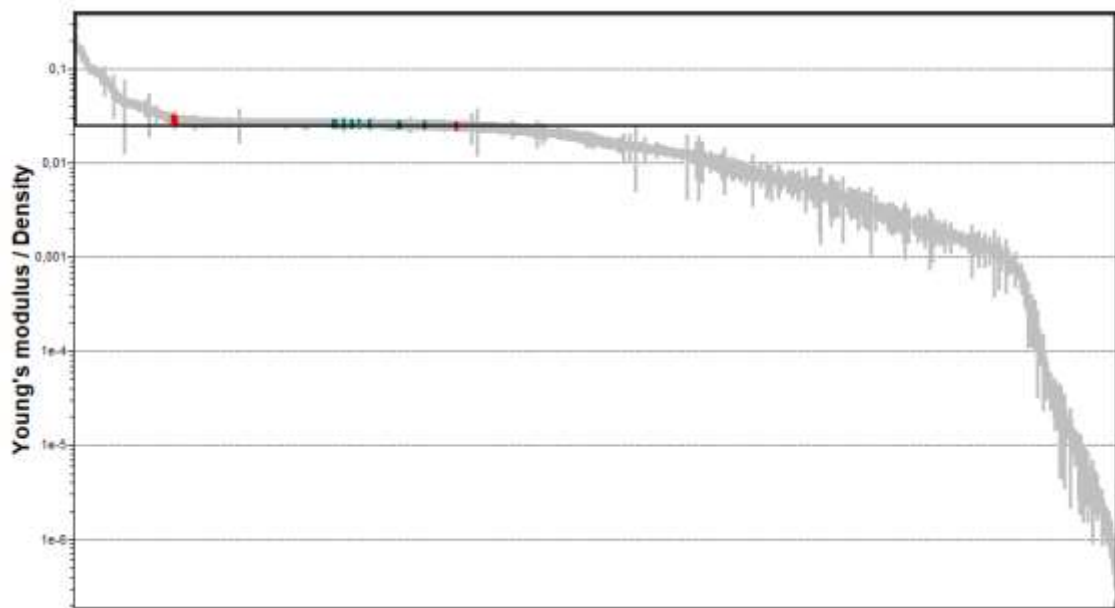


Ilustración 6-44. Gráfico de fractura frágil frente al módulo de Young del material

Para que el material sea resistente y no se deforme, se maximizan los índices  $\sigma_y/\rho$  y  $E/\rho$ , mostrados en las siguientes dos ilustraciones.

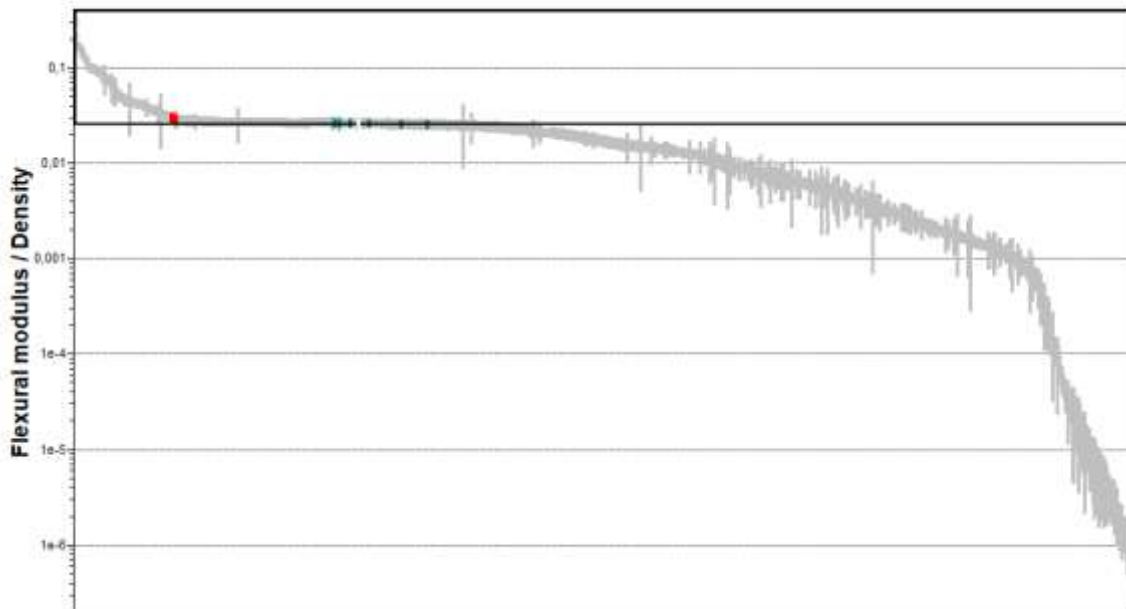


Ilustración 6-45. Gráfico de límite elástico frente a densidad del material

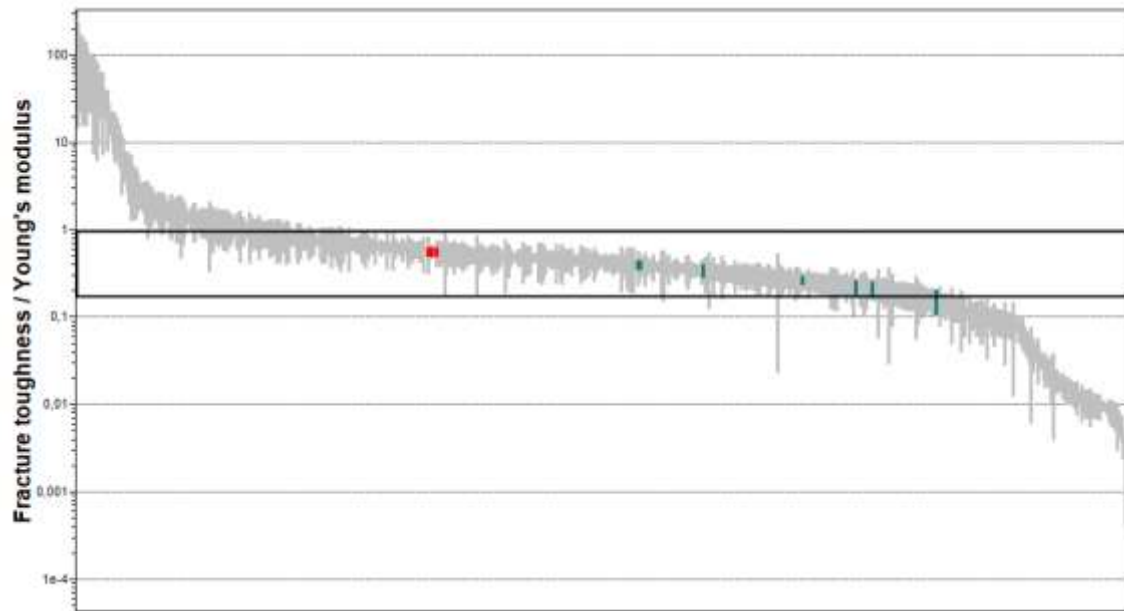


Ilustración 6-46. Gráfico del módulo de Young frente a densidad del material

Con estas restricciones obtenemos 11 materiales. Como aún son demasiados materiales para seleccionar uno, debemos realizar mayores restricciones.

Sabemos que cuanto más alto sea el valor de conductividad térmica, el acero transportará más rápido el calor y tendremos tiempos de ciclo más cortos. Para ello, restringimos el índice de conductividad térmica, como se muestra a continuación, donde sólo quedan los aceros inoxidables.

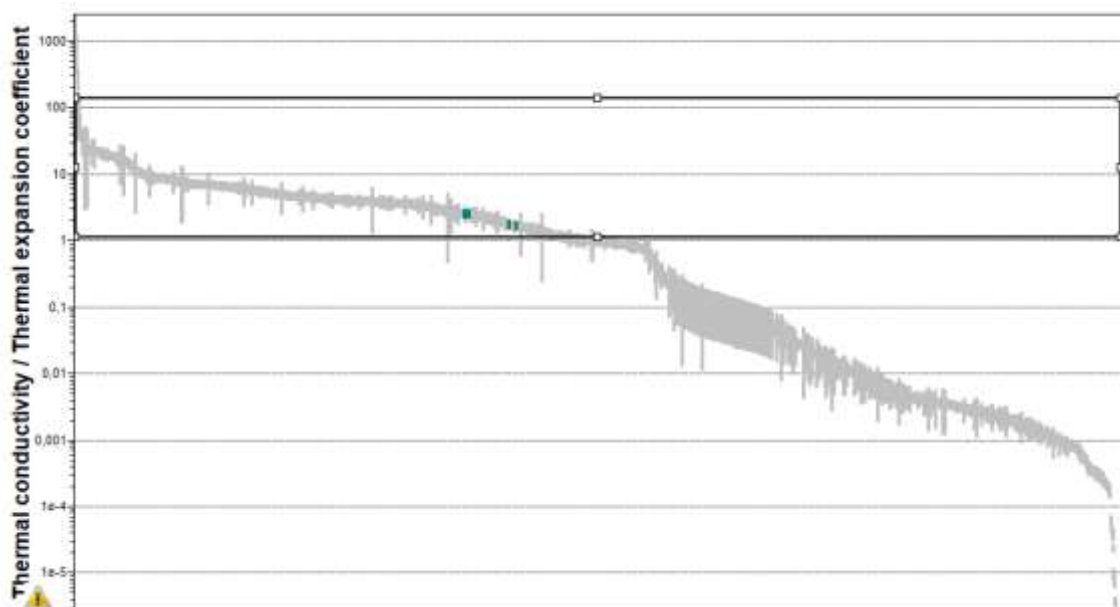


Ilustración 6-47. Gráfico de conductividad térmica

Además, queremos que nuestro molde tenga un desgaste mínimo, es decir, que tenga buena dureza. Esto generará también menor desgaste de las herramientas de corte durante su

mecanizado y se puede fresar a mayor velocidad. Por ello, se grafica la elongación entre la dureza Vickers, quedando bastante restringida nuestra selección, como se muestra en la Ilustración 6-48.

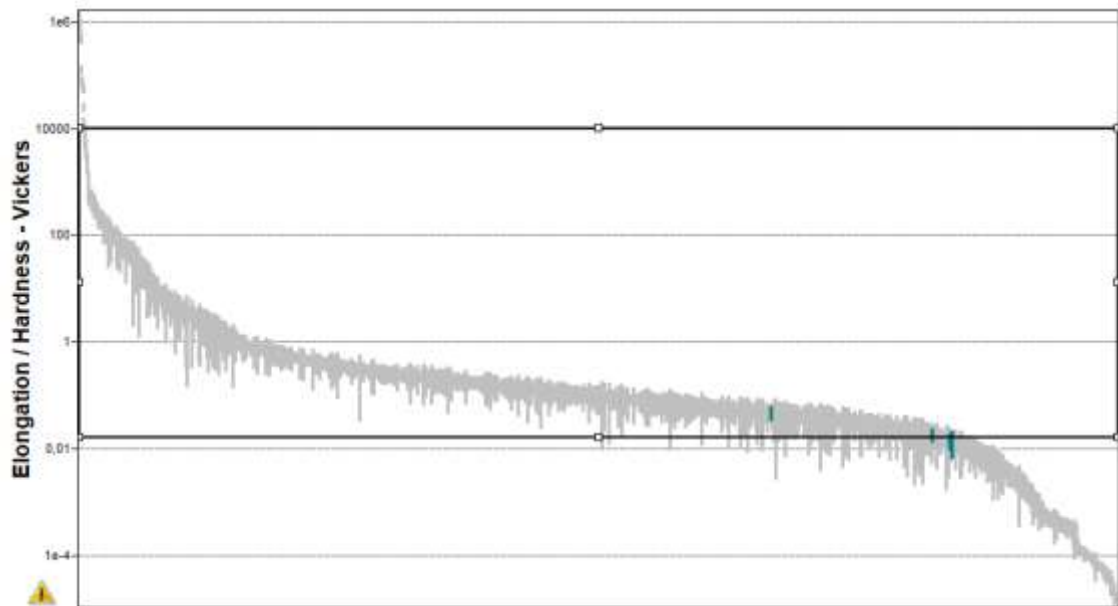


Ilustración 6-48. Gráfico de desgaste y dureza del material

Con esto, nos quedamos con 5 candidatos, que son los siguientes:

- Nombre
- Stainless steel, martensitic, 17-4PH, H900
- Stainless steel, martensitic, AISI 420, tempered at 204°C
- Stainless steel, martensitic, ASTM CA-15, cast, tempered at 315°C
- Stainless steel, martensitic, Custom 455, H950

Ilustración 6-49. Materiales que cumplen con las restricciones

Por último, compararemos los precios para elegir finalmente nuestro material óptimo, como se observa en la siguiente imagen.

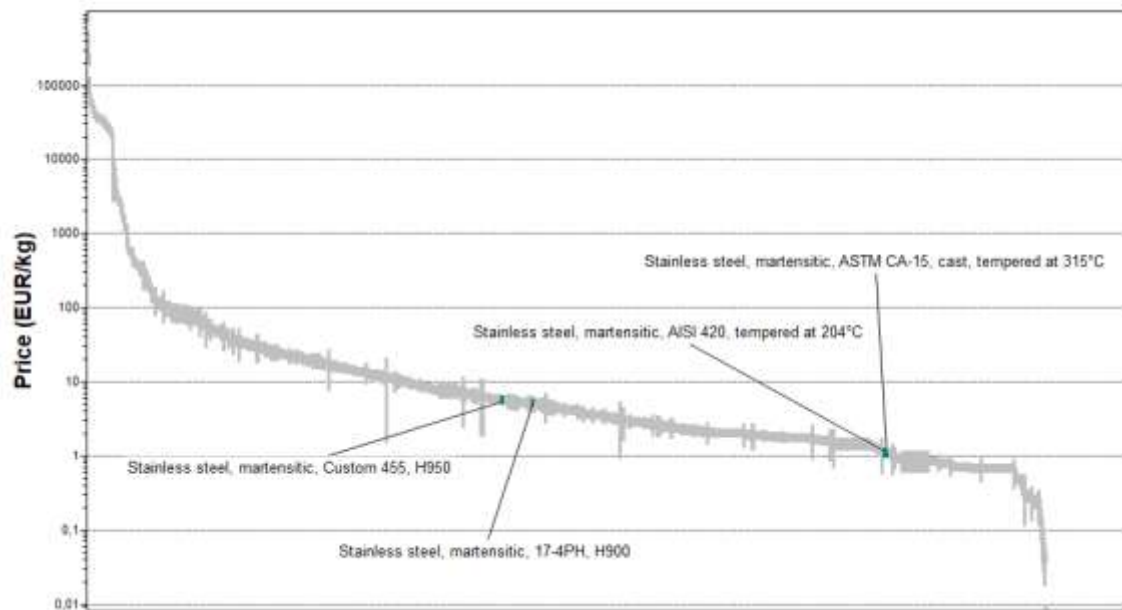


Ilustración 6-50. Gráfico del precio de los materiales candidatos

Como se observa en el gráfico, los dos materiales más baratos son:

- Acero inoxidable, martensítico, ASTM CA-15, fundido y templado a 315<sup>0</sup>C, con un precio de 1,03-1,16 €/kg.
- Acero inoxidable, martensítico, AISI 420, templado a 204<sup>0</sup>C, con un precio de 1,02-1,15 €/kg.

Ya que el precio es prácticamente el mismo, nos centraremos en las propiedades de cada uno de estos dos aceros inoxidables para elegir el más adecuado para el molde. Comparando las características, destacamos que el acero AISI 420 tiene una mayor dureza, 47-53 HRC frente a 37-43 HRC. Además, tiene una mayor resistencia a la corrosión con baja distorsión, alta resistencia al desgaste, alta resistencia a la compresión y es fácil de mecanizar.

Por ello, se selecciona como mejor material para nuestro molde el **AISI 420, templado a 204<sup>0</sup>C**. Las características de este material se encuentran en la ficha técnica en el [Anexo IV](#).

Comprobaremos ahora que este material lo oferta *Hasco*, empresa de la cual obtendremos los pre-moldes específicos para nuestra máquina inyectora, para luego mecanizarlos con las geometrías adecuadas a nuestro componente.

*Hasco* sí trabaja directamente con el AISI 420, acero de grado **1.2083** con alto contenido de cromo, resistente a la corrosión y fácil de pulir.

## 7. SIMULACIÓN DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO

Llegados a este punto, con el molde ya diseñado, se realizarán diferentes simulaciones de inyección de plástico, mediante el módulo de inyección que incluye CREO Parametric, para nuestro componente. Para ello, primero tendremos que diseñar los elementos que se van a mecanizar para completar nuestros moldes.

### 7.1. Elementos a mecanizar

Primero, eliminaremos la unión creada entre las dos piezas para el correcto diseño del molde y se diseñará el sistema de alimentación. Debido a la existencia de dos piezas en el molde, contamos con que serán necesarias varias simulaciones para controlar que los puntos de inyección sean correctos y encajen con éste.

Para poder eliminar este elemento de unión, modificaremos la curva del anillo en la abertura de la tapa, siendo ésta de  $\frac{1}{4}$  de círculo. Quitamos entonces este elemento mediante cortes por barrido para que nuestras piezas sean independientes la una de la otra, como se muestra en la Ilustración 7-1.

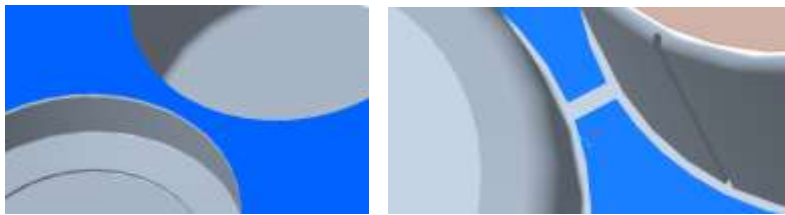


Ilustración 7-1. Eliminación elemento de unión

#### 7.1.1. Sistema de alimentación y expulsores

El sistema de alimentación irá en el *core* y, según los catálogos de Hasco, para que nuestras piezas puedan ser inyectadas correctamente, utilizaremos el pre-molde K5122, con el alojamiento de la boquilla descentrado. Las dimensiones de este molde se muestran en la siguiente Ilustración, siendo  $b_1 = 75\text{mm}$ ,  $l_1 = 75\text{mm}$  y  $t = 35\text{mm}$ .

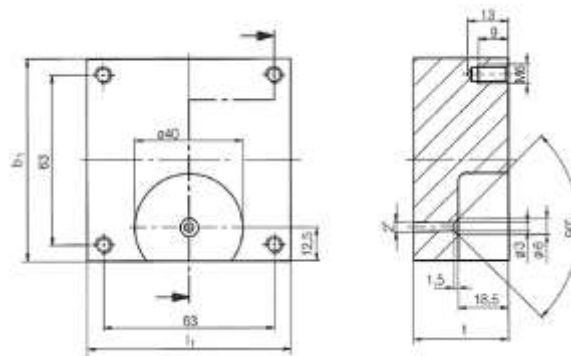


Ilustración 7-2. Dimensiones pre-molde sistema de alimentación

Sin embargo, al no quedar la entrada centrada, se han movido las piezas para poder mecanizarlo correctamente. Tras realizar esto, se taladrarán los agujeros centradores, ya que los agujeros para el amarre en cada esquina del molde ya vendrán hechos en el premolde. Los agujeros centradores irán en el plano horizontal, uno abajo y otro arriba, de las dos mitades del molde. En el *core* irán los agujeros escariados con buen acabado y en el *cavity*, irán los bulones para el montaje con martillo. Todo esto se muestra en la Ilustración 7-3, donde podemos observar nuestro alojamiento para la boquilla de inyección, así como su salida para inyectar las piezas mediante las canaletas que van conectadas a los dos *cores* de nuestras piezas.

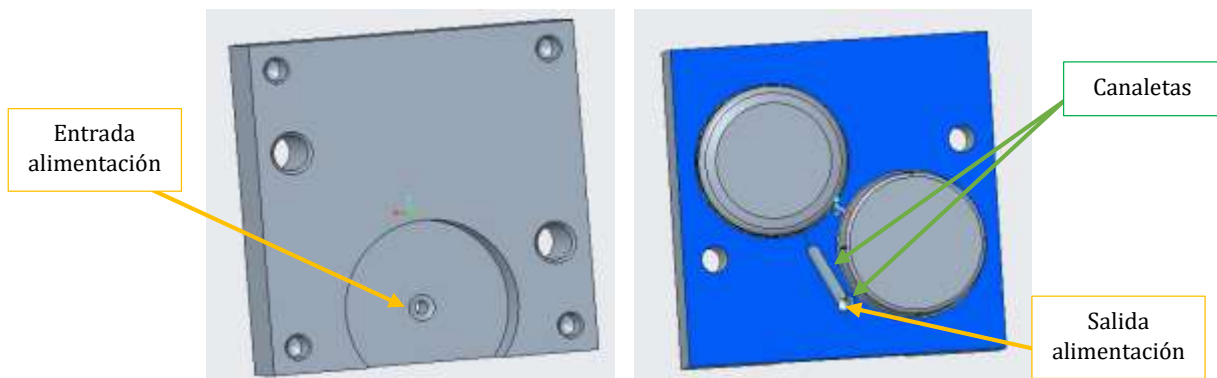


Ilustración 7-3. Sistema de alimentación y expulsores en el core

Así, estas canaletas son los conductos cilíndricos por las que circulará el flujo de material plástico para llenar nuestras cavidades. Se han llevado directamente a los bordes de las piezas, estando una mitad de los conductos cilíndricos mecanizada en el *core* y la otra mitad en la cara de contacto del *cavity*, con un diámetro de 3mm y un cambio de sección a 0,3mm para facilitar su retirada (separación de la pieza). Estos conductos se pueden observar con más detalle en la Ilustración 7-4.

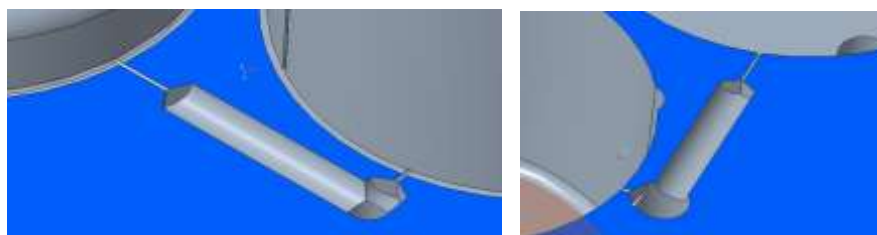


Ilustración 7-4. Canaletas de inyección del core (izquierda) y del cavity (derecha)

También se mecanizarán los expulsores del *cavity*, teniendo en cuenta, además, los agujeros centradores y los de sujeción, los cuales nos ayudarán a expulsar la pieza cuando el ciclo de inyección finalice gracias a la placa con los cilindros expulsores, Ilustración 7-6. Los agujeros donde encajan estos expulsores se muestran en la Ilustración 7-5.

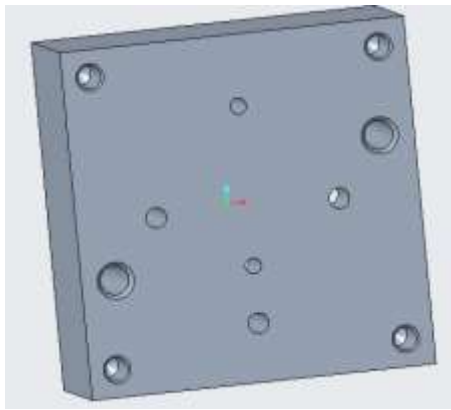


Ilustración 7-5. Expulsores y centradores del cavity

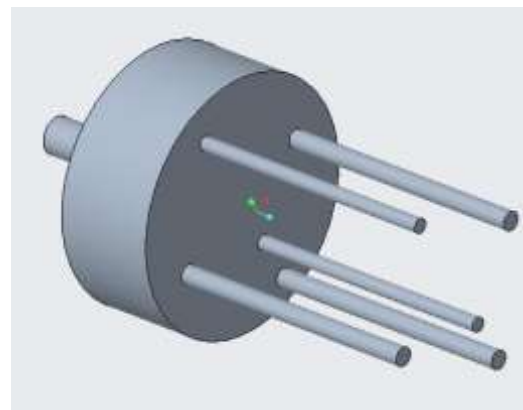


Ilustración 7-6. Expulsor

En la Ilustración 7-7, se puede ver el molde final abierto con todos los elementos comentados.

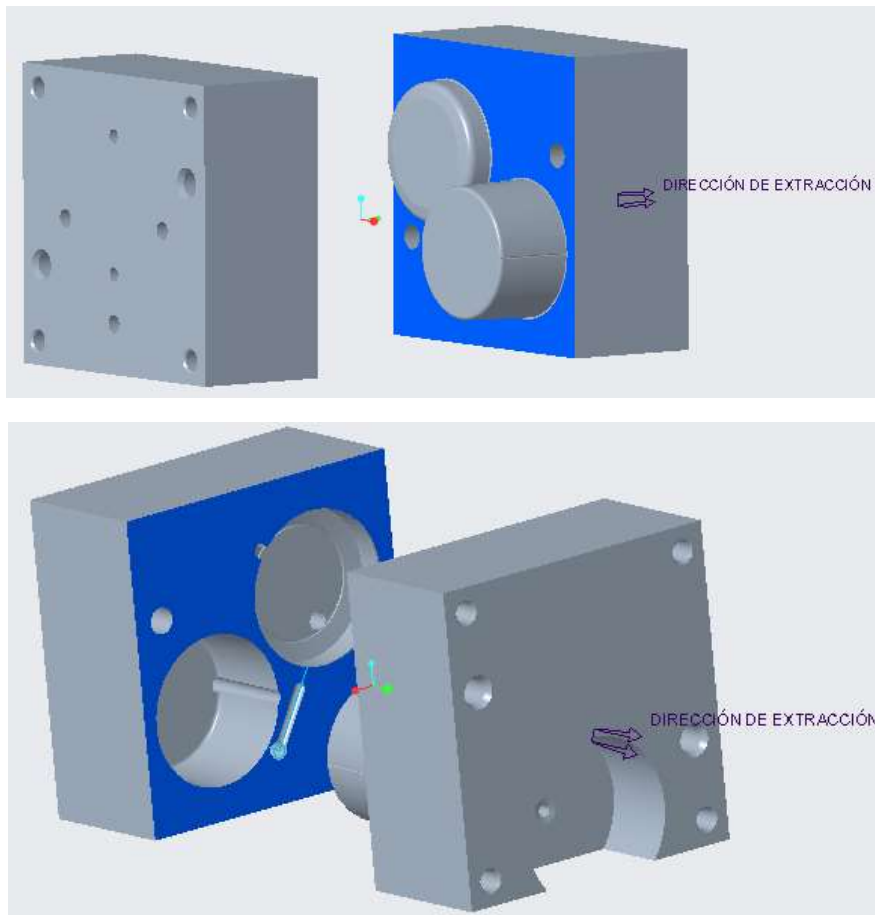
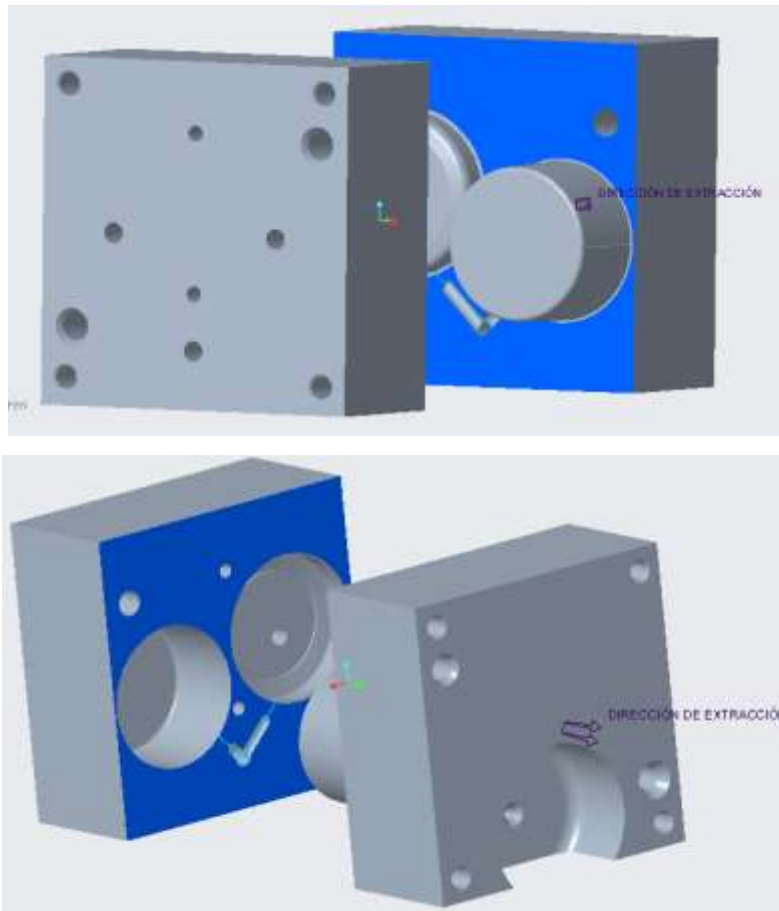


Ilustración 7-7. Vista explosión del molde con los elementos mecanizados

Como se observa en las imágenes anteriores, los expulsores no quedan centrados en ambas piezas, lo que nos dejará las marcas visibles cuando la pieza sea expulsada. Esto se debe a que se ha decidido aprovechar la configuración de estos expulsores, facilitando el cambio de moldes para producir otros productos que usan esta misma configuración de expulsores y no tener que moverlos ni ajustarlos.



Se han movido las piezas para que encaje un expulsor en cada una de ellas. Así, el molde completo definitivo quedará como se muestra en la Ilustración 7-8.



*Ilustración 7-8. Vista explosión del molde definitivo*

La colocación de estos puntos de expulsión de la pieza es un aspecto imprescindible a tener en cuenta, ya que una configuración deficiente podría ocasionar diferentes problemas, como es la adhesión de material al molde. Esto afecta a la productividad, ya que puede provocar el atasque de la pieza en el molde, o distorsionar la pieza por culpa de las fuerzas de expulsión mal distribuidas.

## **7.2. Simulación de inyección de plástico de la base**

Vamos a simular en primer lugar las dos piezas por separado, con el fin de observar y analizar de qué manera se llenan mejor.

El software buscará directamente el punto óptimo de inyección de cada pieza, reduciendo el tiempo de ciclo y mejorando la apariencia del producto. Así, también analizaremos si los

puntos de inyección propuestos con las canaletas son óptimos o no. De no ser así, podremos desplazar los conductos a otras zonas.

Primero, introduciremos para ambas piezas el material según la base de datos que nos proporciona el módulo de extensión *Part Adviser* de *MoldFlow* de CREO. Seleccionamos el polipropileno homopolímero, PPH 9069, con las siguientes propiedades físicas:

Descripción	
Tipo de polímero	PP
Nombre de grado	Polypropylene PPH 9069
Productor	TOTAL
Índice de flujo de la masa fundida	MFI(230,2.16)=25 g/10min
Condición de proceso	
Temperatura de masa fundida (Mínimo)	190.0 °C
Temperatura de masa fundida (Normal)	230.0 °C
Temperatura de masa fundida (Máximo)	280.0 °C
Temperatura del molde (Mínimo)	10.0 °C
Temperatura del molde (Normal)	30.0 °C
Temperatura del molde (Máximo)	50.0 °C
Temperatura de extracción	92.00 °C
Temperatura de solidificación	112 °C

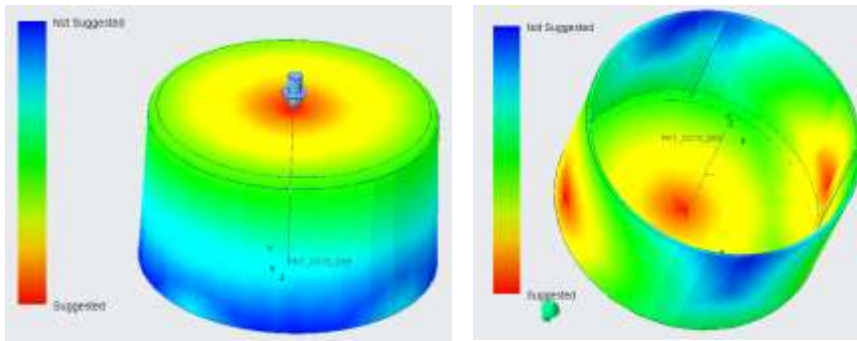
*Ilustración 7-9. Propiedades físicas del PP para la simulación de inyección*

Observamos que la temperatura máxima es de 280°C para la pieza y de 50°C para el molde, temperaturas acordes a nuestro caso según nuestra previa selección de materiales. Asimismo, también obtenemos las propiedades mecánicas del material, que se muestran en la siguiente Ilustración.

Producto de grado de tipo de polímero	PP_Polypropylene PPH 9069_TOTAL
Características	Polímero puro isotrópico
Polímero puro isotrópico	0.40 (-)
Coefficiente de Poisson del polímero	0.40 (-)
Coefficiente de Poisson del polímero	1.6e+10 (-)
Coefficiente de Poisson del polímero	1.6e+10 (dyne/cm^2)
Coefficiente de Poisson del polímero	5.6e+09 (-)
Coefficiente de Poisson del polímero	1.1e-04 (-)
Coefficiente de Poisson del polímero	1.1e-04 (1/K)

*Ilustración 7-10. Propiedades físicas del PP para la simulación de inyección*

En el cálculo automático de entradas de inyección que realiza el software, para la base se han obtenido los gráficos que se observan en la Ilustración 7-11. A la izquierda se muestra un solo punto de inyección y, a la derecha, dos puntos de inyección.



*Ilustración 7-11. Sugerencias de 1 punto de inyección (izquierda) y 2 puntos de inyección (derecha) en la base.*

Se observa que los puntos de inyección sugeridos para el llenado óptimo de nuestra pieza se encuentran en el centro del fondo. Sin embargo, según hemos diseñado nuestros conductos desde el sistema de alimentación, no es posible llegar hasta estos puntos.

Cabe destacar que la decisión de mecanizar el *core* en la parte del molde que lleva la entrada de inyección fue tomada debido a las dimensiones de la pieza base, ya que la altura de ésta es de 20mm y el hueco del sistema de alimentación es de 18,5mm. Por lo que, con la profundidad de 35mm del molde, la pieza base y el sistema de alimentación chocarían.

Observamos que, por las esquinas de los laterales de las piezas, a las que sí hay acceso, no se llena de manera óptima pero sí bastante buena, por lo que probaremos a simular la inyección mediante las canaletas diseñadas.

Asimismo, se ha de analizar la presión necesaria para llenar las piezas, comprobando si nuestra máquina inyectora es capaz de suministrarla, ya que la presión máxima que puede suministrar la Babyplast es de 131,41 MPa. A continuación, se muestra el punto de inyección que se ha tomado para analizar el llenado de las piezas según los conductos diseñados, Ilustración 7-12.



*Ilustración 7-12. Punto de inyección según las canaletas diseñadas de la base*

Realizando este primer análisis, obtenemos los siguientes resultados:

- Tiempo de llenado:

El tiempo de línea de avance es un indicador de posición que nos indica el movimiento del límite del frente de fusión en diferentes tiempos de duración en el proceso de llenado. Debemos verificar que la ubicación del punto de inyección es correcta para equilibrar el flujo y eliminar las líneas de soldadura. En este primer análisis, observamos que la pieza se llena correctamente en 0,1 segundos.

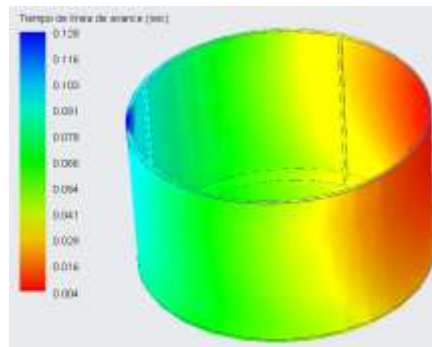


Ilustración 7-13. Tiempo de llenado primer análisis de la base

➤ Presión a la que se someten las piezas durante el llenado:

El resultado de la presión muestra la distribución de la presión del plástico al final del llenado. Para que ésta sea correcta, debemos verificar el diseño del molde para un flujo equilibrado. En este caso, para la base, la presión máxima a la que estará sometida es de 105,65 MPa, presión que puede suministrar nuestra máquina inyectora.

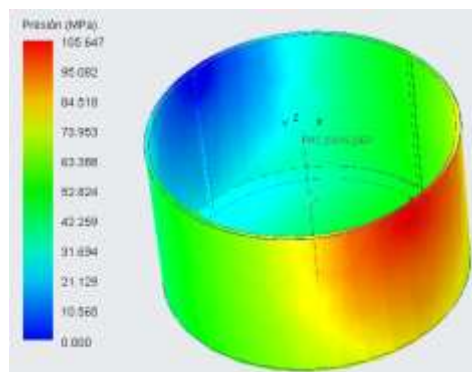


Ilustración 7-14. Presión durante el llenado primer análisis de la base

➤ Fuerza de cierre:

Este resultado muestra un gráfico de la fuerza de cierre frente al tiempo de llenado. Si la fuerza de cierre obtenida es superior al 70% de la fuerza de cierre máxima de la máquina, existe la posibilidad de que la masa fundida de plástico se apriete fuera de la cavidad y provoque un *flash*, es decir, un desprendimiento de material. La máxima fuerza de cierre de la máquina inyectora Babyplast es de 62,6kN. Observamos en los siguientes gráficos que, para la base, la fuerza de cierre necesaria es de 51,78kN, valor

superior al 70% de la fuerza de cierre de la Babyplast, con lo que concluimos que tendremos que intentar mejorar este valor.

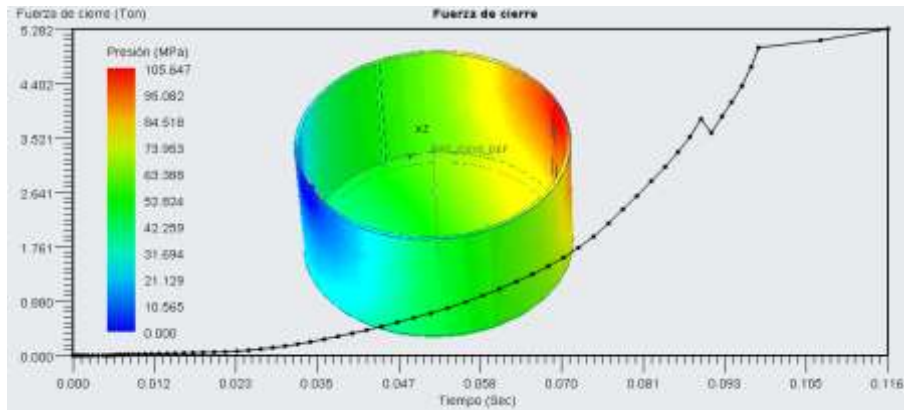


Ilustración 7-15. Fuerza de cierre primer análisis de la base

Sabemos que estos resultados no son buenos, por lo que se procederá a ir modificando los parámetros del proceso y, si fuese necesario, el diseño del molde, con el fin de obtener resultados válidos.

### 7.2.1. Defectos a controlar

En el primer análisis realizado para la base, se han observado varios defectos. Los clasificaremos y analizaremos a continuación:

#### 1. Atrapamiento de aire

En la siguiente imagen, Ilustración 7-16, se muestran las burbujas atrapadas en la pieza base. Sólo se observa en una pequeña zona en la esquina superior. Este defecto puede ocasionar oquedades y defectos en la superficie. Para solucionarlo, podremos aumentar el tiempo de llenado, cambiar la posición del punto de inyección o reducir la velocidad de inyección. Asimismo, podríamos incluir agujeros en los moldes para la salida de gases.

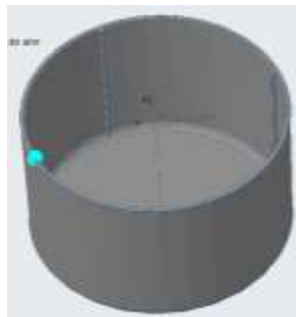


Ilustración 7-16. Atrapamiento de aire primer análisis de la base

## 2. Líneas de soldadura

Se han detectado líneas de soldadura visibles, Ilustración 7-17. Cuanto más oscura sea la línea de soldadura, más débil será la estructura. Esto se produce cuando dos o más rutas de flujo convergen durante el proceso de llenado y se enfrían antes de encontrarse, por lo que no se mezclan bien y crean un punto débil en la pieza moldeada. Para mejorar esto, podemos aumentar la temperatura del molde o de la masa fundida, así como reducir el tiempo de llenado o aumentar la velocidad de inyección.

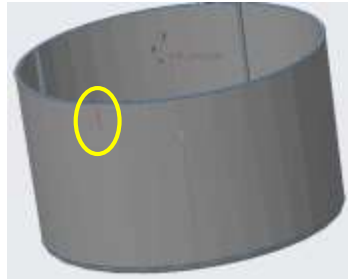


Ilustración 7-17. Líneas de soldadura primer análisis

## 3. Degradación por la temperatura

El resultado de la temperatura muestra la distribución de la temperatura de fusión del plástico al final del llenado. La temperatura de la masa fundida resultante es superior a la temperatura de trabajo máxima del material. Para solucionar esto tendremos que cambiar la posición del punto de inyección, aumentar el tiempo de llenado y/o reducir la velocidad de inyección. Aun así, la temperatura máxima producida no es preocupante, ya que nuestro material aguantaría hasta las 280°C sin quemarse.

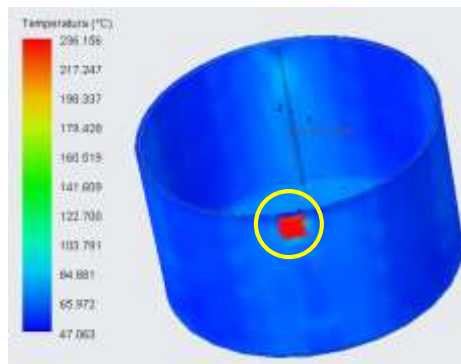


Ilustración 7-18. Degradación primer análisis

#### 4. Efecto de "hesitation"

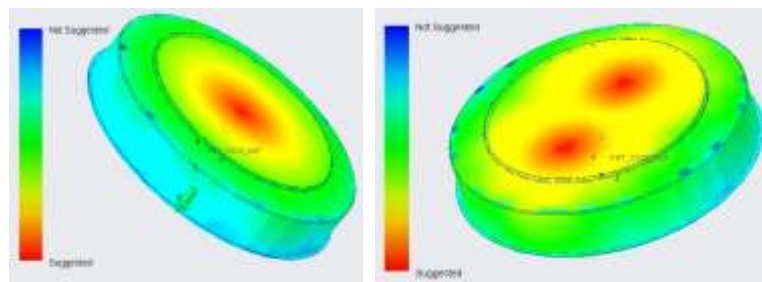
La velocidad de flujo es demasiado lenta en algunas zonas de la cavidad y causa duda en el flujo. En casos extremos, la ralentización del flujo puede ocasionar marcas en la superficie del modelo o incluso una inyectada corta.

Podemos solucionar este defecto separando la puerta de la zona de ralentización de flujo, así como reduciendo la variación del espesor del modelo.

### 7.3. Simulación de inyección de plástico en la tapa

Ahora, realizaremos los mismos análisis para la tapa, analizando cada resultado por separado.

En este caso, los puntos de inyección sugeridos para realizar la simulación son los que se muestran en las siguientes imágenes.



*Ilustración 7-19. Sugerencias de puntos de inyección en la tapa*

Sin embargo, como ya se citó para la base, no podemos llegar a estas zonas en nuestro molde, por lo que simularemos el llenado desde la zona a la que llegaría la canaleta diseñada en el molde final, Ilustración 7-20.



*Ilustración 7-20. Punto de inyección según las canaletas diseñadas de la tapa*

Realizando este primer análisis para la tapa, obtenemos los siguientes resultados:

➤ Tiempo de llenado:

Observamos que la pieza se llena rápidamente por completo en menos de medio segundo. En la Ilustración 7-21 se puede ver el llenado de la tapa.

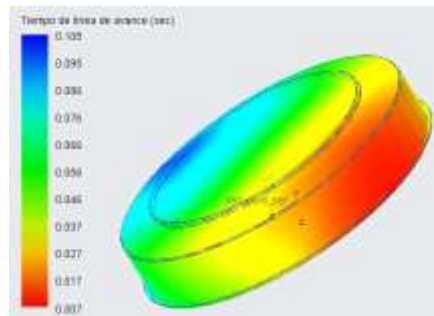


Ilustración 7-21. Tiempo de llenado primer análisis de la tapa

➤ Presión a la que se someten las piezas durante el llenado:

En este caso, para la tapa, la presión máxima a la que estará sometida es de 42,5 MPa, Ilustración 7-22. Con esto, podemos deducir que nuestra máquina inyectora la puede suministrar sin problema.

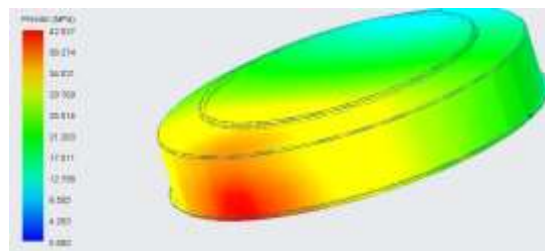


Ilustración 7-22. Presión durante el llenado primer análisis de la tapa

➤ Fuerza de cierre:

Para la tapa, la fuerza de cierre necesaria es de 24,5kN, siendo ésta una fuerza menor a la máxima de la Babyplast, por lo que no habría problema en cuanto a desprendimientos de material.

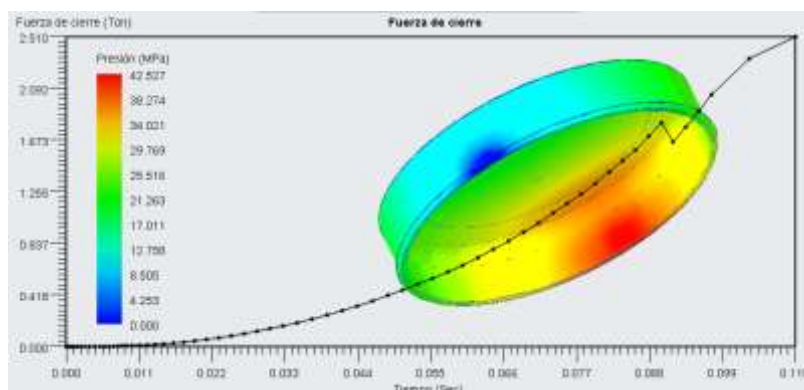


Ilustración 7-23. Fuerza de cierre primer análisis



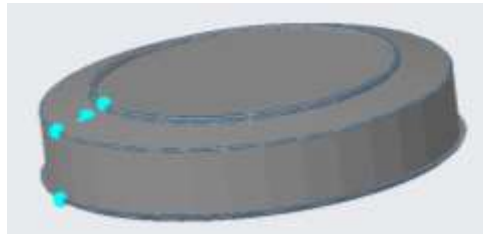
De este modo, para la tapa hemos obtenido mejores resultados, ya que es una pieza de menor tamaño que la base. Aun así, se han detectado algunos defectos que analizaremos a continuación.

### 7.3.1. Defectos a controlar

En este análisis los defectos que debemos tener en cuenta son los siguientes:

#### 1. Atrapamiento de aire

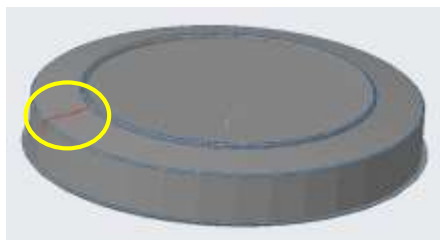
Asimismo, existen burbujas atrapadas en la tapa, siendo más numerosas que en la base. Como ya sabemos, esto es perjudicial para la superficie de la pieza, por lo que se deberá solucionar o minimizar cambiando la posición del punto de inyección o reduciendo la velocidad de inyección.



*Ilustración 7-24. Atrapamiento de aire primer análisis de la tapa.*

#### 2. Líneas de soldadura

De igual modo, se han detectado líneas de soldadura que debemos tener en cuenta. La orientación del plástico en la línea de soldadura es perpendicular a la ruta del flujo, y esta orientación molecular es la que provoca una disminución de la resistencia en ese punto. Para eliminar este defecto, aumentaremos la temperatura del molde antes del proceso de inyección de plástico. En la siguiente Ilustración se observa con claridad la línea de soldadura que se produce en nuestra pieza.



*Ilustración 7-25. Líneas de soldadura primer análisis de la tapa.*

### 3. Degradación por la temperatura

Al igual que para la base, la temperatura aumenta en una zona muy pequeña, con un valor no peligroso para nuestro tipo de plástico. Se observa esta zona en la siguiente Ilustración.



Ilustración 7-26. Degradación primer análisis de la tapa.

## 7.4. Simulación de inyección de plástico de las dos piezas juntas

Para simular la inyección de dos piezas en conjunto, primero debemos eliminar la unión que se diseñó para poder realizar el plano de partición del molde. Una vez separadas las dos piezas, los puntos de inyección sugeridos por el software estarán igualmente centrados en el fondo de ambas piezas. Estas zonas se muestran en la siguiente Ilustración.

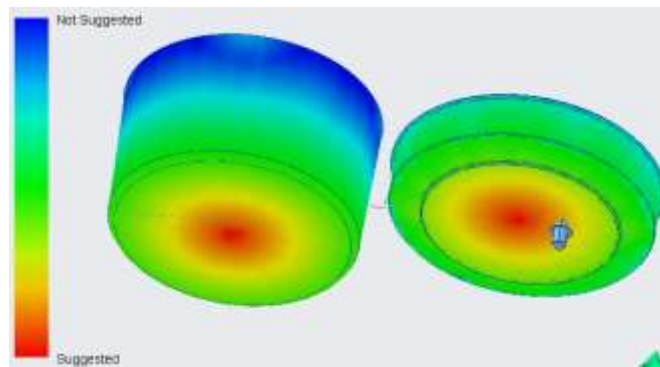


Ilustración 7-27. Puntos de inyección sugeridos para las dos piezas juntas

Para poder realizar esta simulación, debemos diseñar nuestro sistema de alimentación hacia las dos piezas. Como estamos trabajando en la extensión de CREO del *Part Adviser*, versión reducida de *MoldFlow*, estos conductos los definirá como parte de la pieza, mallándolos igualmente, no como sistema de alimentación, aunque no nos afectará a la hora de obtener los resultados. Se han diseñado estos conductos, los ataques y la conexión con el punto de inyección de la máquina (flecha en azul), como se visualiza en la siguiente Ilustración.

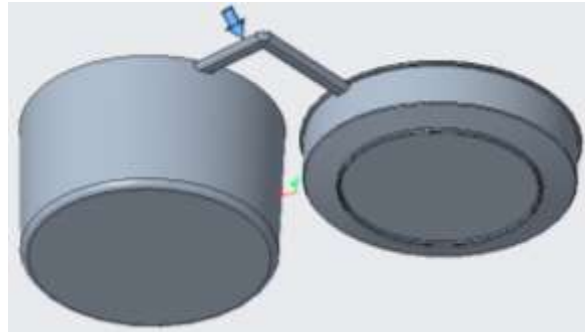


Ilustración 7-28. Punto de inyección en conducto para ambas piezas

Los resultados del análisis son los siguientes:

➤ Tiempo de llenado:

Podemos observar en la imagen 7-29 que a ninguna de las dos piezas le falta material para generar correctamente su geometría. Esto significa que ambas se llenan completamente en 0,25 segundos.

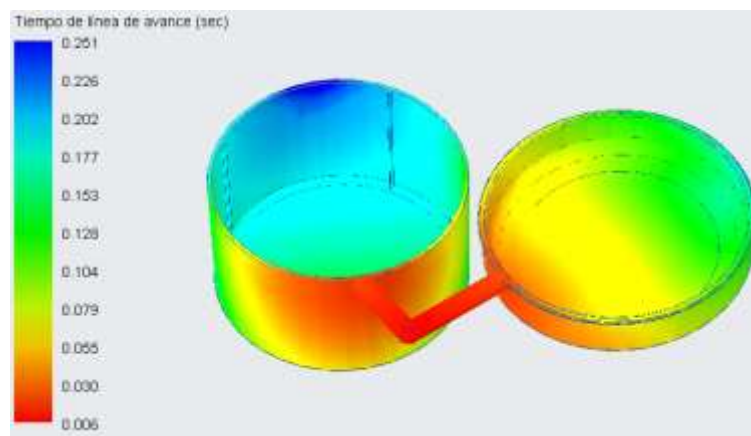


Ilustración 7-29. Tiempo de llenado de las dos piezas conjuntas con conductos

➤ Presión a la que se someten las piezas durante el llenado:

Con este análisis obtenemos una presión máxima superior a la máxima que puede suministrar la máquina inyectora Babyplast, por lo que no estaríamos dentro del margen y no podría inyectar correctamente. Se observa en la siguiente Ilustración que la máxima presión necesaria se produce en una pequeña zona de los conductos de alimentación, donde estaría situado el punto de inyección. Por el contrario, la presión requerida para completar nuestras piezas estaría dentro del margen de nuestra máquina inyectora, alrededor de los 125 MPa.

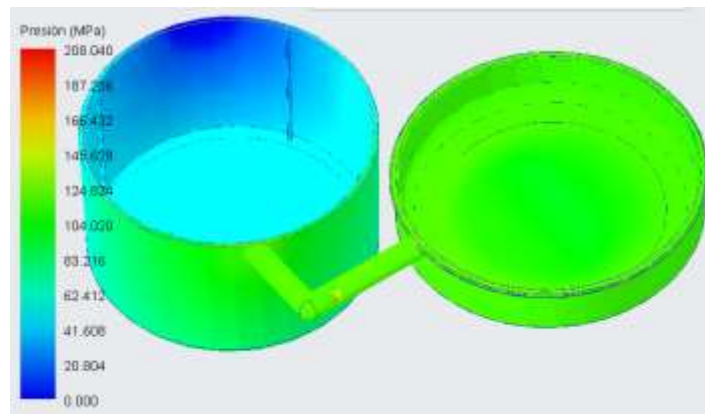


Ilustración 7-30. Presión de llenado de las dos piezas conjuntas con conductos

➤ Fuerza de cierre:

En cuanto a la fuerza de cierre necesaria para contrarrestar la presión aplicada, deberá ser de 205,45kN (Ilustración 7-31), valor mucho mayor a la fuerza de cierre que puede proporcionar nuestra máquina inyectora, 62,6kN.

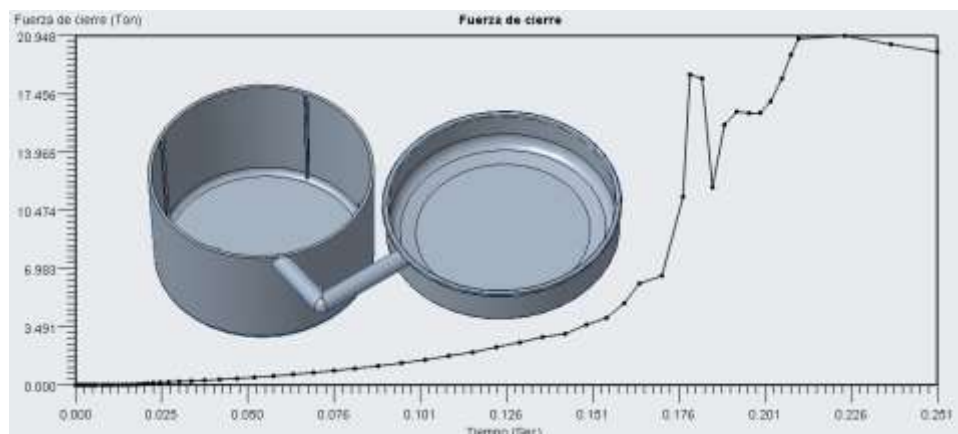
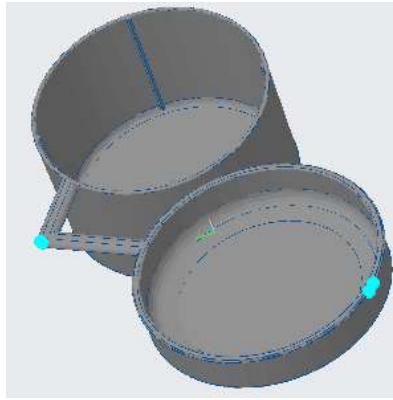


Ilustración 7-31. Fuerza de cierre necesaria para las dos piezas conjuntas con conductos frente al tiempo (segundos).

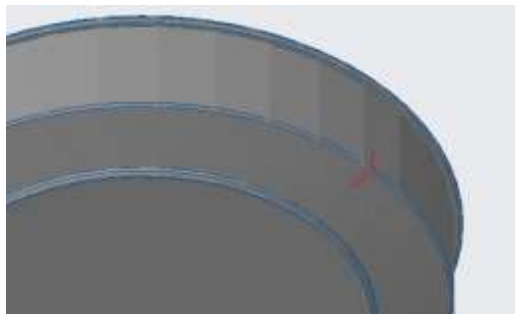
Debemos conseguir disminuir esta fuerza para evitar el consumo excesivo de energía y desgaste de la máquina, así como conseguir tener un adecuado aireado del molde.

### 7.4.1. Defectos a controlar

Con esta simulación, los defectos de debemos controlar serán los atrapamientos de aire (Ilustración 7-32) y las líneas de soldadura (Ilustración 7-33) en la tapa.



*Ilustración 7-32. Atrapamiento de aire de las piezas en conjunto con conductos.*



*Ilustración 7-33. Líneas de soldadura de las piezas en conjunto con conductos.*

## **7.5. Alternativas de mejora de las simulaciones**

Los resultados obtenidos en la simulación de las piezas juntas no son válidos para nuestra máquina inyectora Babyplast, ya que la presión requerida para llenar las piezas supera a la presión límite de la máquina y, además, se necesita una fuerza de cierre mucho mayor a la que puede suministrar la Babyplast. Por ello, se ha optado por probar con tres distintas propuestas:

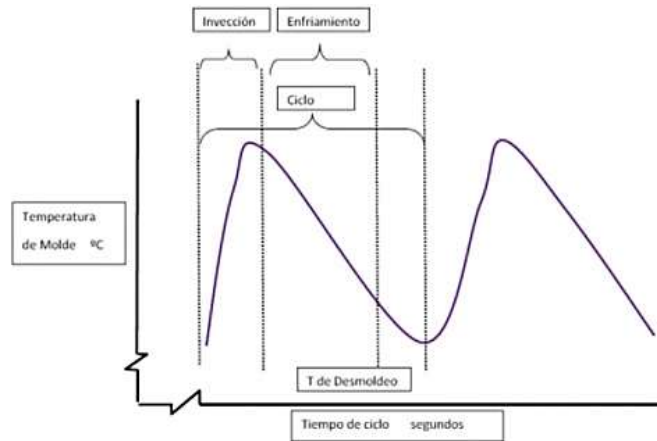
### **A. Pre calentamiento del molde**

Como ya sabemos, la función del molde es conformar la pieza, aguantando los esfuerzos, y enfriar la masa fundida caliente que se inyecta. El enfriamiento, si no es forzado, se produce desde las paredes en contacto con el exterior hacia el centro del mismo. A menor temperatura de molde, mayor productividad del proceso de inyección. Pero, en este, caso, al moldear paredes delgadas y piezas con largo recorrido de inyección, existe el riesgo de que el material se enfríe demasiado pronto y de lugar a capas exteriores amorfas y niveles muy bajos de cristalinidad (en un caso extremo podría no llegar a completarse la pieza). Por ello, nuestra finalidad sería precalentar el molde a 100°C con el objetivo de:

- Disminuir tensiones internas

- Aumentar la resistencia al impacto
- Evitar las líneas de soldadura y un mal aspecto superficial
- Aumentar la estabilidad dimensional gracias a unas buenas propiedades mecánicas

Según *Interempresas.net*, el comportamiento de la temperatura en la pared del molde en cada ciclo de inyección puede verse en el siguiente gráfico.



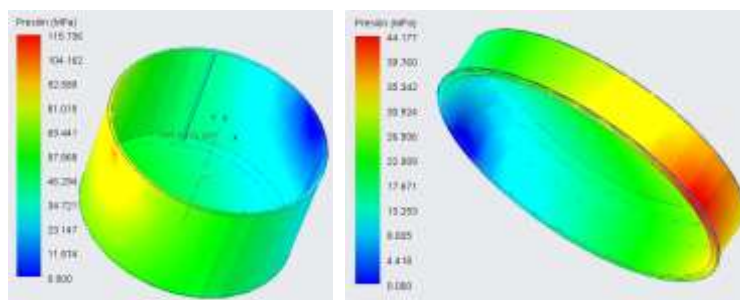
*Ilustración 7-34. Comportamiento de la temperatura en la pared del molde*

Como estamos trabajando con la versión no completa de *MoldFlow* incluido en *CREO Parametric*, existe una limitación para la temperatura del molde de 50°C.

En este análisis, obtenemos los siguientes resultados:

- Presión a la que se someten las piezas durante el llenado:

La presión necesaria para la base es de 116 MPa y de 44 MPa para la tapa. Por separado, estas piezas serían inyectadas correctamente mediante la máquina Babyplast. En ningún caso se rebasa la presión de inyección ofrecida por la máquina, como se puede observar en la siguiente ilustración.



*Ilustración 7-35. Presión de inyección con el molde a 50°C. Izquierda pieza "base00", derecha "tapa".*

Para las piezas en conjunto, con un tiempo de avance mayor, conseguimos que las dos piezas se llenen completamente, Ilustración 7-36.

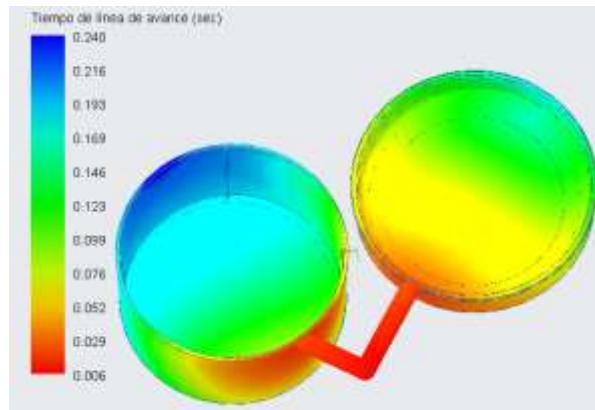


Ilustración 7-36. Tiempo de llenado aumentado de ambas piezas con el molde a 50°C

Por otro lado, se observa en la imagen 7-37 que para todas nuestras piezas la presión máxima necesaria está dentro del límite de nuestra máquina inyectora, por lo que estos resultados serían buenos.

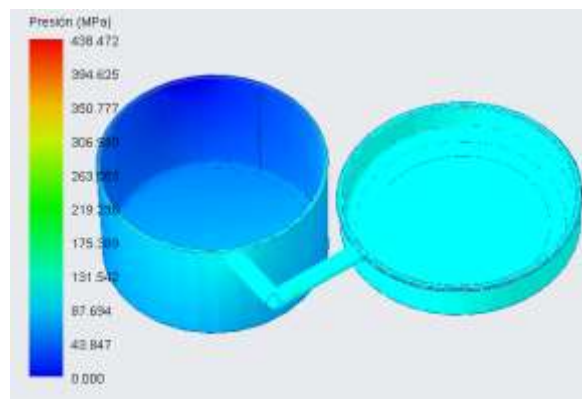


Ilustración 7-37. Presión necesaria de llenado de ambas piezas con el molde a 50°C.

➤ Fuerza de cierre:

La fuerza de cierre obtenida para las piezas por separado es menor que la máxima que puede suministrar la máquina inyectora. Además, esta fuerza es menor que en los primeros análisis realizados (punto 7.2 y punto 7.3, respectivamente), por lo que se ha conseguido una ligera mejora aumentando la temperatura del molde desde 30°C a 50°C. Estas dos fuerzas se pueden observar a continuación, siendo de 48kN para la base y 25,5kN para la tapa.

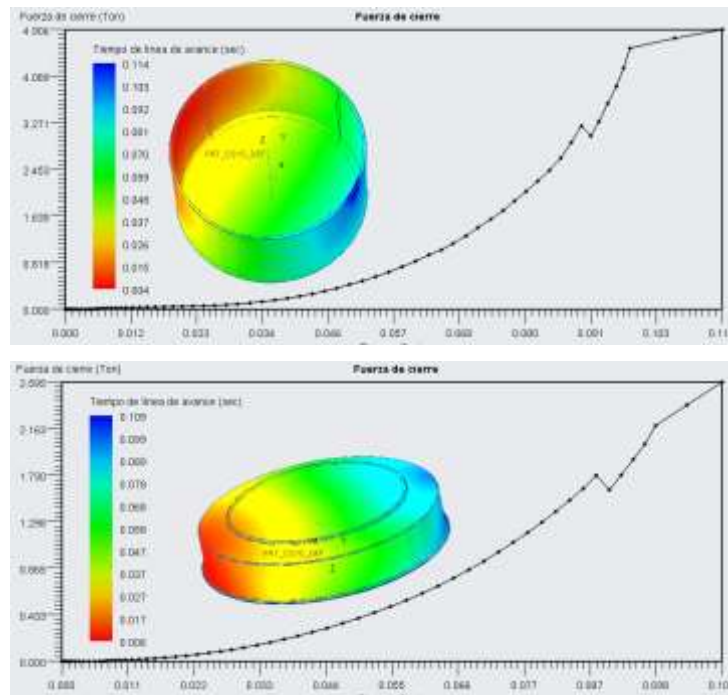


Ilustración 7-38. Fuerza de cierre necesaria en el proceso de llenado con el molde a 50°C frente al tiempo (segundos)

En cuanto a la fuerza de cierre para las dos piezas juntas, 200kN, ha disminuido muy poco en comparación con el caso anterior con el molde a 30°C, tratándose entonces de 205kN. Esta fuerza sigue siendo excesiva para la máquina inyectora. Estos valores se muestran en la siguiente Ilustración.

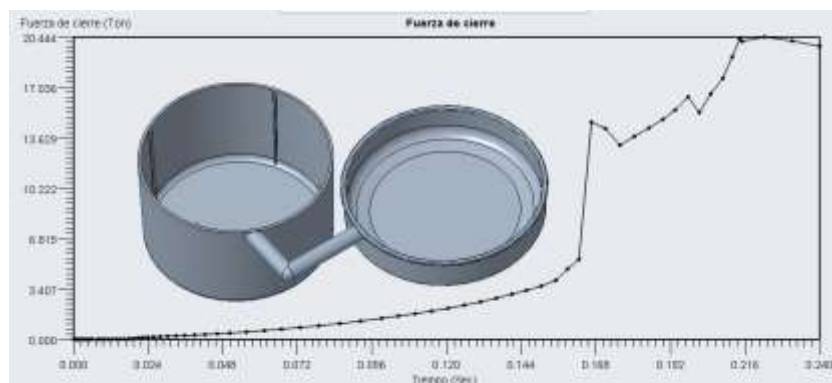


Ilustración 7-39. Fuerza de cierre necesaria para ambas piezas con el molde a 50°C

**B. Incremento del número de puntos de entrada**

Se han logrado pequeñas mejoras con el precalentamiento del molde a 50°C, por lo que ahora probaremos a añadir más puntos de entrada, manteniendo este precalentamiento del molde. Es importante destacar que el diseño final del molde se verá afectado con los puntos de entrada que se realicen.



Se ha optado por añadir otro conducto de alimentación para la pieza base, lo que representa una nueva entrada de inyección. De esta manera se pretenden resolver los problemas de presión y fuerza de cierre comentados en el apartado 7.4. Con esta simulación, obtenemos los siguientes resultados:

➤ Tiempo de llenado:

Observamos que el tiempo de llenado ha disminuido muy poco y las dos piezas se llenan correctamente. Además, en la siguiente imagen también se puede apreciar el nuevo diseño del conducto adicional hacia la pieza base.

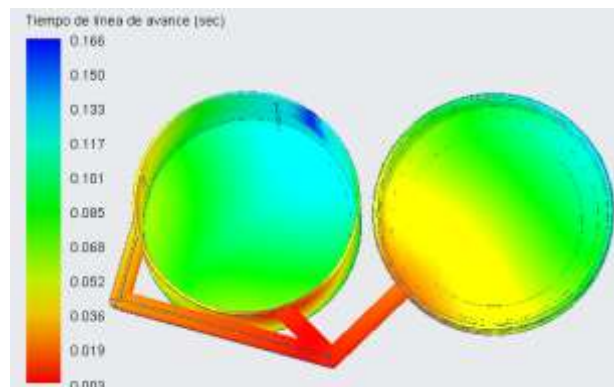


Ilustración 7-40. Tiempo de llenado de las piezas juntas con 3 conductos

➤ Presión a la que se someten las piezas durante el llenado:

La presión necesaria de inyección también ha disminuido por debajo de los 100MPa, produciéndose la máxima en la tapa, sin llegar a la máxima, Ilustración 7-41.

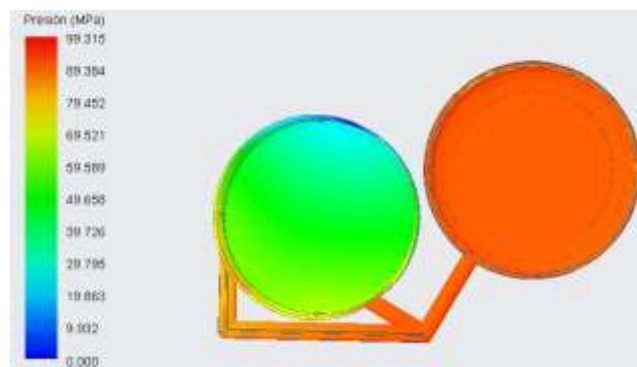


Ilustración 7-41. Presión de inyección de las piezas juntas con 3 conductos

➤ Fuerza de cierre:

La fuerza de cierre ha bajado a los aproximadamente 190kN, Ilustración 4-42. Esto significa que las medidas que se están adoptando son correctas para nuestro objetivo. Sin embargo, esta fuerza sigue siendo el triple de la que puede suministrar la máquina inyectora.

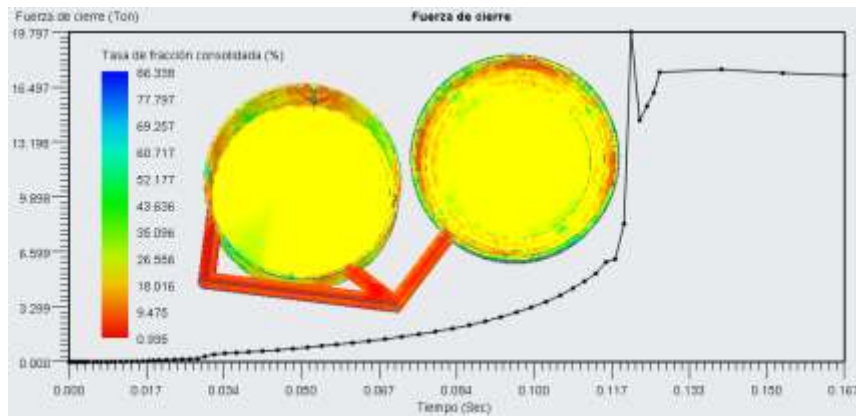


Ilustración 7-42. Fuerza de cierre necesaria de las piezas juntas con 3 conductos

Además, se probó rápidamente a diseñar un nuevo conducto que fuese directamente a la tapa, pero se obtuvieron resultados menos gratificantes, por lo que ni siquiera se plasmarán en este apartado.

Con todo esto, se ha deducido que se probará a igualar el recorrido de los canales de alimentación.

C. Aumentar el espesor de las paredes de las piezas

Como sabemos que el problema está en la fuerza necesaria para mantener el molde cerrado y contrarrestar la presión de inyección, se probará a aumentar el espesor de las piezas para bajar esta presión en la tapa.

Recordemos que nuestro volumen límite es de 9,2 cm<sup>3</sup>. Ahora, hemos aumentado el espesor de ambas piezas a 1,5mm, obteniendo los siguientes volúmenes:

Tabla 7-1. Volúmenes con aumento de espesor

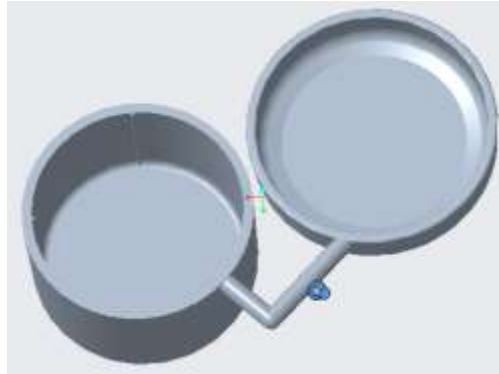
	Volumen (cm <sup>3</sup> )
Base	4,21
Tapa	1,81
<b>TOTAL</b>	<b>6,02</b>

Por lo que, nuestra máquina inyectora sí será capaz de inyectar este nuevo volumen sin problema.

Tras rediseñar nuestro molde con estas nuevas medidas, se procede a lanzar la simulación de inyección de nuestras nuevas piezas con los conductos iniciales y obtenemos los siguientes resultados:

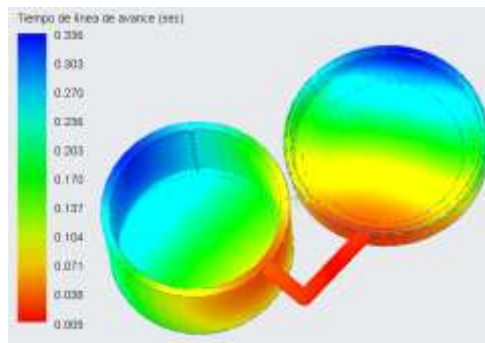
➤ Tiempo de llenado:

Con la creación de puntos de inyección automática que ofrece el software, el punto óptimo para el llenado de las piezas es el que se muestra en la Ilustración 7-43.



*Ilustración 7-43. Punto de inyección sugerido para ambas piezas con espesor aumentado*

Realizando la inyección mediante esa entrada, se obtiene un llenado completo en 0,34 segundos, como se muestra a continuación.



*Ilustración 7-44. Tiempo de llenado ambas piezas con espesor aumentado*

➤ Presión a la que someten las piezas durante el llenado:

Se observa una mejora muy grande, ya que ahora la presión máxima necesaria es de 19,3 MPa, presión que puede suministrar la Babyplast sin ningún tipo de problema. Se visualiza ahora la zona de la tapa donde la presión se hace nula, ya que es la localización donde más rápido ha enfriado el polímero. Todo esto se aprecia en la siguiente imagen, Ilustración 7-45.

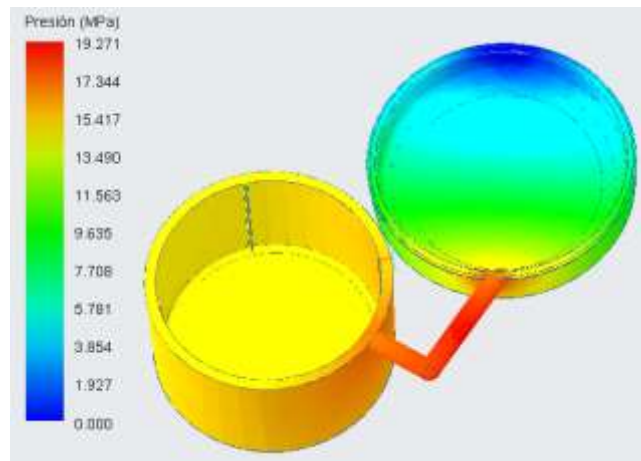


Ilustración 7-45. Presión de inyección de ambas piezas con espesor aumentado

➤ Fuerza de cierre:

La fuerza necesaria para mantener el molde cerrado durante la inyección es de 26kN, Ilustración 7-46, fuerza menor del 70% de la máxima de nuestra máquina inyectora, por lo que será un valor válido.

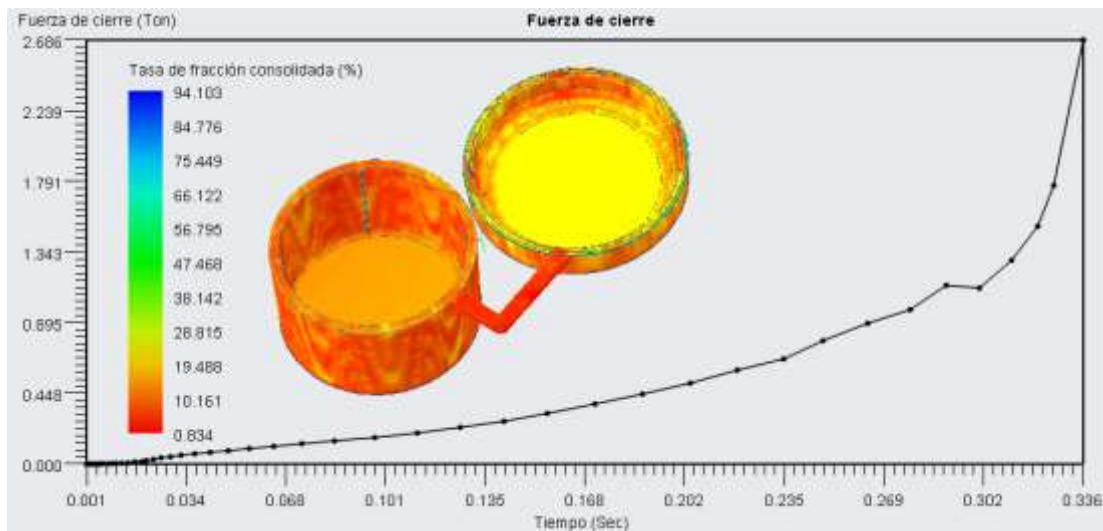


Ilustración 7-46. Fuerza de cierre de ambas piezas con espesor aumentado

Estos resultados han tenido en cuenta el precalentamiento del molde a 50°C y, viendo los buenos valores obtenidos, se decidió simular el llenado con la temperatura normal del molde que nos da por defecto el software para nuestro material, a 30°C. Con esta temperatura, se obtuvo un pequeño aumento de la presión de inyección, 22MPa, y una ligera disminución de la fuerza de cierre necesaria, 22kN. En cambio, de esta manera aparece un defecto más, el fenómeno de "hesitation", en el cual la velocidad de flujo de la masa fundida es demasiado lenta y causa defectos estéticos, como rechupes y variaciones dimensionales.

Por ello, nos quedaremos con la mejora que nos proporciona el precalentamiento del molde a 50°C.

Sin embargo, somos conscientes de que esa entrada no es la diseñada en nuestro sistema de alimentación, por lo que también se ha ejecutado la simulación de nuestras piezas teniendo en cuenta el punto de inyección real que tendremos mecanizado en el *core*. En esta simulación se obtiene un resultado válido para la presión, siendo ésta algo mayor que en el análisis anterior, 34MPa, como se muestra en la siguiente imagen, Ilustración 7-47. En cambio, la fuerza de cierre aumenta a 95kN, Ilustración 7-47, valor demasiado alto para nuestra máquina.

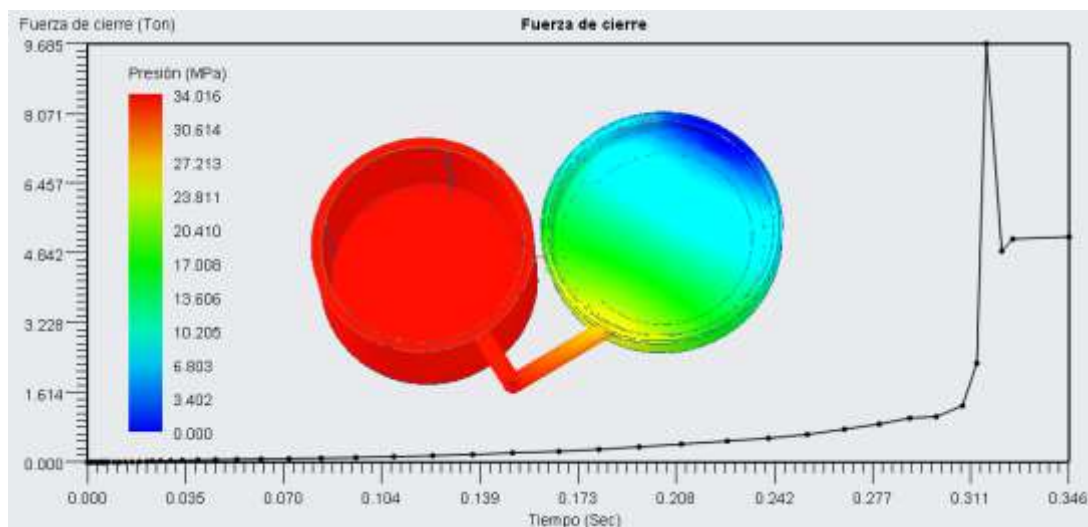


Ilustración 7-47. Presión de inyección y fuerza de cierre con punto de inyección en el agujero diseñado.

Asimismo, estos conductos de alimentación son demasiado grandes para luego separarlos sin problemas y sin marcas estéticas en las piezas, por lo que también se ha simulado la inyección de plástico con los conductos idénticos a los que se han mecanizado en nuestras dos partes del molde, con una sección de 0,3mm. En la siguiente Ilustración 7-48 se puede ver con claridad el estrechamiento de los conductos y el punto de inyección que se ha citado.

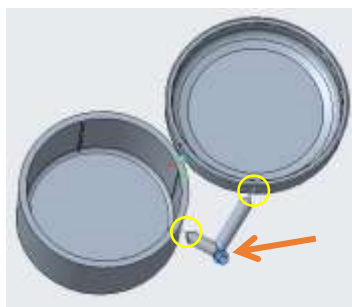


Ilustración 7-48. Conductos estrechados y punto de inyección

Con este diseño los resultados empeoran mucho. Ahora, Ilustración 7-49, tanto la presión como la fuerza de cierre serán mucho mayores, 127MPa y 152kN, respectivamente. Esto se puede ver en la siguiente Ilustración.

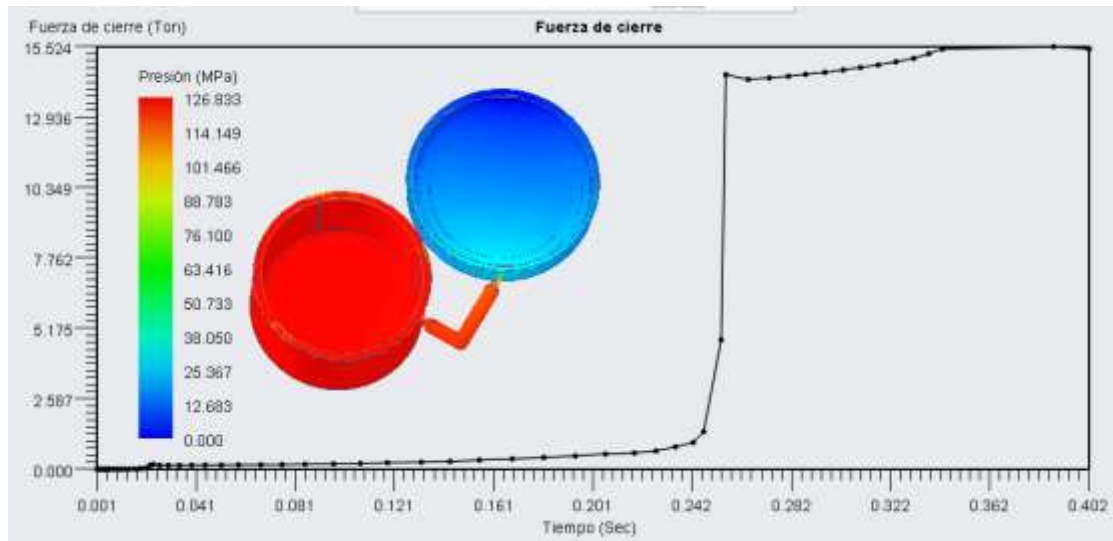


Ilustración 7-49. Presión y fuerza de cierre con los conductos estrechados

Estos resultados tienen sentido, ya que la sección es muy reducida y es muy difícil que el flujo de masa fundida entre correctamente hacia las dos piezas. Observando así finalmente los resultados de nuestras tres propuestas de mejora, concluimos que aún debemos realizar dos cambios con los que se mejorarían todos estos resultados:

1. Realizar un balance del recorrido de los dos conductos de alimentación hacia las piezas.
2. Modificar el ataque en forma de cortina, teniendo una sección reducida de 0,5mm, con la que podríamos separarlo fácilmente, pero que abarcaría más superficie de la pieza a inyectar.

Estos dos cambios pueden visualizarse en la Ilustración 7-50, donde, además, se muestra el punto de inyección situado sobre el sistema de alimentación diseñado.

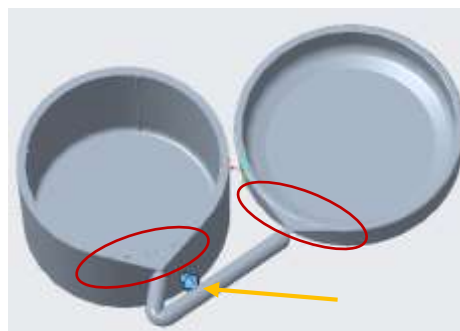


Ilustración 7-50. Balance del recorrido de los conductos de alimentación y ataque tipo cortina en la sección menor.

Los resultados finales de este análisis son los siguientes:

➤ Tiempo de llenado:

Ambas piezas se llenan en 0,32 segundos por completo y sin problema, como se muestra en la siguiente Ilustración.

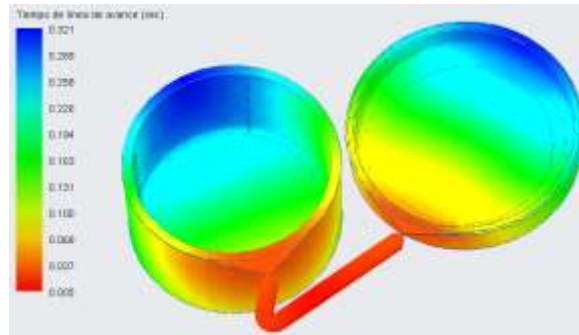


Ilustración 7-51. Tiempo de llenado de las dos piezas con ataque cortina.

➤ Presión de inyección:

La presión necesaria para inyectar las dos piezas correctamente será de 59,56MPa, un valor asequible para la Babyplast. La máxima presión se produce en los conductos de alimentación diseñados, mientras que las dos piezas no requieren de tanta presión, como se observa en la siguiente imagen.

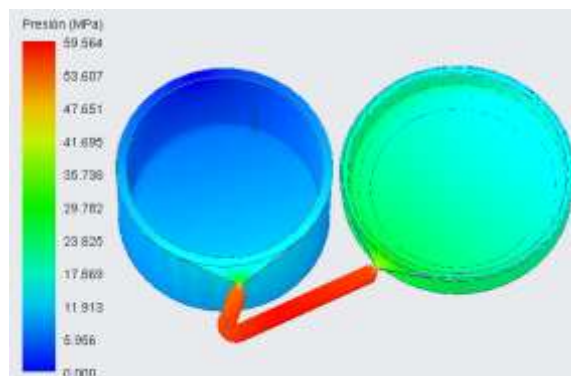


Ilustración 7-52. Presión de inyección de las dos piezas con ataque cortina.

➤ Fuerza de cierre:

Ahora, la fuerza de cierre necesaria para aguantar esos 59,56MPa será de 39,34kN (Ilustración 7-53), fuerza menor a la fuerza de cierre límite de la máquina inyectora, 62,6kN.

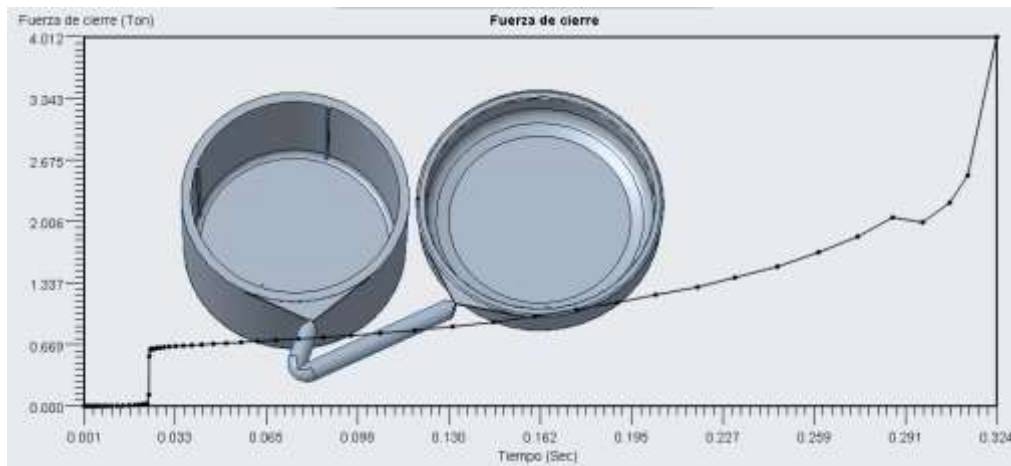


Ilustración 7-53. Fuerza de cierre de las dos piezas con ataque cortina.

Con esto, podemos concluir que este es nuestro mejor resultado hasta el momento, analizando a continuación los defectos que aparecen.

### 7.5.1. Defectos a controlar

A pesar de que estos resultados cumplen los requisitos establecidos por la máquina inyectora Babyplast, existen algunos defectos. La comprobación de estos resultados finales es la que se muestra a continuación:

#### 1. Atrapamiento de aire

Se han detectado atrapamientos de aire dentro de las cavidades de ambas piezas, siendo mayores en la pieza tapa, Ilustración 7-54. Estas burbujas podrían producir defectos en las superficies y, para eliminarlos, se debería aumentar el tiempo de llenado o diseñar salidas de gases.

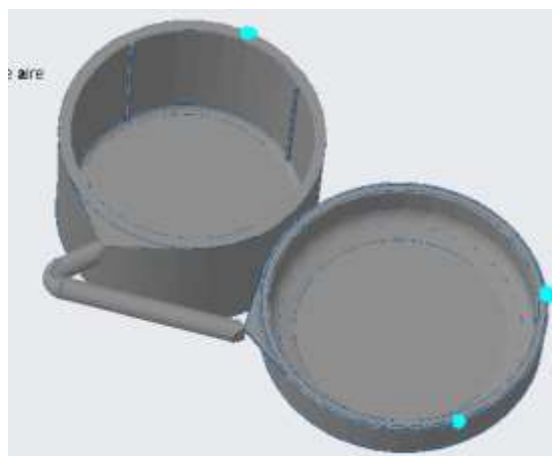


Ilustración 7-54. Atrapamiento de aire con ataque cortina.



## 2. Líneas de soldadura

Se han detectado líneas de soldadura en una pequeña zona de la pieza base, como se observa en la Ilustración 7-55. Con un aumento de la temperatura del molde o de la temperatura de la masa fundida podríamos solucionar este defecto.

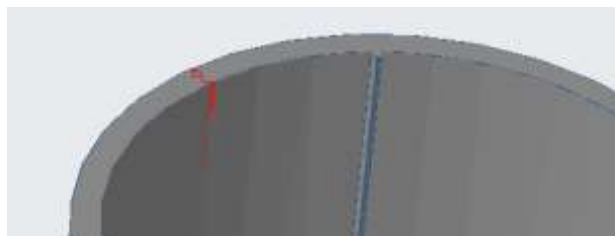


Ilustración 7-55. Líneas de soldadura con ataque cortina.

## 3. Degradación por la temperatura

La temperatura de la masa fundida resultante es mayor que la temperatura de trabajo máxima del polipropileno homopolímero que hemos considerado en todos los análisis, 230°C. Este aumento de temperatura se produce en el cambio de sección de los conductos de alimentación, como se ve en la Ilustración a la izquierda. Sin embargo, la temperatura máxima real de este material es de 280°C, por lo que este incremento no nos supone ningún tipo de problema, ya que el PP no se quemaría a 232°C, temperatura a la que se encuentran estas secciones reducidas de nuestros conductos cilíndricos de la Ilustración de la derecha.

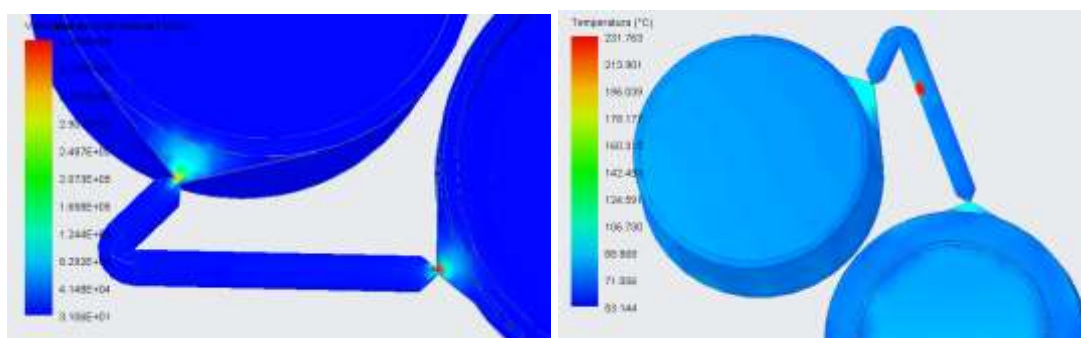


Ilustración 7-56. Degradación de la temperatura con ataque cortina.

## 4. Fenómeno de "hesitation"

Aparece también este fenómeno, en el cual la velocidad de flujo es reducida en ciertas zonas de nuestras piezas, siendo únicamente favorable en el cambio de sección de nuestros conductos de alimentación, Ilustración 7-57.

Esto podría dejar marcas en las superficies, por lo que, para solucionarlo, se debería reducir la variación de espesor en el modelo.

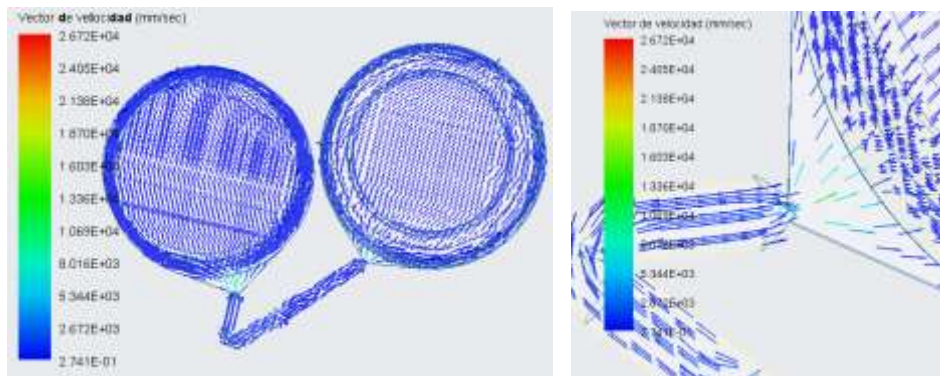


Ilustración 7-57. Fenómeno de "hesitation" con ataque cortina.

## 7.6. Simulación final

Dos de los defectos anteriores, la degradación por la temperatura y el fenómeno de "hesitation" se podrían eliminar con dos últimas modificaciones:

1. Suavizar la curva del balance del conducto hacia la base, lo que facilitará también su mecanizado (flecha naranja Ilustración 7-58).
2. Cambiar transición (más suave y progresiva) en el cambio de sección entre los conductos y la cortina (círculos en amarillo Ilustración 7-58).

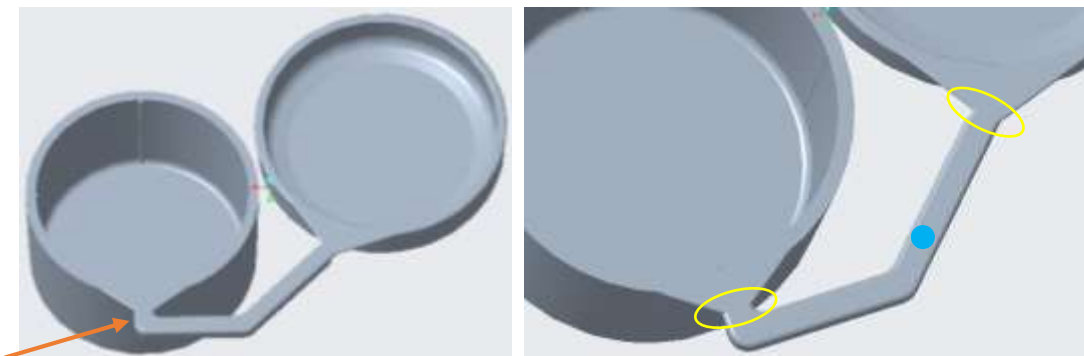


Ilustración 7-58. Modificación en conductos de alimentación.

Realizamos la simulación colocando el punto de entrada en el sistema de alimentación diseñado ( punto azul Ilustración 7-58) y obtenemos los siguientes resultados:

➤ Tiempo de llenado:

Las dos piezas se llenan correctamente en 0,34 segundos, como se observa en la Ilustración 7-59.

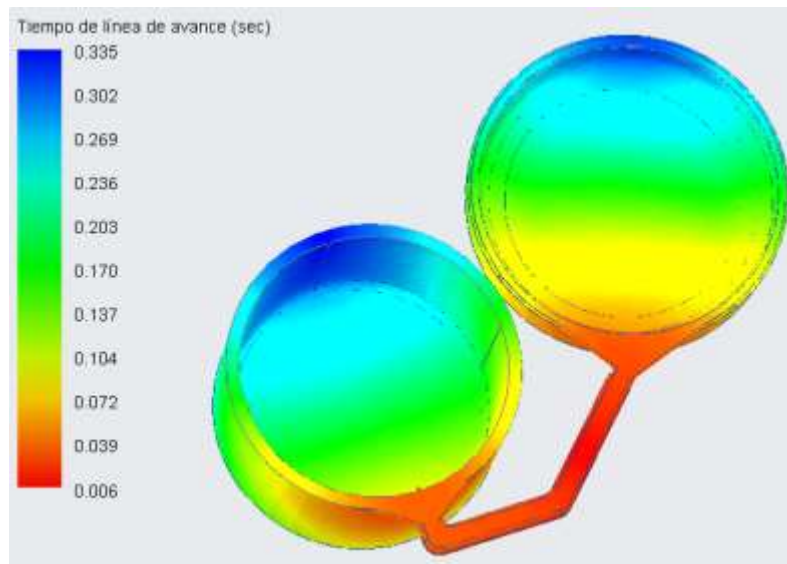


Ilustración 7-59. Tiempo de llenado suavizando el balance del recorrido de los conductos.

➤ Presión de inyección:

La presión necesaria para inyectar las dos piezas ahora es de 38,46MPa, valor menor que en el caso anterior con una curva más pronunciada en el conducto hacia la base. La máxima presión se vuelve a producir en los conductos de alimentación, Ilustración 7-60.

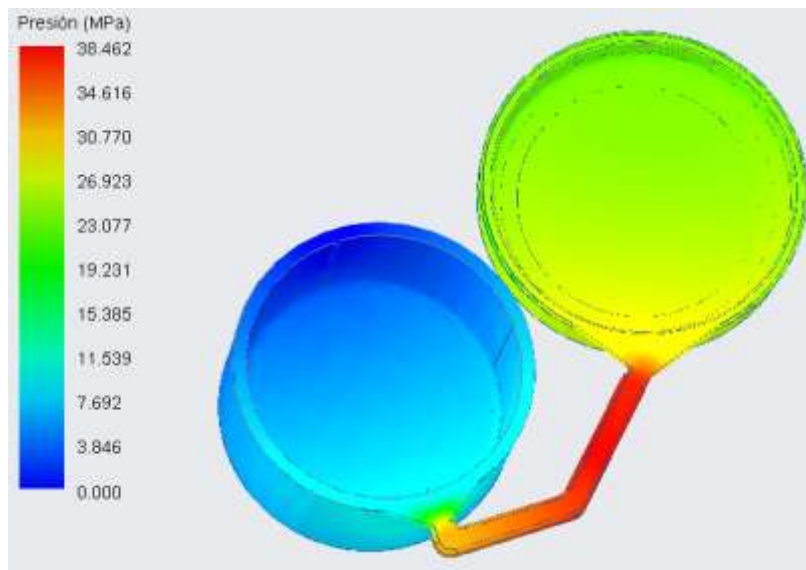
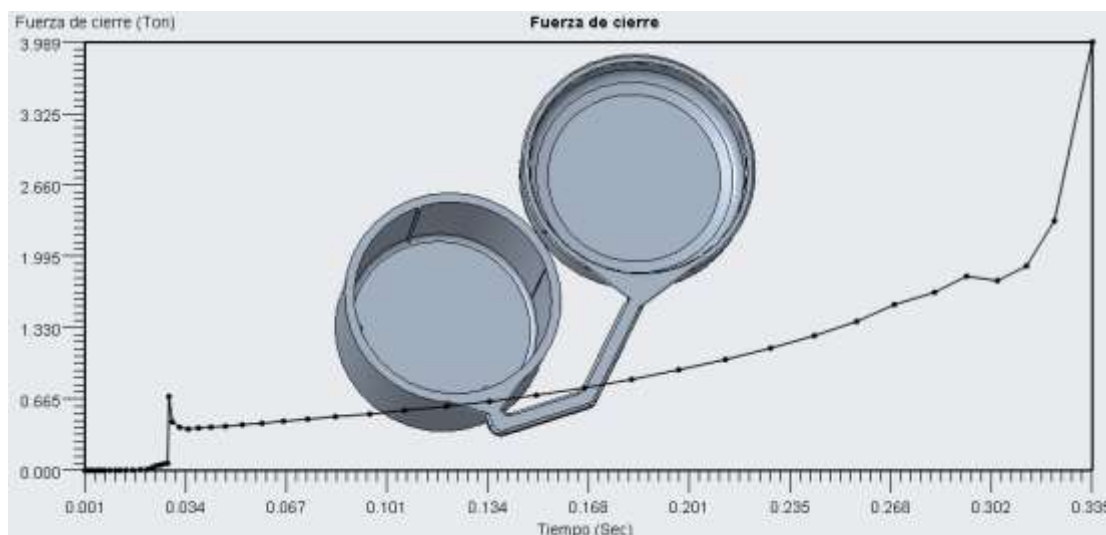


Ilustración 7-60. Presión de inyección suavizando el balance del recorrido de los conductos.

➤ Fuerza de cierre:

La fuerza de cierre necesaria no ha cambiado respecto al caso anterior, ésta sigue siendo de 39kN, Ilustración 7-61. Como ya sabemos, esta fuerza es válida para la máquina inyectora.



*Ilustración 7-61. Fuerza de cierre suavizando el balance del recorrido de los conductos.*

Estos resultados son mejores que los obtenidos anteriormente, con las siguientes características:

*Tabla 7-2. Características del resultado final de la simulación de inyección de plástico.*

**Pre calentamiento del molde a 50°C**

**Incremento del espesor de las paredes de las piezas a 1,5mm**

**Equilibrio del recorrido de los conductos de alimentación con un balance suave**

**Ataque cortina con una sección menor**

**Transición suave y progresiva entre el cambio de sección de los conductos y la cortina**

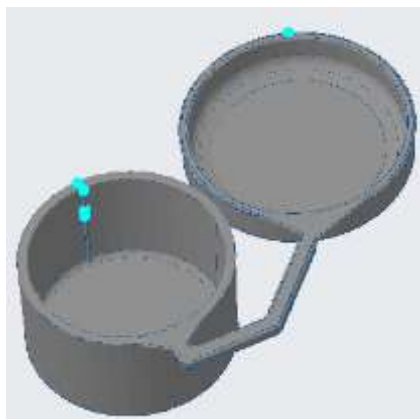
### 7.6.1. Defectos a controlar

Gracias a estas últimas modificaciones se ha conseguido mejorar algunos defectos, como la degradación por la temperatura y la ralentización del flujo de masa en algunas zonas de las piezas. Aun así, aparecen dos defectos un poco más pronunciados:

1. Atrapamiento de aire

Aparecen más burbujas en la pared cerca de una costilla de refuerzo de la zona opuesta de inyección de la pieza base, Ilustración 7-62. Esto puede ser causa de un patrón de llenado no uniforme o una salida de aire inapropiada al final de la ruta de flujo.

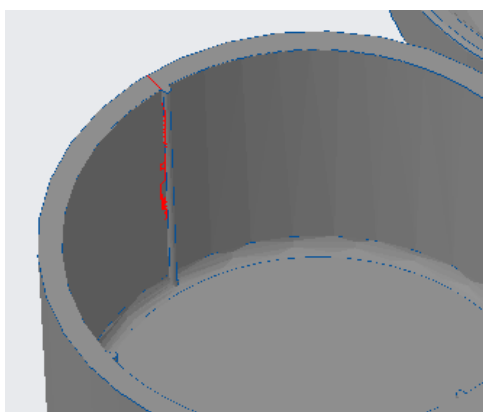
Para solucionar estos atrapamientos de aire se deberían diseñar salidas de gases o reducir el tiempo de llenado, aumentando la velocidad de inyección, ya que en la Ilustración 7-59 se observa una mayor zona fría (zona azul) en el lugar donde aparecen estos atrapamientos de aire.



*Ilustración 7-62. Atrapamiento de aire suavizando el balance del recorrido de los conductos.*

## 2. Líneas de soldadura

Se producen líneas de soldadura en una pequeña zona de un refuerzo de la pieza base, Ilustración 7-63, misma zona donde aparecen los atrapamientos de aire, Ilustración 7-62, lugar donde la pieza será más débil. Aumentando más la temperatura del molde podríamos llegar a solucionar este defecto.



*Ilustración 7-63. Líneas de soldadura suavizando el balance del recorrido de los conductos.*

Una vez que tenemos clara la inyección de plástico adecuada de nuestras piezas, podemos realizar el mecanizado del molde, incluyendo estos nuevos conductos diseñados.

## 8. PROCESO DE FABRICACIÓN. MECANIZADO

Llegados a este punto, se procederá a mecanizar el *core*, el *cavity*, los agujeros para los expulsores y los agujeros centradores de nuestro molde. Podríamos definir el mecanizado como un conjunto de operaciones, aplicadas sobre un material de partida (bruto) con el fin de darle una forma y un tamaño concreto, eliminando todo el material sobrante de forma controlada. Utilizaremos máquinas-herramientas de control numérico (MHCN), las cuales realizarán las operaciones de corte programadas de forma automática.

A continuación, se analizarán y seleccionarán las herramientas más adecuadas para realizar el mecanizado del molde mediante el software, CREO Parametric. Se realizarán dos mecanizados diferentes: uno para el *core* y otro para el *cavity*. Para finalizar, se ejecutará el postproceso obteniéndose los programas a enviar a la máquina.

### 8.1. Hoja de ruta

La hoja de ruta es un documento donde se especifican las operaciones necesarias para la fabricación de una pieza o un conjunto de ellas que sigan el mismo proceso. Estas operaciones estarán colocadas y seguirán el orden en el que se realizarán en los programas, indicando también diferentes características de cada operación. La hoja de ruta recoge la información más relevante a ser tenida en cuenta por el operario de la máquina.

Se requerirá una hoja de ruta para cada parte del molde que queremos fabricar, es decir, una para el *core* y otra para el *cavity*, aunque cabe destacar que se utilizarán las mismas herramientas y mismas condiciones de corte para ambas.

En el [Anexo II](#) se pueden visualizar estas hojas de ruta con detalle.

### 8.2. Proceso de mecanizado mediante CREO Parametric

Se realizará el mecanizado mediante el software CREO Parametric, donde se introducirán las herramientas necesarias para cada operación, así como sus principales condiciones de corte, para el correcto mecanizado de las dos mitades del molde.

Únicamente tendremos un cero pieza para cada mitad del molde, que es el punto donde el programador sitúa el sistema de referencia según los ejes X - Y - Z, respecto de los cuales se define la geometría de la pieza que se va a programar. Este punto se puede colocar en cualquier parte de la pieza. En este caso, lo colocaremos en una esquina superior de ambas mitades en bruto, Ilustración 8-1 (flecha verde), con una retracción de operación para mantener una distancia de seguridad.

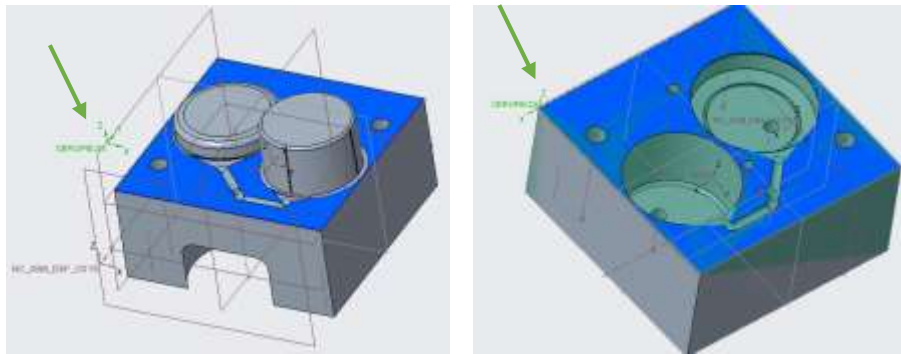


Ilustración 8-1. Cero pieza del core (izquierda) y del cavity (derecha).

Además, crearemos un punto de referencia (0, 0, 50), que será el punto de seguridad inicial y final en el que se posicionará la herramienta en cada operación.

Una vez definidos nuestros planos y sistemas de coordenadas, introduciremos las características de las herramientas que se han seleccionado en el apartado 8.3. para cada operación, definiendo también los parámetros de las condiciones de corte de la herramienta en cada trayectoria a seguir.

A modo esquema, las operaciones, en orden, que se realizarán en cada mitad del molde se plasman en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1. Esquema operaciones de mecanizado en cada mitad del molde.

CAVITY	CORE
Cajeado de la tapa	Desbaste sobre la tapa
Ranura interior de la tapa	Perfilado desbaste de material enterizo
Ranura del anillo de la tapa	Perfilado de la tapa
Cajeado de la base	Perfilado de la base
Desbaste de la cortina de la tapa	Redondeo de la base
Acabado de la cortina de la tapa	Redondeo de la tapa
Desbaste de la cortina de la base	Desbaste de restos 1 y 2
Acabado de la cortina de la base	Perfilado costillas de la base (x4)
Ranurado canaletas	Desbaste de la cortina de la tapa
Taladrado expulsores Ø3,5mm	Acabado de la cortina de la tapa
Taladrado expulsores Ø4,5mm	Desbaste de la cortina de la base
Taladrado centradores Ø6,25mm	Acabado de la cortina de la base
Avellanado de los centradores	Ranurado canaletas
	Talado centradores Ø6mm
	Escariado centradores Ø6,25mm

### 8.3. Herramientas de mecanizado

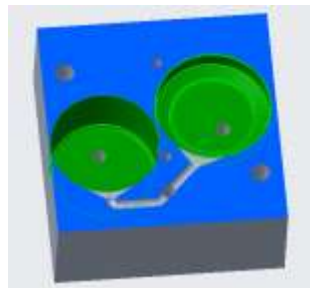
En primer lugar, sabemos que solamente tendremos una fase para cada parte del molde: el fresado.

Como método general, para seleccionar adecuadamente las herramientas mediante el catálogo de *Mitsubishi Materials Corporation*, primero buscaremos el material a trabajar, acero inoxidable AISI 420, el tipo de fresa y la longitud de corte deseada. Después, se concretará la herramienta y, por último, las condiciones de corte.

Seleccionaremos las herramientas adecuadas para realizar dichas operaciones, introduciendo una breve descripción de cada una de ellas. Puede verse la selección detallada de cada herramienta en el [Anexo III](#).

#### 1. CAJEADOS DEL CAVITY

Para realizar los **cajeados** en el material enterizo del *cavity*, utilizaremos una fresa integral de tipo tórica. El tamaño de ésta depende de la geometría de la pieza, por lo que el tamaño máximo de la fresa deberá ser de 60mm de diámetro, ya que el menor radio es de aproximadamente 30mm con una profundidad de 20mm. Para no perder tiempo, se ha decidido que se harán dos cajeados diferentes: uno para la tapa y otro para la base. Estas dos operaciones tendrán la misma herramienta y mismas condiciones de corte, modificando únicamente los parámetros de profundidad axial y radial para la tapa, ya que serán menores al tener esta una altura menor que la base.



*Ilustración 8-2. Cajeados y vaciados en el cavity.*

Se decide elegir una fresa integral tórica de 4 hélices con longitud de corte media VQMHVRB, de diámetro 20mm, radio de acuerdo de 1mm y profundidad máxima de corte de 45mm: VQMHVRBD2000R400.

Las condiciones de corte de esta herramienta para nuestro acero inoxidable serán de 1300rpm y 410mm/min. Así, la profundidad axial será de 0,5mm para la tapa y 18mm para la base y la profundidad radial será de 2mm para la tapa y 3,6mm para la base.



Esta fresa se muestra en la Ilustración 8-4, tipo 2.

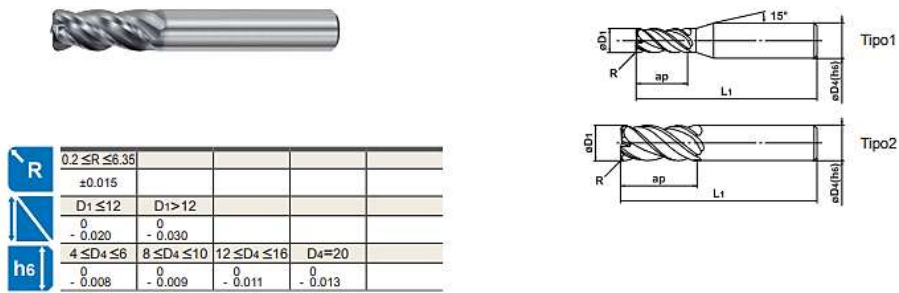


Ilustración 8-3. Fresa integral tórica para cajeras.

## 2. DESBASTES Y PERFILADOS DEL CORE

Por otro lado, para el *core*, empezaremos realizando un **desbaste** del material enterizo del molde: debemos realizar dos desbastes, ya que sobre la tapa queda parte de material, que eliminaremos en primer lugar mediante un desbaste por trayectoria. A continuación, se lleva a cabo el desbaste de toda la pieza mediante un perfilado.

Para ambas operaciones utilizaremos un fresado multifuncional tipo frontal APX4000-04A04RA, ya que ofrece una elevada precisión y calidad en pared vertical, con bajo esfuerzo de corte. Esta herramienta tendrá un diámetro de 40mm y una profundidad de corte axial máxima de 15mm, como se muestra en la Ilustración 8-4.

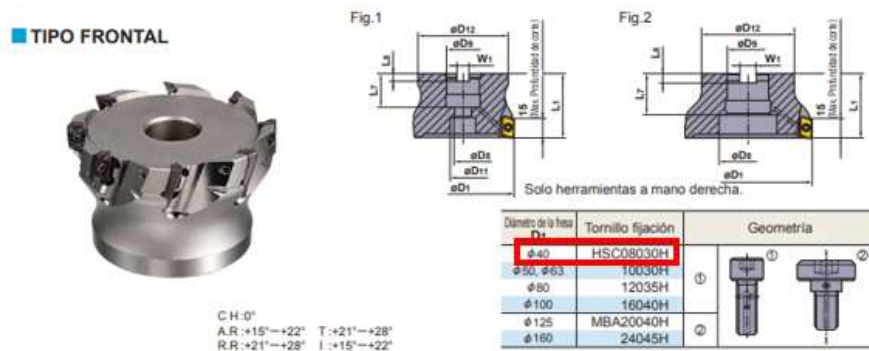


Ilustración 8-4. Fresado profundo a escuadra APXD4000.

La plaquita a utilizar viene ya clasificada con esta herramienta, escogeremos la AOMT184808PEER-M con un recubrimiento VP15TF, Ilustración 8-5, que permite un corte general para piezas de acero.

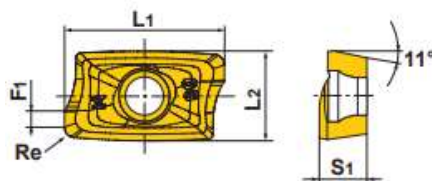


Ilustración 8-5. Plaquita para fresa de planeado.

Las condiciones de corte definidas para esta plaquita, para piezas de acero inoxidable y de calidad VP15TF son 170m/min y 0,10mm/diente.

Una vez hechos los desbastes, se debe hacer un **perfilado** de las protusiones del *core*, Ilustración 8-6. Para realizar este perfilado, tenemos que seleccionar una fresa que sea capaz de mecanizar entre estas dos protusiones, siendo la mínima distancia entre ellas de 4mm. (resaltada en amarillo en la Ilustración)

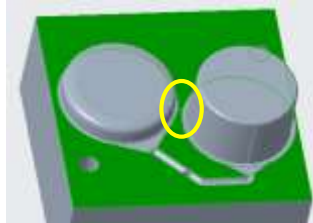


Ilustración 8-6. Perfilado del core.

Para ello, se realizarán dos perfilados diferentes: uno para la tapa y otro para la base. Nos interesa buscar una fresa de punta plana con un diámetro menor de la distancia entre las dos protusiones, 4mm, para que pueda mecanizar sin problema. Así, seleccionaremos una fresa integral VQJHVD0350 con 4 hélices y longitud de corte semi-larga, diámetro de 3,5mm y profundidad de corte de 14mm, Ilustración 8-7. Las condiciones de corte para esta herramienta serán de 8500rpm y 490mm/min, con una profundidad axial de 1mm para la tapa y de 7,5mm para la base.



Ilustración 8-7. Fresa integral para perfilado de las protusiones del core.

Esta misma herramienta nos servirá para realizar el **desbaste de los restos** que quedan sin mecanizar, Ilustración 8-8. Este desbaste se realizará mediante una trayectoria definida por el usuario y se aplicarán las mismas condiciones de corte que para el perfilado de las protusiones, 8500rpm y 490mm/min con una profundidad axial de 0,5mm.



Ilustración 8-8. Restos del core.

El último perfilado a realizar será el de las costillas de refuerzo de la base, de 0,5x19x0,5mm. En este caso, debido a algún problema de diseño, se necesitan dos fresas, una con diámetro de corte de 0,5mm y otra con diámetro de corte de 0,4mm, ambas de punta plana.

Se selecciona una fresa integral MS2XL6, con dos hélices, cuello largo y mango de 6mm, Ilustración 8-9.

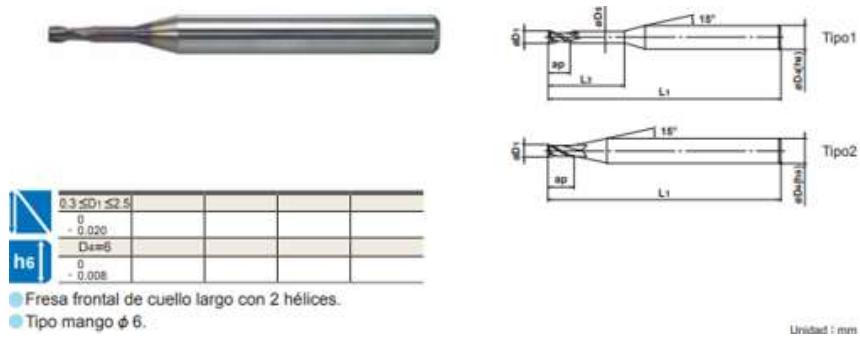


Ilustración 8-9. Fresa integral para perfilado de las costillas de la base del core.

Para dos costillas utilizaremos un diámetro de corte de 0,5mm, con un cuello de 2,5mm de largo y unas condiciones de corte de 30000rpm y un avance de 500mm/min.

Para las otras dos costillas, se seleccionará un diámetro de corte de 0,4mm, con cuello de 2mm de largo y unas condiciones de corte idénticas al anterior.

### 3. REDONDEOS DEL CORE

Ambas protusiones tienen un redondeo de contorno, por lo que necesitaremos una herramienta de forma para redondear las dos piezas en una sola pasada. En el catálogo de *Hoffmann Group*, seleccionamos una fresa de cuarto de círculo sin revestimiento con dentado recto, Ilustración 8-10, con un radio de corte de 1mm.

Elegiremos unas condiciones de corte conservadoras para esta herramienta, 3000rpm y un pequeño avance de 40mm/min.

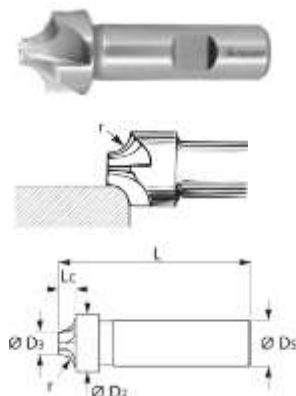


Ilustración 8-10. Herramienta de forma para redondeos de protusiones.

4. RANURADOS

Para realizar los conductos semi-cilíndricos de alimentación que irán en las dos partes del molde, se buscará una fresa con punta esférica para **ranurado** de alta precisión. El radio mínimo es de 1,5mm en los conductos iniciales y de 0,25mm en el ataque en forma de cortina, Ilustración 8-11. Con esto, deducimos que necesitaremos tres fresas esféricas: una con un diámetro máximo de 3mm para los conductos, otra de 1mm para el desbaste de las cortinas y de 0,5mm para su acabado.

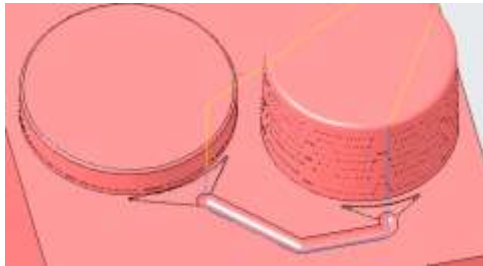


Ilustración 8-11. Ranuras de los conductos semi-cilíndricos y ataques cortina.

Elegiremos el mismo tipo de fresa para estos tres ranurados: VC2PSBP, de longitud corta con 2 ranuras de viruta y tolerancia radial de precisión ultra-elevada, Ilustración 8-12.

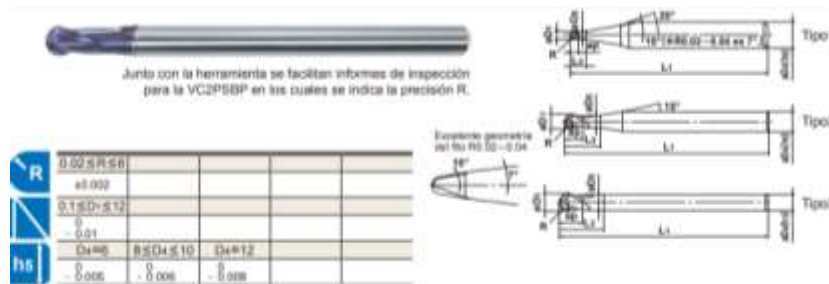


Ilustración 8-12. Fresa de punta esférica para ranurado 3mm.

Para los conductos, la fresa tendrá un diámetro de 3mm y una profundidad axial máxima de corte de 4,5mm. Sus condiciones de corte de gran eficiencia para nuestro AISI 420 serán de 24000rpm y 2600mm/min.

Para los ataques en forma de cortina, primero se hará un desbaste con una fresa de diámetro de 1mm y profundidad axial máxima de corte de 1,5mm, con unas condiciones de corte de 35000rpm y 3000mm/min. Después se realizará un acabado con el fin de mecanizar las esquinas correctamente, para el cual utilizaremos la misma fresa de punta esférica, de diámetro 0,5mm. Esta fresa tendrá una profundidad de corte máxima de 0,5mm y una longitud de cuello de 1,3mm. En este caso, las condiciones de corte recomendadas para nuestro acero inoxidable serán de 40000rpm y un avance de 1500mm/min.

Además, tendremos otras dos ranuras en el *cavity*: una ranura interior en el fondo y otra ranura en la abertura formando el anillo de refuerzo, ambas de 0,5mm de espesor, Ilustración 8-13.

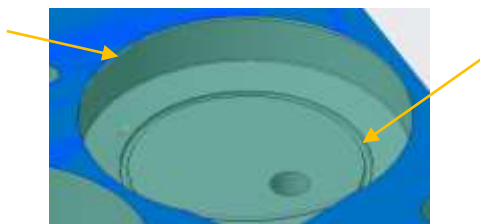


Ilustración 8-13. Ranuras de la tapa en el *cavity*

Para la ranura del fondo seleccionaremos una herramienta integral de punta plana con un diámetro de 0,5mm y profundidad axial máxima de corte de 2mm: MS2LS, de longitud larga con dos hélices, Ilustración 8-14.

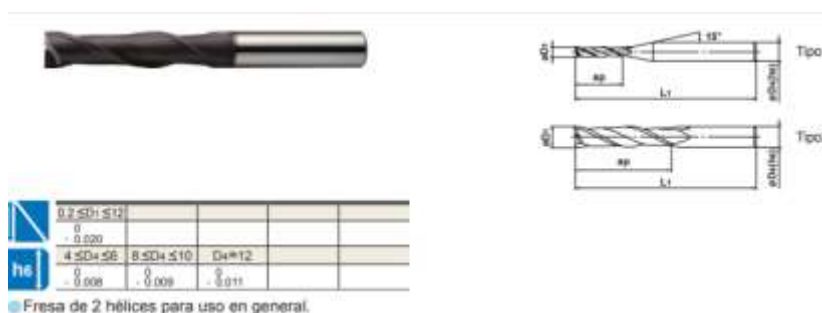


Ilustración 8-14. Fresa integral de punta plana para ranurado interior de la tapa.

Las condiciones de corte para este ranurado serán de 24000rpm y 380mm/min, con una profundidad de corte de 0,01mm.

Por último, para el ranurado del anillo de refuerzo, se elegirá un sistema para ranurado interior de la serie GY, tipo 90°, GYAR20K90A, con diámetro de 2mm, Ilustración 8-15. La velocidad de corte para nuestro acero será de 50m/min.

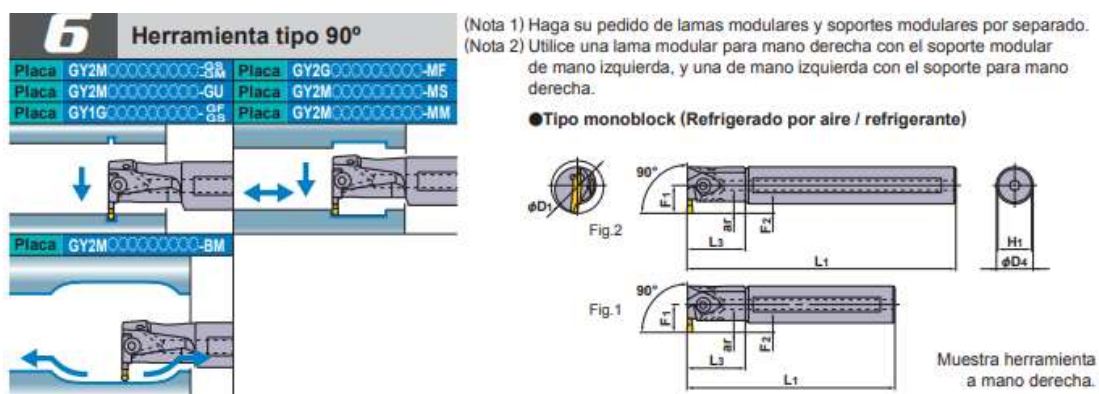


Ilustración 8-15. Herramienta para ranurado interior del anillo de refuerzo de la tapa.

Seleccionaremos una plaquita con la parte superior plana para materiales endurecidos, GY1G0200D020N-GFGS, Ilustración 8-16, con una calidad VP20RT. Esta calidad de placas proporciona un equilibrio excelente entre resistencia al desgaste y resistencia a la rotura.

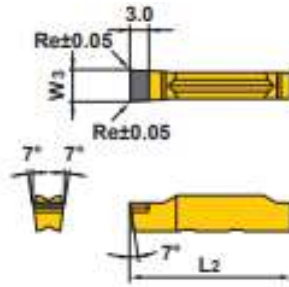


Ilustración 8-16. Plaquita para ranurado interior del anillo de refuerzo de la tapa.

### 5. TALADRADOS

Por último, se deberán realizar los **taladros** de ambas partes del molde. Se utilizarán las de la serie MPS, Ilustración 8-17, adecuadas para acero inoxidable, y que tienen dentro de su rango de diámetros los agujeros que tenemos para los expulsores, desde 3,5mm a 4,5mm con una profundidad de 35mm.

Las condiciones de corte para todas estas brocas serán 50m/min y 0,10mm/rev.

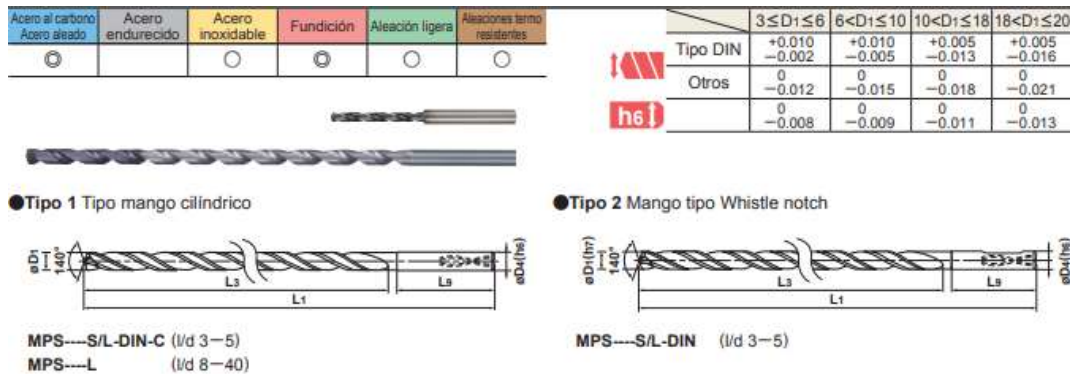


Ilustración 8-17. Dimensiones de las brocas de la serie MPS.

En particular, se utilizarán las siguientes brocas:

- Broca MPS0350-L35C del tipo mango cilíndrico para los agujeros de 3,5mm de diámetro de los expulsores con una profundidad de 35mm.
- Broca MPS0450-L35C del tipo mango cilíndrico para los agujeros de 4,5mm de diámetro de los expulsores con una profundidad de 35mm.

Nos quedarían por seleccionar las brocas para los agujeros centradores de diámetro 6,25mm. Seleccionaremos una broca de la serie VAPDMSUS, en concreto, la VAPDMSUSD0625, ya que tiene una profundidad de corte máxima de 62mm.



Ilustración 8-18. Broca para los agujeros centradores.

Para esta broca, las condiciones de corte recomendadas para el acero AISI 420 martensítico, son 1100rpm y 0,15mm/rev.

Estos agujeros centradores se encuentran en las dos mitades del molde, en el *cavity* irán los avellanados y en el *core* irán los escariados.

– AVELLANADO

Primero, para los avellanados de 60° seleccionaremos una broca Violet VAPDSCB con hélice corta de alta precisión de 8mm de diámetro, VAPDSCBD0800, Ilustración 8-19. Esta herramienta tendrá unas condiciones de corte de 800rpm y una velocidad de avance de 0,20mm/rev.

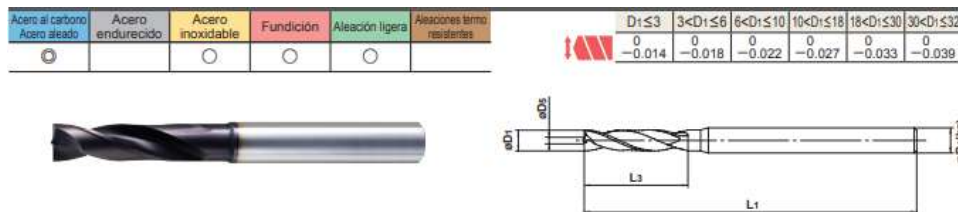


Ilustración 8-19. Broca para avellanado de los centradores del *cavity*.

– ESCARIADOS

Para los agujeros de los centradores del *core*, primero se taladrará el agujero de diámetro 6mm con la serie VAPDMSUS citada anteriormente, Ilustración 8-18, para más tarde realizar el escariado de diámetro 6,25mm con la misma herramienta, ya que conseguiremos un taladrado de alta eficiencia. En este caso, como se trata de una operación de acabado, las condiciones de corte serán reducidas, de 800rpm y 0,10mm/rev.

Con esto, tendríamos todas las herramientas necesarias para realizar el correcto proceso de mecanizado del molde.

## 8.4. Amarres de mecanizado

Para asegurar una sujeción adecuada en la máquina que interviene en el proceso se deben seleccionar utillajes para las diferentes operaciones que se realizarán.

En todos ellos hemos buscado una característica común: la versatilidad. Esto favorecerá las variaciones en la orientación del molde necesarias para un mecanizado óptimo, acorde a las características de las herramientas empleadas.

Se utilizará un solo amarre para el fresado, ya que para el taladrado no será necesario.

Para este amarre nos serviremos del catálogo de la empresa *Fresmak*, donde seleccionaremos el amarre que mejor se adecúe a nuestras necesidades.

### ➤ Amarre para el fresado:

Elegimos una Mordaza ARNOLD CLASSIC Mecánica versión *Standard*, Ilustración 8-20, con una fuerza de amarre de hasta 80kN y una exactitud de 0,01mm en la repetibilidad de amarre. Algunas de sus características más importantes son las siguientes:

- Diseño monobloque: evita las deformaciones al realizarse la alta presión y confiere gran robustez.
- La fuerza aportada por el husillo de alta presión se transmite a la pieza en el centro exacto de la boca de amarre, logrando un aprovechamiento de esa fuerza de un 100%.
- Gran apertura, llegando hasta 375 mm y 845 mm en el caso del cuerpo en dos partes.
- Los husillos ARNOLD CLASSIC pueden ser utilizados independientemente de la mordaza, como elemento de amarre de un utillaje.



*Ilustración 8-20. Mordaza ARNOLD CLASSIC mecánica.*

Se escoge una boca lisa con un ancho de 90mm, dada la sencillez de la geometría de la pieza a mecanizar, con un ancho de 75mm.



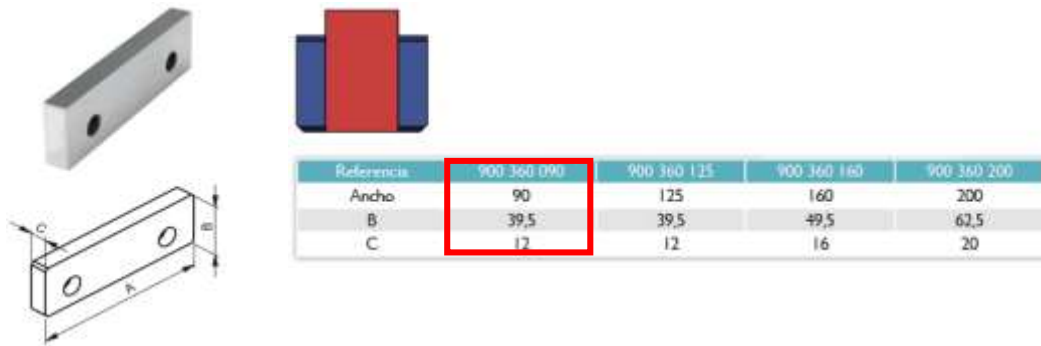
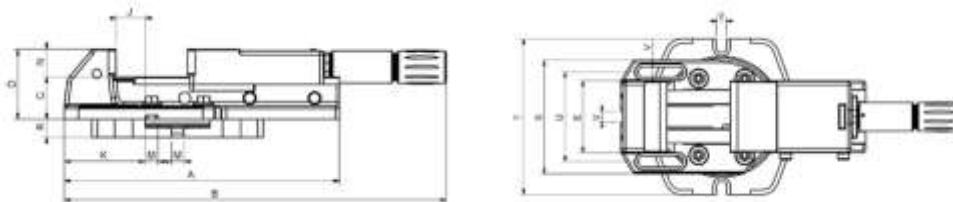


Ilustración 8-21. Boca lisa para mordaza ARNOLD CLASSIC

En la siguiente Ilustración se muestran las características de esta mordaza. Es importante tener en cuenta el campo de amarre y, dado que la pieza tiene un ancho de 75mm, con el campo de amarre O1 (0-80mm) nos será suficiente.



Tamaño	90	125	160	200
ARNOLD CLASSIC Mecánica	010 200 090	010 200 125	010 200 160	010 200 200
ARNOLD CLASSIC Mecánica con regulador	010 210 125	010 210 160		
ARNOLD CLASSIC Mecánica con base	010 201 090	010 201 125	010 201 160	010 201 200
ARNOLD CLASSIC Mecánica con base con regulador		010 211 125	010 211 160	
ARNOLD CLASSIC Mecánica recta	010 202 090	010 202 125	010 202 160	010 202 200
ARNOLD CLASSIC Mecánica recta con regulador		010 212 125	010 212 160	
ARNOLD CLASSIC Mecánica en dos partes			010 203 160	010 203 200
ARNOLD CLASSIC Mecánica en dos partes con regulador			010 213 160	
Fuerza de amarre (kN)	25	40	50	80
A	355	425	570	680
B	391 - 548	480 - 690	570 - 875	723 - 1101
B (con regulador)		507 - 718	594 - 902	
B (en dos partes)			566 - 1369	723 - 1576
B (en dos partes con regulador)			594 - 1396	
C	52	65	80	97
C (Mordaza recta y en dos partes)	52	70	89	101
D	92,5	107,5	130,5	160,5
D (Mordaza recta y en dos partes)	92,5	112,5	139,5	164,5
E	90	125	160	200
J	25	45	85	105
K	95	125	175	225
M	20	20	20	20
N	40,5	42,5	50,5	63,5
S	162	197	252	302
U	126	155	200	250
V	14	18	18	22
Peso (kg)	13	26	51	94
Base	800 450 090	800 450 125	800 450 160	800 450 200
R	25	28	32	45
T	230	270	325	400
Peso (kg)	5	8	15	32
Amarres	90	125	160	200
Campo de amarre O1	0 - 80	0 - 105	0 - 155	0 - 205
Campo de amarre O2	75 - 154	100 - 205	150 - 305	165 - 370
Campo de amarre (en dos partes) Omax			795	845



Ilustración 8-22. Características ARNOLD CLASSIC Mecánica 90mm.

## 8.5. Inspección y acabados

Como método para conseguir piezas válidas, es posible realizar inspecciones tras los procesos de fresado y taladrado con el fin de alcanzar un proceso general de calidad.

Los instrumentos de verificación para estos dos procesos podrían ser un micrómetro de interiores y de exteriores. Estas herramientas nos permitirán medir las superficies interiores y exteriores de las piezas tras los procesos de fabricación, donde se mecanizan las zonas internas y huecos de cada componente, así como todas las zonas externas donde se produce un arranque de viruta y su posterior acabado. A modo ejemplo se muestran estas herramientas en la Ilustración 8-24, a la izquierda el micrómetro de interiores y a la derecha el de exteriores.



Ilustración 8-23. Micrómetro de interiores (izquierda) y de exteriores (derecha) para inspección y acabados.

Además, se podría utilizar un pie de rey de tornero con sonda de profundidad, Ilustración 8-24. Este instrumento nos ayudaría a medir las dimensiones lineales, exteriores e interiores directamente. Para medidas de profundidad, el instrumento deberá estar lo más perpendicular posible a la mesa de planitud.

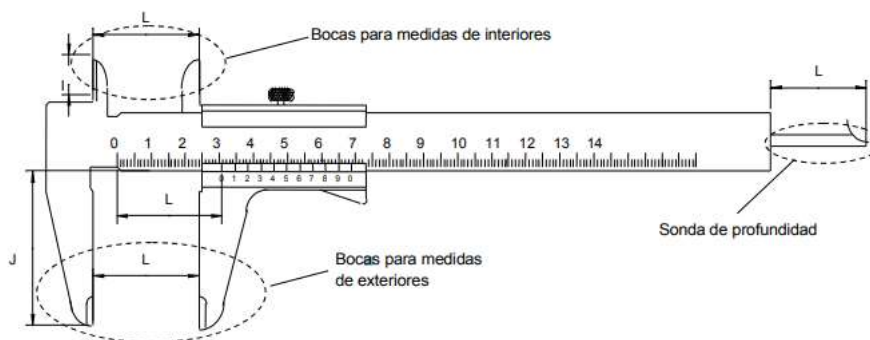


Ilustración 8-24. Pie de rey de tornero.

Todos estos instrumentos tendrán una división de escala de centésimas.

## 9. RESULTADOS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

Gracias a los rediseños y reajustes de los datos del proceso realizados durante todo el proyecto, podemos decir que los resultados obtenidos en el proceso de fabricación se adaptan a las restricciones impuestas.

Se puede observar en la Ilustración 9-1 la ejecución de la trayectoria mediante verificación CN del *cavity*, donde se observan todas las operaciones realizadas con las herramientas seleccionadas y se comprueba que son correctas.

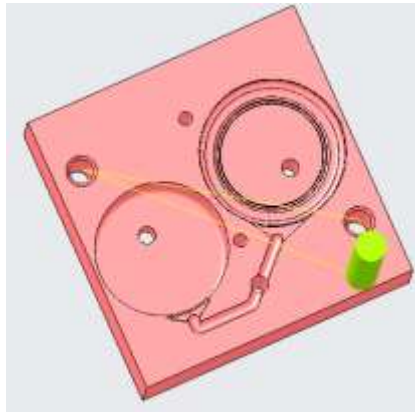


Ilustración 9-1. Ejecución de las trayectorias mediante verificación CN del mecanizado del *cavity*.

Para procesado del *cavity*, el software ha calculado un tiempo aproximado de mecanizado de 39 minutos. En la Ilustración 9-2 tenemos la tabla del proceso de mecanizado, donde se especifican diferentes características de cada operación, así como la herramienta utilizada. Observamos que el tiempo de mecanizado mayor se emplea en el ranurado del anillo de refuerzo. Esto se debe al diámetro tan pequeño de la herramienta, 0,5mm. Se podría mejorar este tiempo maximizando, llevando al límite las condiciones de corte de dicha herramienta.

	Nombre	Tipo	Máquina herramienta	Herramienta	Ejes	CUT_FEED	Tiempo de mecanizado (min.)
	MECA_CAVITY	OPERACIÓN	MILL01				38,8044
	CAJEADO_TAPA	CAJEADO		CAJEADO	Ejes 3	80	10,4334
	RANURA_INTERIOR_TAPA	CAJEADO		FRESA_D0,5	Ejes 3	38	1,3031
	RANURA_ANILLO	FRESADO POR TI.		HTA_ANILLO_CAVITY	Ejes 3	50	16,1287
	CAJEADO_BASE	CAJEADO		CAJEADO	Ejes 3	80	3,4687
	CORTINA_TAPA_DESBASTE	FRESADO EN OPC		ESFERICA_D1	Ejes 3	126	
	CORTINA_TAPA_ACABADO	FINISHING		ESFERICADO,5	Ejes 3	55	
	CORTINA_BASE_DESBASTE	FRESADO EN OPC		ESFERICA_D1	Ejes 3	126	
	CORTINA_BASE_ACABADO	FINISHING		ESFERICADO,5	Ejes 3	55	
	RANURADO_D3	FRESADO POR TI.		RANURAS	Ejes 3	226,2	0,4845
	TALADRO_D3_5	PERFORACIÓN		EXPULSORES_D3_5	Ejes 3	50	0,2334
	TALADRO_D4_5	TALADRO ESTÁND		EXPULSORES_D4_5	Ejes 3	50	0,3453
	TALADRO_D6_25	TALADRO ESTÁND		TALADRO_D6_25	Ejes 3	22	0,1882
	AVELLANADO	AVELLANADO		AVELLANADO	Ejes 3	20	6,0192

Ilustración 9-2. Tabla de mecanizado del *cavity*.

Lo mismo observamos para el *core*, donde se aprecian todas las operaciones definidas anteriormente, con las herramientas y condiciones de corte seleccionadas, Ilustración 9-3.

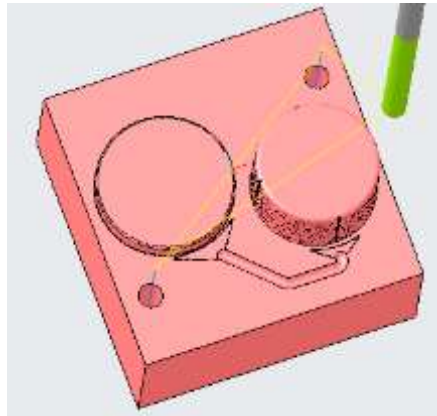


Ilustración 9-3. Ejecución de las trayectorias mediante verificación CN del mecanizado del core.

En este caso, el tiempo de mecanizado es mucho mayor, 1 hora y 47 minutos, Ilustración 9-4. Al igual que para el *cavity*, los mayores tiempos de mecanizado se observan en las operaciones donde se emplean herramientas con un diámetro muy pequeño.

	Nombre	Tipo	Máquina Herram:	Herramienta	Ejes	CUT_FEED	Tiempo de mecanizado (min.)
	MECA_CORE	OPERACIÓN	MILLD1				106.9941
	DESBASTE_SOBRE_TAPA	FRESADO POR TRAYECTORIA		DESBASTE	Ejes 3	170	0.7737
	PERFILADO/DESBASTE	PERFILADO		DESBASTE	Ejes 3	170	15.0704
	PERFILADOTAPA	PERFILADO		PERFILADOTAPAYBASE	Ejes 3	80	7.8758
	PERFILADOBASE	PERFILADO		PERFILADOTAPAYBASE	Ejes 3	80	7.0502
	REDONDEO_BASE	FRESADO POR TRAYECTORIA		HTA_CUARTO_CIRC	Ejes 3	20	8.4046
	REDONDEO_TAPA	FRESADO POR TRAYECTORIA		HTA_CUARTO_CIRC	Ejes 3	20	12.3726
	DESBASTE_RESTOS	FRESADO POR TRAYECTORIA		PERFILADOTAPAYBASE	Ejes 3	80	3.9609
	DESBASTE_RESTOSZ	FRESADO POR TRAYECTORIA		PERFILADOTAPAYBASE	Ejes 3	80	3.2895
	COSTILLA_1	PERFILADO		FRESA_D0_5	Ejes 3	47	6.0988
	COSTILLA_2	PERFILADO		FRESA_D0_5	Ejes 3	47	0.1267
	COSTILLA_3	PERFILADO		FRESA_D0_4	Ejes 3	38	12.6087
	COSTILLA_4	PERFILADO		FRESA_D0_4	Ejes 3	38	12.6124
	CORTINA_TAPA_DESBASTE	FRESADO EN OPOSICIÓN		ESFERICA_D1	Ejes 3	126	2.1708
	CORTINA_TAPA_ACABADO	FINISHING		ESFERICA_D05	Ejes 3	55	
	CORTINA_BASE_DESBASTE	FRESADO EN OPOSICIÓN		ESFERICA_D1	Ejes 3	126	
	CORTINA_BASE_ACABADO	FINISHING		ESFERICA_D05	Ejes 3	55	
	RANURADO_D3	FRESADO POR TRAYECTORIA		RANURA_D3	Ejes 3	226	0.7854
	TALADRO_D6	TALADRO ESTÁNDAR		TALADRO_D6	Ejes 3	22	13.7466
	ESCARIADO_D6_25	ESCARIADO		ESCARIADOR	Ejes 3	16	

Ilustración 9-4. Tabla de mecanizado del core.

Finalmente, se realiza un post-procesado del mecanizado de las dos piezas, para generar el programa CNC entendible por las máquinas. En este caso, se post-procesa desde CREO Parametric para un Control Numérico Siemens 840D, CN que lleva la MHCN *Gentiger V-66*, disponible en el Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales de la Universitat Politècnica de València. Este control sigue con bastante fidelidad el estándar ISO 6983.

El modo básico de comunicarse con la máquina herramienta es mediante los elementos que forman la estructura de un bloque de instrucciones, donde cada carácter tiene un significado, siguiendo el formato que se muestra, Ilustración 9-5:

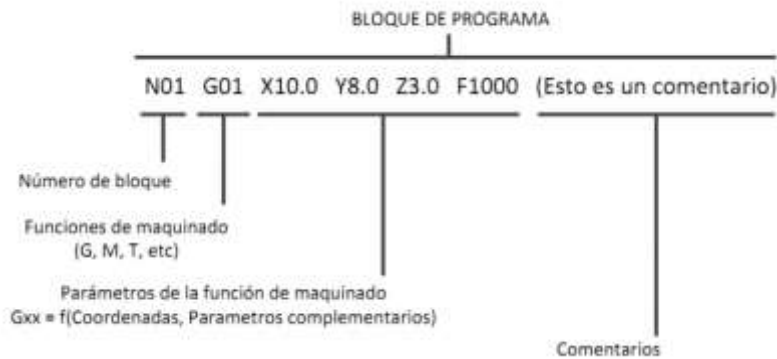


Ilustración 9-5. Formato de bloque CNC.

En la siguiente tabla, Tabla 9-1, se muestra una pequeña parte del código CNC del mecanizado del *cavity* (columna de la izquierda). En la columna de la derecha se explica brevemente cada instrucción a seguir, indicando también las condiciones de corte impuestas.

Tabla 9-1. Código CNC del mecanizado del *cavity*.

<b>N5 G71</b>	G71: Programación en mm
<b>N10 ( / MECANIZADO)</b>	
<b>N15 G0 G17 G99</b>	G0: Avance para posicionamiento rápido G17: Selección del plano XY, como referencia G99: La herramienta vuelve al plano de referencia después de un ciclo fijo
<b>N20 G90 G94</b>	G90: Programación en coordenadas absolutas G94: Avance expresado en mm/min
<b>N25 G0 G49</b>	G49: Cancela las compensaciones de altura de la hta.
<b>N30 T1 M06</b>	T: Número de herramienta en el almacén M06: Cambio automático de herramienta
<b>N35 S1300 M03</b>	S1300: Giro de la herramienta a 1300rpm M03: Arranque del motor principal en sentido horario
<b>N40 G0 G43 Z50. H1</b>	G43: Activa la compensación de longitud de la herramienta. H1 posición donde están los correctores para la herramienta cargada.
<b>N45 X16.443 Y75. (</b>	Movimiento a coordenadas de comienzo del perfil
<b>N50 X25.433 Y40.695</b>	Movimiento a coordenadas
<b>N55 Z5.</b>	Movimiento a coordenadas
<b>N60 G1 Z-.5 F80.</b>	G1: Interpolación lineal en movimiento de trabajo Movimiento lineal de 5mm en la dirección Z negativa
<b>N65 G3 X21.179 Y42.031 I-4.904 J-8.174</b>	G3: Interpolación circular en sentido antihorario I, J: Coordenadas polares del centro del arco
<b>N70 G1 Z5.</b>	Movimiento lineal de 5mm en la dirección Z positiva
<b>N75 G0 X26.091 Y39.471</b>	Posicionamiento rápido lineal al punto 26.091,39.471 del plano XY
<b>N80 G1 Z-1. F80.</b>	F80: Avance de 80mm/min

## 10. CONCLUSIONES

El proyecto académico realizado en el marco del Trabajo Fin de Máster ha permitido emplear y desarrollar los conocimientos adquiridos en el Máster Universitario en Ingeniería Mecánica, así como fortalecer las competencias relacionadas con el Diseño y Fabricación de productos. Además, también se ven reflejadas áreas como la selección de materiales y las técnicas de simulación de inyección de plástico.

Podemos concluir que se ha obtenido un diseño final, factible, de dos piezas a fabricar mediante moldeo por inyección. Para poder obtener este diseño óptimo, se ha realizado previamente una revisión teórica, específica, para poder contextualizar las técnicas de fabricación para materiales plásticos, así como los softwares CAD y CAM necesarios para la etapa de diseño de los productos.

En el caso práctico se ha desarrollado un diseño simple de dos piezas reforzadas, así como sus respectivos moldes de inyección con unos criterios de modelado claros, en una herramienta de diseño totalmente nueva para el alumno, CREO Parametric. Con esto, es importante destacar los nuevos conocimientos adquiridos sobre este programa de diseño y fabricación durante la realización del proyecto, que servirán de guía en futuros proyectos.

Tras la realización de rediseños y reajustes, las pruebas de inyección del molde han sido exitosas, ya que tanto el llenado del molde, como la presión y fuerza de cierre necesarias cumplen las restricciones impuestas por la máquina inyectora Babyplast. Por ello, podemos decir que los análisis CAE han sido muy útiles para dimensionar satisfactoriamente el sistema de alimentación y comprobar el correcto funcionamiento sobre la pieza.

Por último, los objetivos del mecanizado de las dos mitades del molde, también han sido alcanzados. A través del catálogo de herramientas de *Mitsubishi Materials*, se han seleccionado las herramientas necesarias para realizar todas las operaciones de fresado imprescindibles para la correcta fabricación del molde. Reajustando las condiciones de corte de estas herramientas en cada operación, se ha obtenido un buen resultado en la simulación 3D del mecanizado.

Para finalizar, se puede decir que el desarrollo de este proyecto ha supuesto una satisfacción personal debido a las competencias adquiridas en el ámbito del Diseño, Desarrollo y Fabricación de Productos, así como al aprendizaje del manejo de herramientas de apoyo a la ingeniería industrial avanzadas, que serán de gran ayuda en el futuro laboral.

## 11. REFERENCIAS

1. Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2021). *Manufactura Ingeniería Y Tecnología* (5.<sup>a</sup> ed.). PRENTICE HALL/PEARSON. ISBN: 9789702610267
2. *La importancia de la inyección de plásticos en nuestro día a día.* (2018, 29 enero). Plastic85. <https://plastic85.com/inyeccion-de-plasticos-en-nuestro-dia-a-dia/>
3. *Inyección de plásticos: nuevas tecnologías y aplicaciones.* (2019, 27 diciembre). CLR, Compañía Levantina de Reductores. <https://clr.es/blog/es/inyeccion-de-plasticos-tecnologias/>
4. *Inyección de Plásticos.* (2017). IBILONJAVIRTUAL. <https://www.ibilonjavirtual.com/inyeccion-de-plasticos/>
5. P. (2021, 8 abril). *Retos de la Industria del Plástico en América Latina.* PRIVARSA. <https://www.privarsa.com.mx/>
6. M., & Perfil, V. T. M. (s. f.). *INYECCION DE MATERIALES PLASTICOS I.* Tecnología de los Plásticos. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-i.html>
7. Coating, N. (2019, 28 mayo). *5 Ventajas principales de usar moldeo por inyección de plástico para la fabricación de piezas.* Nanoplas. <https://nanomoldcoating.com/es/5-major-advantages-to-using-plastic-injection-molding-for-the-manufacturing-of-parts/>
8. VILLEGAS CARDONA, J. I. (2015). *METODOLOGÍA PARA EL APRENDIZAJE DE INYECCIÓN DE POLÍMEROS POR MEDIO DE UNA INYECTORA VIRTUAL.* [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7862/JorgeIvan\\_VillegasCardona\\_2015.pdf;jsessionid=CB55E6FAE56AD346B9DA360E5DB3D7FD?sequence=2](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7862/JorgeIvan_VillegasCardona_2015.pdf;jsessionid=CB55E6FAE56AD346B9DA360E5DB3D7FD?sequence=2)
9. *UNE-EN 201:2010 Maquinaria de plásticos y caucho. Máquinas de . . .* (s. f.). UNE. Normalización Española. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0045221>
10. Alecop. (s. f.). *Babyplast - Máquina de inyección de plásticos.* <https://www.alecop.com/equipamiento-didactico/areas/fabricacion-mecanica/inyeccion-de-plasticos/>

11. Envi, P. (2019, 21 mayo). 6/12 Standard. Babyplast.  
<https://www.babyplast.com/es/products/babyplast-6-12-standard-3/>
12. (s. f.). Tolerancias Plásticos. Issuu.  
[https://issuu.com/bronymecs.a./docs/tolerancias\\_plsticos](https://issuu.com/bronymecs.a./docs/tolerancias_plsticos)
13. Profesional, R., Profesional, R., & W. (2017, 30 octubre). *La calidad del plástico reciclado, un obstáculo para su uso.* Residuos Profesional.  
<https://www.residuosprofesional.com/calidad-plastico-reciclado-obstaculo-uso/>
14. FERNÁNDEZ BARROSO, J. (2014). *DISEÑO DE UN MOLDE DE INYECCIÓN DE UNA PIEZA PLÁSTICA.*  
<https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/13373/2%20MEMORIA.pdf?sequence=19&isAllowed=y>
15. GRUPO TECNOLOGÍA MECÁNICA. (2017). *Ajustes y Tolerancias.*  
<http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/11.pdf>
16. SPG. (2019, julio 30). *Legislación para los envases de plástico alimentario.*  
<https://www.spg-pack.com/blog/plastico-alimentario/>
17. BRONyMEC. (2015, junio 16). *Engineering Plastics & Composite materials.*  
<http://bronymec.com/>
18. Sandvik Coromant. (s. f.). <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/pages/groove-or-slot-milling.aspx>
19. Mariano, & Perfil, V. T. mi. (s. f.). (2011). *Mecanizado de plásticos.*  
<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/mecanizado-de-plasticos.html>
20. 3.5.- *Contracciones del material polimérico en el proceso de moldeo.* | DMPP01.- *Selección de procesos y moldes para transformación de polímeros.* (s. f.). Ikastaroak.  
<https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DFM/DMPP/DMPP01/es DFM DMPP01 Contenidos/website 35 contracciones del material polimrico en el proceso de moldeo.html>



21. Centro de ayuda de Creo Parametric. (s. f.). PTC.  
[http://support.ptc.com/help/creo/creo\\_pma/spanish/index.html#page/mold\\_and\\_casting/mold/About\\_Sliders.html](http://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/spanish/index.html#page/mold_and_casting/mold/About_Sliders.html)
22. Ortega, E. (2019, 23 octubre). *Problemas en la inyección de plástico: Material atascado en el molde*. PRIVARSA. <https://www.privarsa.com.mx/problemas-en-la-inyeccion-de-plastico-material-atascado-en-el-molde/>
23. Catálogo 1120., C. (s. f.). *MORDAZAS DE ALTA PRESIÓN*. FRESMAK.  
<https://www.fresmak.com/wp-content/uploads/Fresmak-ARNOLD-Mordazas-de-Alta-Presi%C3%B3n.pdf>
24. *Líneas de soldadura y líneas de flujo, solución de problemas*. (s. f.). Autodesk.  
<https://knowledge.autodesk.com/es/support/moldflow-adviser/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ESP/MoldflowAdvisor/files/GUID-099634AE-DB7A-41BA-B70C-5A23FB013B06-htm.html>

**DOCUMENTO 2:**  
**PLIEGO DE CONDICIONES**

## **1. OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES**

El alcance del presente proyecto se extiende a la ejecución de todas las condiciones técnicas que integran el mismo, y de las que, sin estar indicadas, considere conveniente el ingeniero proyectista.

El objeto del presente pliego de condiciones es definir las especificaciones en que se desarrolla el proyecto de diseño, simulación y fabricación asistida por computador de un molde para inyección de piezas de plástico, y que regulan la ejecución de este proyecto con la garantía necesaria.

## 2. DOCUMENTOS QUE DEFINEN EL PROYECTO

En este proyecto se recogen diferentes documentos necesarios para el correcto desarrollo del diseño y fabricación de los productos. Estos documentos son:

- Memoria técnica
- Planos
- Pliego de Condiciones
- Ejemplo de mapa de procesos de un producto
- Ficha técnica de materiales seleccionados
- Hojas de ruta
- Herramientas de mecanizado seleccionadas

En el pliego de condiciones se especificará más detalladamente aquellos apartados que no estén definidos completamente en el resto de los documentos del proyecto.

Por el contrario, se profundizará menos en aquellos otros apartados que queden perfectamente definidos, como pueden ser la Memoria Técnica y los Planos. Aun así, las omisiones o descripciones erróneas en estos documentos que sean indispensables para la puesta en marcha del proyecto, no eximen al operario de la obligación de su cumplimiento y han de entenderse como incluidos en el presente Pliego.

## **3. CONDICIONES GENERALES**

### **3.1. Ejecución del proyecto**

Todas las especificaciones e indicaciones técnicas se ejecutarán con estricta sujeción a la documentación presentada tanto en la Memoria Técnica, como en los correspondientes Anexos.

Todos los rediseños, reajustes y análisis del diseño final de las piezas y del diseño del molde se describen en la memoria. En los anexos se encontrarán los planos correspondientes de cada componente, con las características y especificaciones necesarias.

El fabricante deberá atenerse a las medidas y tolerancias dispuestas en los planos o especificaciones, y será el único responsable de la ejecución de los trabajos que se contraten o defectos que en estos puedan existir por su incorrecta realización. Se ha de considerar la mecanización y acabado de las piezas, debiendo en todo caso consultar con el ingeniero proyectista cualquier cambio que se crea oportuno.

Si existe algún tipo de duda durante la ejecución de este proyecto, ésta deberá ser consultada con el proyectista.

### **3.2. Normativas aplicables**

Además de las condiciones especificadas en el presente documento, se tendrán en consideración diferentes normas aplicables a este proyecto, que corresponderán siempre al nivel de calidad exigido por el proyectista.

- Normas UNE
- Normas DIN
- Normas ISO

### **3.3. Materiales y ensayos en la ejecución del proyecto**

Se deberán emplear los materiales seleccionados y señalados en el proyecto. Todos los materiales que se empleen deben ser de buena calidad y deben satisfacer las características y condiciones establecidas en este pliego de condiciones.

En el caso en que fuese necesario, se realizarán los análisis y pruebas que ordene el proyectista, aunque estos no se indiquen en este documento.

### **3.4. Inspecciones**

Una vez finalizada la fabricación de los componentes, los mismos se someterían a un test de uso, donde se verificaría que todos ellos cumplen con lo especificado.

## 4. CONDICIONES TÉCNICAS

En el pliego de condiciones técnicas se detallan las características técnicas exigibles a los componentes y materiales necesarios para la fabricación del molde, así como a los equipos necesarios para la correcta ejecución del proyecto.

### 4.1. Especificaciones informáticas

Para la realización de este proyecto se ha hecho uso de un equipo informático con aplicaciones específicas.

El equipo informático utilizado es un equipo portátil ligero con las siguientes especificaciones técnicas, Tabla 11-1:

*Tabla 4-1. Características técnicas del equipo informático utilizado.*

<b>Modelo:</b>	Aspire E5-551G
<b>Procesador:</b>	AMD A10-7300 Radeon R6, 10 Compute Cores 4C+6G (4 CPUs), ~1.9GHz
<b>Memoria RAM:</b>	8192MB
<b>Sistema operativo:</b>	Windows 10 Home 64 bits
<b>Tarjeta gráfica:</b>	AMD Radeon™ R7 M265

Además, se ha hecho uso de la aplicación **CREO Parametric** para el diseño, simulación y fabricación de todos los componentes, utilizando una licencia académica en vigor, proporcionada por la Universitat Politècnica de València.

### 4.2. Especificaciones técnicas de los componentes

Se regulan las especificaciones que deben cumplir todos los componentes del proyecto, disponiendo en todo momento de los archivos CAD de todos y cada uno de los elementos del molde en el formato específico de la aplicación empleada, así como los archivos CAM en formatos normalizados.

#### 4.2.1. Mecanizado y procesado de los componentes

Las operaciones de mecanizado para la fabricación de las dos mitades del molde deberán asegurar las tolerancias dimensionales y geométricas requeridas, así como las condiciones de corte establecidas previamente, todo ello especificado en las hojas de ruta correspondientes.

Las mitades del molde, adquiridas previamente ya pre-formadas por la empresa *Hasco*, han de ser marcadas alfanuméricamente para que su posición en el montaje sea inequívoca.

Si en algún momento faltase alguna indicación en el documento Planos, las piezas fabricadas deberán ajustarse a las tolerancias dimensionales y geométricas de la ISO DIN 2768 – CLASE mK, y a la especificación de rugosidad superficial Ra 1µm.

#### 4.2.2. Materiales de los componentes

Se emplearán los materiales especificados en la Memoria Técnica y en los Planos, los cuales deben satisfacer las condiciones requeridas y tener una buena calidad. En caso de ausencia o dificultad del suministro de dichos materiales, podrá consultarse con el proyectista su sustitución por otro material.

– *Acero de grado 1.2083 AISI 420*

Este acero será el material del molde, ya que es el que mejor se adecua a las restricciones impuestas mediante la herramienta CES-Edupack, ideal para moldes de inyección de plástico y piezas de máquinas en la industria alimentaria.

Se trata de un acero inoxidable rico en carbono con un contenido de cromo de al menos 12%, resistente a la corrosión, endurecido y fácil de pulir. Tiene una maquinabilidad media/buena y una alta resistencia al desgaste.

Su composición química es: C (0,40) // Mn (0,50) // Si (0,40) // Cr (13,50) // V (0,25)

– *Polipropileno homopolímero clarificado/nucleado*

Para las piezas por inyección, se selecciona un polímero termoplástico PP homopolímero, el cual se obtiene a partir del propileno, resistente a altas temperaturas e inerte químicamente, lo que hace que sea resistente al agrietamiento por estrés (*Stress Cracking*).

La alta rigidez que posee hace que sea posible una reducción de espesores. Al estar clarificado/nucleado, tendrá una mejor rigidez y transparencia. Además, este material permite avanzados diseños de pieza y reducción de costes.

La ficha técnica de estos materiales puede encontrarse en Anexos. Solamente podrán ser sustituidos por otros materiales similares en caso de tener un coste igual o inferior y unas características técnicas idénticas o superiores.

#### 4.2.3. Máquina de inyección de plástico

La totalidad de las condiciones de este proyecto van ajustadas a una máquina inyectora ya establecida: *Babyplast 6/6*, cuya información total se encuentra en la Memoria Técnica.



Se trata de una máquina industrial adaptada para la formación, con experiencia en el campo de la micro-inyección, instalada en la Universitat Politècnica de València.

Esta máquina ha sido diseñada y construida bajo las normativas EN 201, EN 60204-1-1992 y EN 292-2. Tiene una programación muy fácil, ya que está clasificada por menús con iconos, y algunas de sus características técnicas más importantes son:

- <i>Diámetro del pistón (mm)</i>	14
- <i>Presión de inyección (Kg/cm)</i>	1340
- <i>Volumen (cm<sup>3</sup>)</i>	9,2
- <i>Fuerza de cierre</i>	62,6 KN
- <i>Fuerza de apertura</i>	4 KN
- <i>Fuerza de expulsión</i>	7,5 KN
- <i>Presión hidráulica</i>	130 bar
- <i>Capacidad del depósito de aceite</i>	16 litros
- <i>Nivel de ruido</i>	< 70 dB
- <i>Potencia instalada</i>	2,95 KW
- <i>Grueso del molde</i>	70:135 mm
- <i>Memorización de parámetros</i>	100 moldes
- <i>Refrigeración</i>	Circuito abierto de agua
- <i>Peso</i>	125 Kg
- <i>Dimensiones</i>	1100 x 500 x 700 mm

### 4.3. Simulación de inyección de plástico

Para conseguir un buen resultado, se rediseñó el conjunto de las piezas a inyectar:

- Incremento del espesor de las paredes de ambas piezas a 1,5mm
- Equilibrio del recorrido de los conductos de alimentación con un balance suave
- Transición suave y progresiva entre el cambio de sección de los conductos y de las cortinas

Las condiciones para los análisis de simulación de inyección de plástico deben ser:

- Molde precalentado a 50<sup>0</sup>C
- Temperatura de la masa fundida = 230<sup>0</sup>C
- Presión máxima admisible por la máquina inyectora = 131,41MPa
- Fuerza de cierre máxima admisible por la máquina inyectora = 62,6Kn

Así, se conseguirán buenos resultados:

- Llenado completo en 0,34 segundos
- Presión de inyección = 39MPa
- Fuerza de cierre = 39kN

Aparecerán dos defectos que pueden ser minimizados:

- Atrapamiento de aire en una costilla de refuerzo de la base
- Líneas de soldadura en una costilla de refuerzo de la base

En caso de duda o de proposición de alguna modificación, se deberá consultar al proyectista.

## 5. MONTAJE Y MANTENIMIENTO DEL MOLDE

### 5.1. Condiciones generales

Se indicarán las normas y reglamentos de carácter general aplicables a la ejecución de este proyecto, indicando su procedencia y ámbito de aplicación. Todo ello descrito detalladamente en la Memoria Técnica.

En cuanto a la maquinaria relativa al proceso de inyección de plástico, se debe certificar que la máquina que se va a utilizar cumple con todas las normativas preventivas de aplicación (marcado CE). Para ello, se utilizarán las siguientes normas:

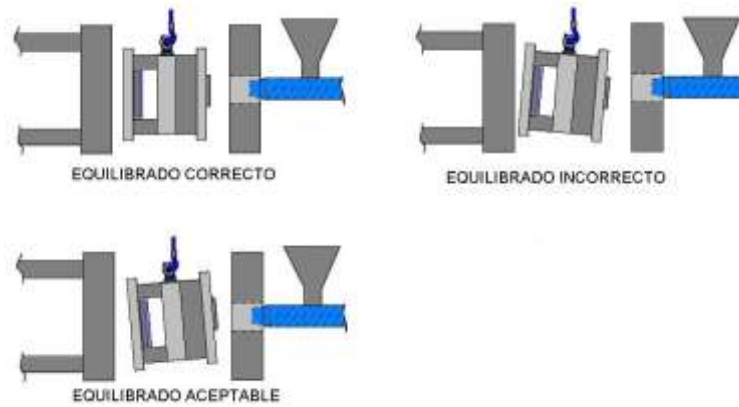
- ✚ UNE-EN 201:2010: Maquinaria de plásticos y caucho. Máquinas de moldeo por inyección. Requisitos de seguridad.
- ✚ UNE-EN ISO 294-1:2017: Plásticos. Moldeo por inyección de probetas de materiales termoplásticos.
- ✚ ISO 14001: Sistema de Gestión del Medio Ambiente.
- ✚ UNE-EN ISO 13485:2018: Productos sanitarios. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos para fines reglamentarios.

Sin embargo, ya que el recipiente va a ser empleado para almacenar diferentes muestras, nos centraremos en materiales plásticos que no contaminen dichas muestras, similares a las referidas por el sector de la alimentación:

- ✚ Reglamento 10/2011 de la Comisión, de 14 de enero de 2011, sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos.
- ✚ Reglamento 2023/2006, de 22 de diciembre de 2006, sobre buenas prácticas de fabricación de materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos.
- ✚ Reglamento 282/2008, de 27 de marzo de 2008, sobre los materiales y objetos de plástico reciclado destinados a entrar en contacto con alimentos y por el que se modifica el Reglamento 2023/2006.

### 5.2. Montaje en máquina

Un factor importante a tener en cuenta en la fabricación del molde es el equilibrado. Con un buen equilibrado, Ilustración 11-1, se evitarán problemas en la fase de montaje en la máquina de inyección.



*Ilustración 5-1. Equilibrado del molde.*

### **5.3. Mantenimiento**

Una vez fabricado, es necesario realizar un correcto mantenimiento de todos los elementos del molde.

Se debe revisar periódicamente que no existan grietas, así como el estado de todos los tornillos y bulones. Además, será imprescindible limpiar todas las aberturas y aquellos conductos que puedan ser obstruidos.

# **DOCUMENTO 3:**

# **PRESUPUESTO**

## 1. INTRODUCCIÓN

Se realizará el presupuesto de forma estimada, teniendo en cuenta el diseño del producto y su plan de fabricación, así como las horas necesarias para la realización de este proyecto académico. Cabe destacar que todo el proyecto ha sido llevado a cabo por la misma persona.

En este documento se describirán brevemente los gastos generales, haciendo hincapié en los gastos particulares y personales.

## 2. PRESUPUESTO

Se busca un presupuesto estimado del diseño del molde, materiales, herramientas informáticas, mecanizado y montaje para hacernos una idea del coste total de la fabricación del molde. Debido a la multitud de procesos, será difícil fijar un precio exacto, por lo que el coste final podrá variar respecto al presupuesto calculado en este documento.

Generalmente, existen errores en el cálculo de horas de mecanizado, ya que éstas son estimadas a partir del software, y estos no tienen en cuenta características del proceso y de la máquina, por ejemplo, comportamiento de los motores, necesidad de aceleración/deceleración en las trayectorias.... Además, se deberían tener en cuenta los imprevistos que puedan aparecer durante todo el proyecto, ya que pueden repercutir de manera notable en los planes de producción y en el coste final.

### 2.1. Materia prima

El coste derivado de la materia prima en este proyecto recae exclusivamente en el material empleado para fabricar los componentes.

En este caso, contamos con un pre-molde de *Hasco* de 75x75x35mm, de acero 1.2083, con un precio ya establecido de **138,24 euros** para el pre-molde del core, y de **46,35 euros** para el pre-molde del cavity.

Por otro lado, el polipropileno homopolímero que se inyectará tiene un precio aproximado de 2 €/kg, es decir, 2000 €/m<sup>3</sup>. Generalmente, se suele comprar un saco de 25 kg, por lo que estimamos un precio para el PP de **50 euros**.

## 2.2. Softwares

Existe, además, un gasto en herramientas informáticas/software, ya que se han utilizado diferentes aplicaciones del software CREO Parametric. Esta herramienta tiene un coste aproximado de 1700€/año para la Universitat Politècnica de València, con unas 80 licencias. Así, podemos estimar un coste de licencia que correspondería a este proyecto de **22 euros**, sin tener en cuenta posibles amortizaciones ni el IVA.

Por otro lado, la licencia de la herramienta CES-Edupack tendrá un coste de 16000€/año, con aproximadamente 80 licencias. Estimamos un coste de **207,50 euros** por licencia.

## 2.3. Diseño del molde

Esta fase engloba el diseño en los diferentes módulos de CREO Parametric, CAD/CAM. Se estima un total de horas dedicadas de 300 horas, facturadas a 25€ para un titulado como ingeniero mecánico encargado de llevar a cabo el diseño del producto.

Esto hace un coste de **7500 euros**.

## 2.4. Mecanizado

Como ya se citó anteriormente al inicio del punto 2, es complicado calcular las horas de mecanizado exactas, por lo que se suelen hacer estimaciones. Generalmente, la experiencia suele ser un factor guía importante, aunque cada proceso tiene un coste diferente.

Estimaremos un precio de 50€/h para todo el proceso de fresado. Según los tiempos de mecanizado que nos ofrece el software CREO Parametric, el mecanizado total de nuestro molde tendrá una duración de 146 minutos, es decir, tendrá un coste de **121,67 euros**.

## 2.5. Montaje y ajuste del molde

En esta fase nos preocuparemos de que el molde encaje y cierre correctamente, sin juegos, paso a paso, asegurando un buen funcionamiento del conjunto y una inyección de calidad a la hora de la fabricación de la pieza.

Una vez esté ensamblado correctamente con todos sus componentes (boquilla de inyección, bulones centradores entre las mitades del molde, expulsores, recorridos de apertura y cierre, etc.), el molde estará preparado para su utilización.

Se calcula aproximadamente un tiempo de montaje y ajuste de 4 horas, a 35€/h, teniendo así un coste total de **140 euros**.

## 2.6. Inversión total

El presupuesto total, con los costes de las diferentes fases del proceso, añadiendo un importe de IVA del 21%, será:

	Importe (€)	Importe + IVA 21%
<i>Materia prima</i>	188,24	227,77
<i>Softwares</i>	229,50	277,70
<i>Diseño del molde</i>	7500	9075
<i>Mecanizado</i>	121,67	147,22
<i>Montaje y ajuste del molde</i>	140	169,40
<b>TOTAL</b>	<b>8179,41</b>	<b>9897,09</b>

## 2.7. Coste de inyección

Para el cálculo del coste de inyección se hará una estimación del número de piezas a fabricar al año.

- Piezas al año: 10000 unidades
  - Piezas por ciclo: 1 unidad
  - Tiempo de ciclo estimado: 15 segundos
  - Volumen aproximado de la pieza: 3 cm<sup>3</sup>
  - Densidad del PP: 900 kg/m<sup>3</sup>
  - Precio del PP: 2€/kg
  - Precio hora inyectada: 30 euros
- Material necesario para fabricar las 10000 piezas:

$$\text{Peso PP} = 3 \text{ cm}^3 \cdot 0,9 \text{ g/cm}^3 = 2,70 \text{ gramos}$$

$$M_n = 2,7g \cdot 10000 \text{ piezas} = 27000 \text{ gramos} = 27 \text{ kg}$$

- Inversión necesaria en PP:

$$I_p = 27 \text{ kg} \cdot 2 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 54 \text{ €}$$

- Tiempo necesario para fabricar las 10000 piezas:



$$T = 15 \frac{s}{\text{ciclo}} \cdot 10000 \text{ unidades} = 150000 s = 41,67 \text{ horas}$$

- Piezas por minuto:

$$P_m = 60 \cdot \frac{1}{15} = 4 \text{ uds/min}$$

- Coste de fabricación de las piezas sin el coste del material:

$$C_f = 41,67 h \cdot 30 \frac{\text{€}}{h} = 1250,10 \text{ €}$$

- Inversión total de inyección:

$$I_t = 1250,10 + 54 = \mathbf{1304,10 \text{ €}}$$

Por otro lado, podemos calcular el precio unitario de cada pieza, así como los beneficios que queremos conseguir por cada una de ellas.

- Coste unitario por pieza sin tener en cuenta la parte proporcional del coste del molde:

$$C_u = \frac{1304,10}{10000} = \mathbf{0,13\text{€/pieza}}$$

- Coste unitario por pieza para amortizar el molde en 1 año:

$$\text{Presupuesto total con IVA} = 9682,31\text{€}$$

$$C = \frac{1304,10 + 9897,09}{10000} = \mathbf{1,12 \text{ €/pieza}}$$

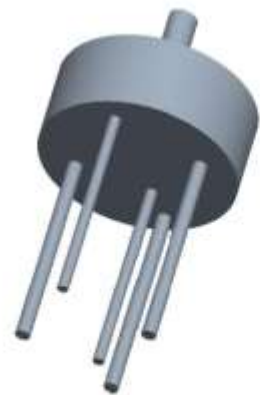
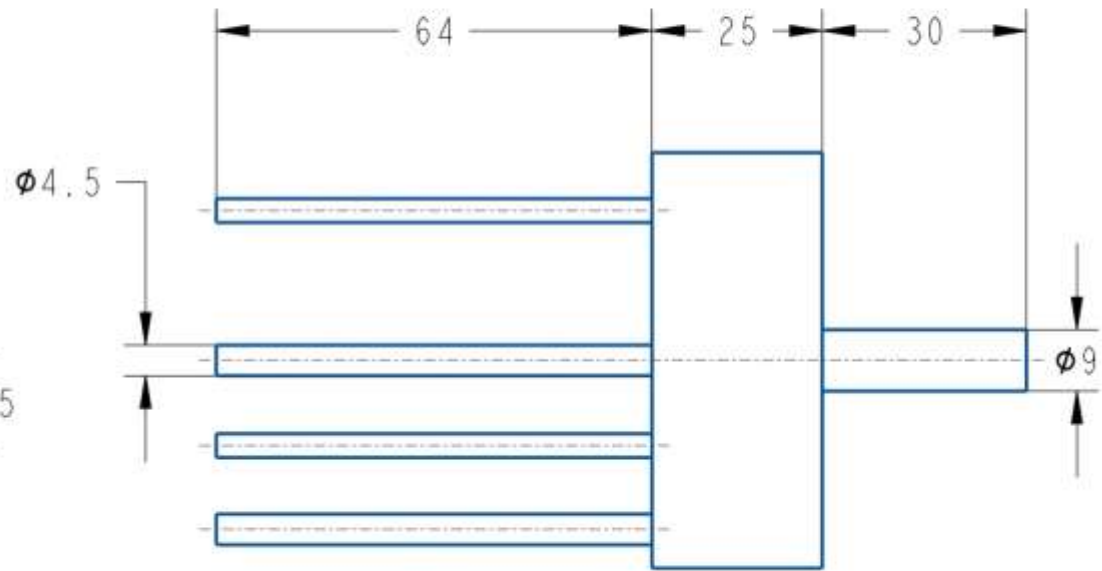
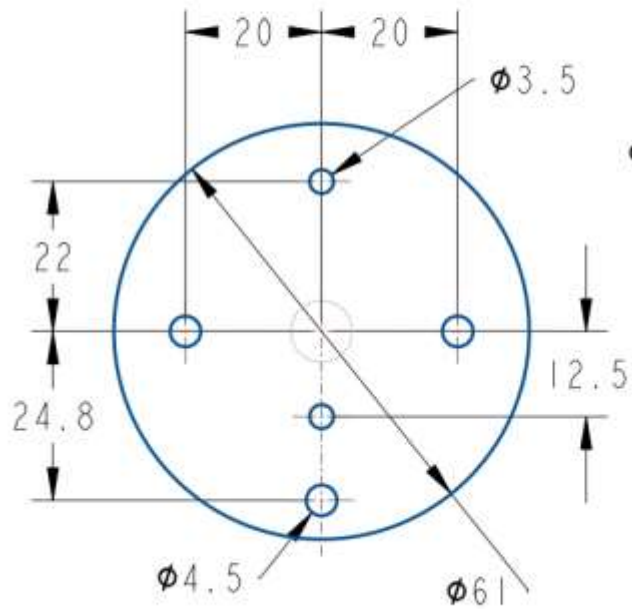
- Coste unitario para amortizar el molde en 1 año + un 20% de beneficio:

$$1,12 \frac{\text{€}}{\text{pieza}} + (1,12 \cdot 0,20) = \mathbf{1,34 \text{ €/pieza}}$$

# **DOCUMENTO 4:**

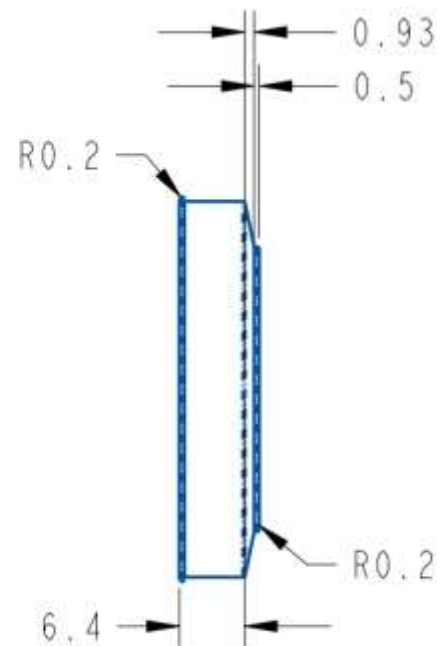
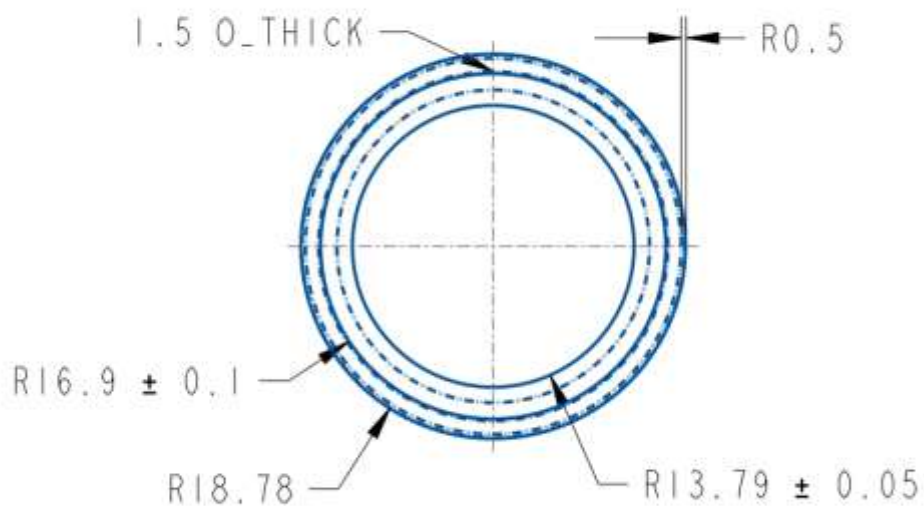
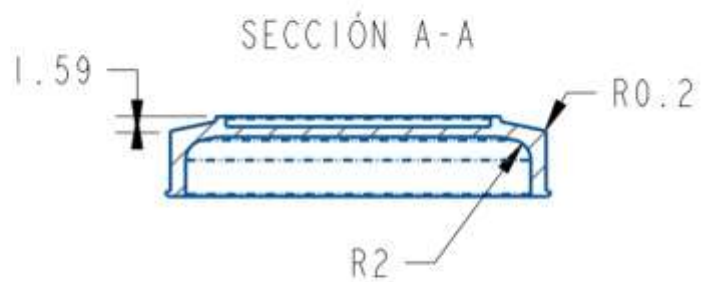
## **PLANOS**





ESCALA 0.500

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	EXPULSOR		
	DISEÑO, SIMULACIÓN Y FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADOR DE UN MOLDE PARA INYECCIÓN DE PIEZAS DE PLÁSTICO		
 A4	ACERO 1.1730	Tolerancia General: ISO 2768-m K	1/5
ESCALA 1.000	31/05/2021	Autor: Belén Prieto García	Verificador: Santiago Gutiérrez Rubert



NS



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

TAPA

DISEÑO, SIMULACIÓN Y FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADOR DE UN  
MOLDE PARA INYECCIÓN DE PIEZAS DE PLÁSTICO

A4

PP Homopolímero

Tolerancia General: ISO 2768-m K

2/5

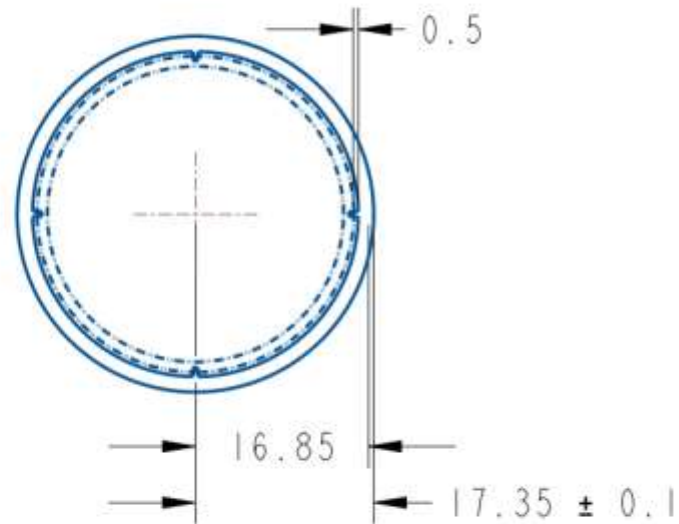
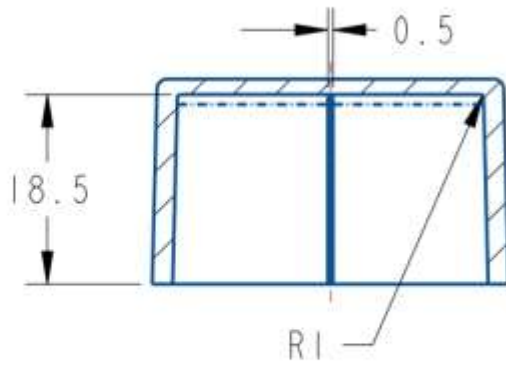
ESCALA 1.500

31/05/2021

Autor: Belén Prieto García

Verificador: Santiago Gutiérrez Rubert

SECCIÓN B-B



NS



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

BASE

DISEÑO, SIMULACIÓN Y FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADOR DE UN  
MOLDE PARA INYECCIÓN DE PIEZAS DE PLÁSTICO

⊕ A4

PP Homopolímero

Tolerancia General: ISO 2768-m K

3/5

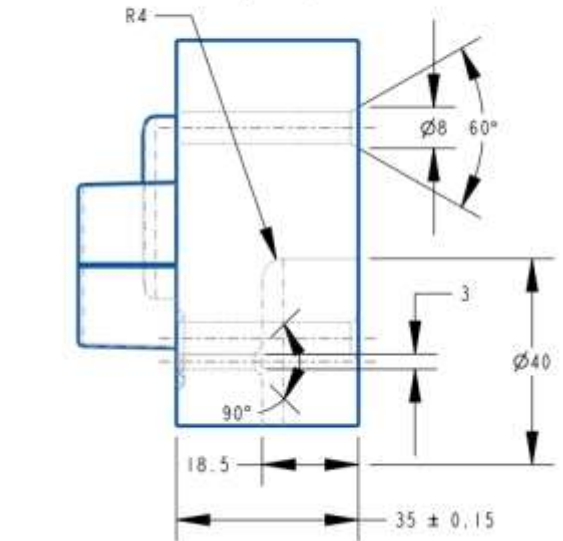
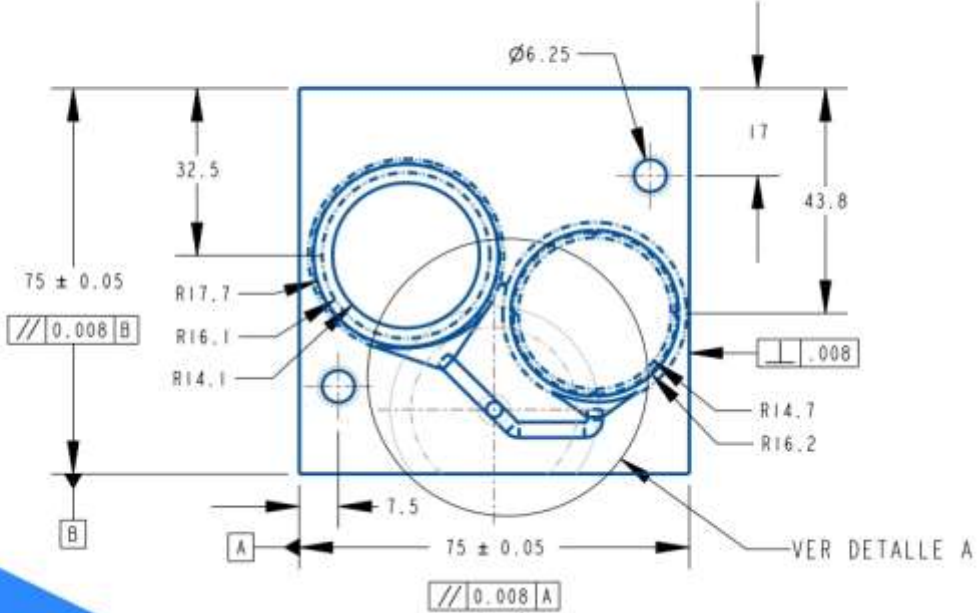
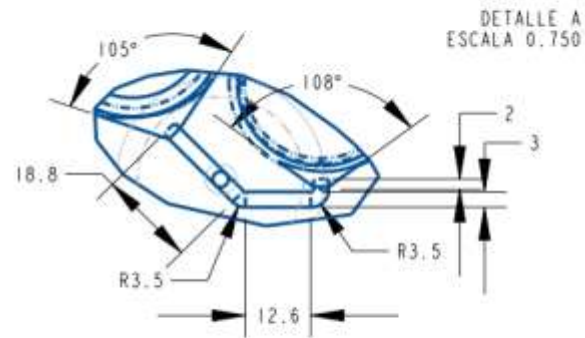
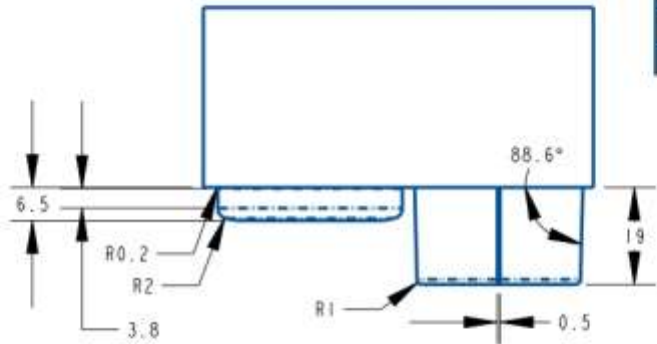
ESCALA 1.500

31/05/2021

Autor: Belén Prieto García

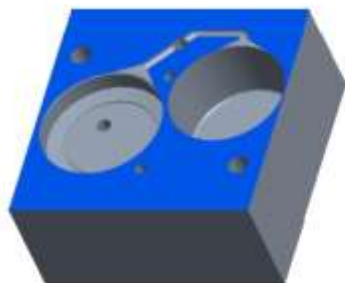
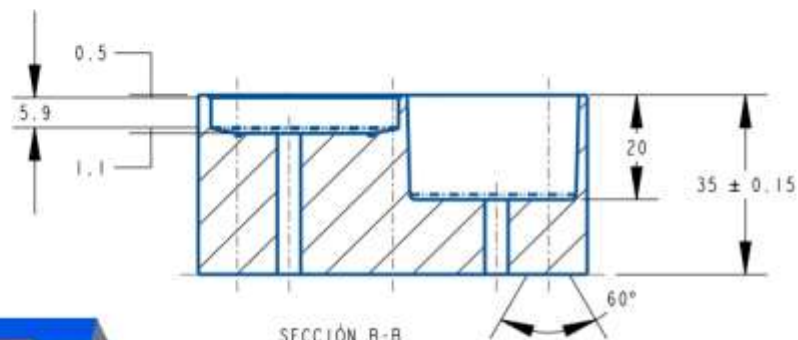
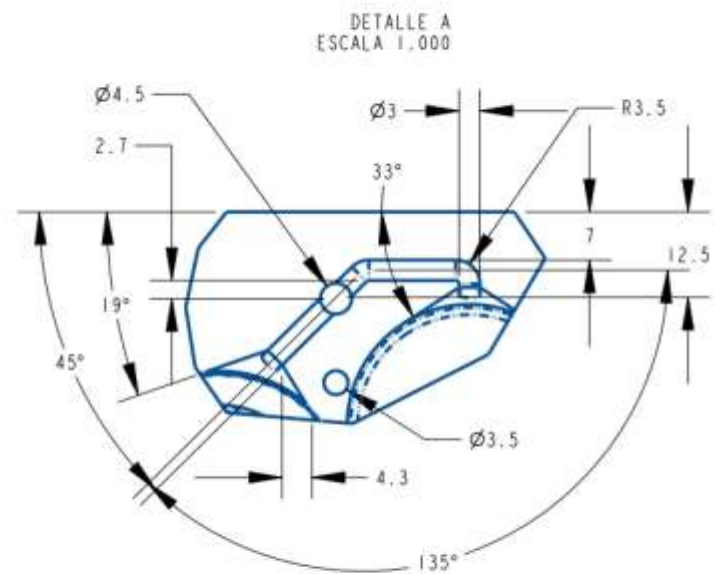
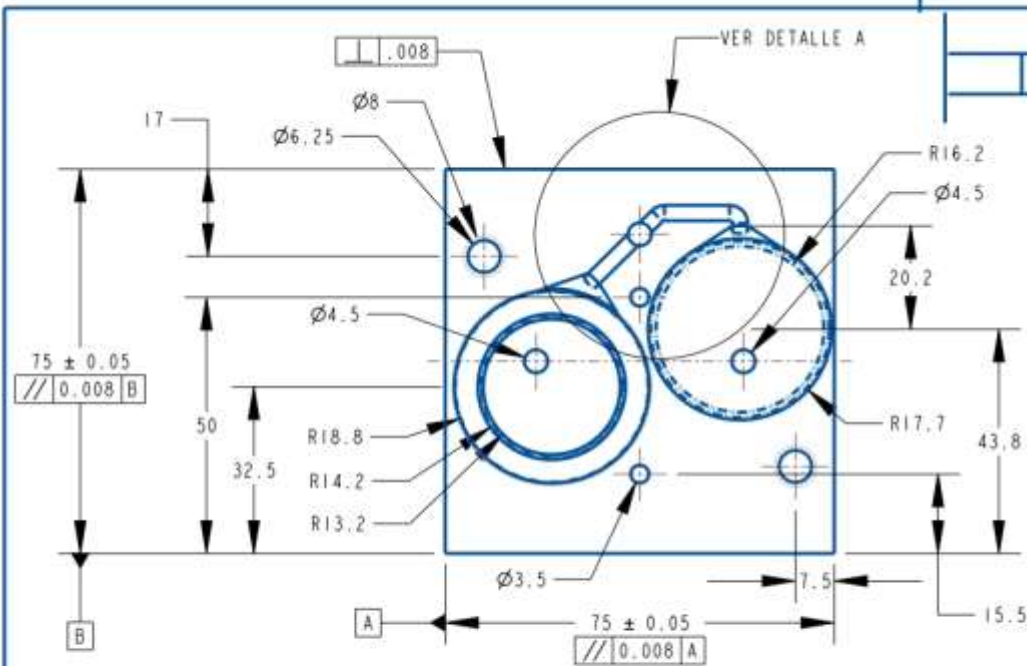
Verificador: Santiago Gutiérrez Rubert

NB/



ESCALA 0.500

 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>	<b>NÚCLEO CORE</b>		
	DISEÑO, SIMULACIÓN Y FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADOR DE UN MOLDE PARA INYECCIÓN DE PIEZAS DE PLÁSTICO		
 A4	AISI 420 1.2083	Tolerancia General: ISO 2768-m K	4/5
<b>ESCALA 1.000</b>	31/05/2021	Autor: Belén Prieto García	Verificador: Santiago Gutiérrez Rubert



ESCALA 0.500

 UNIVERSITAT POLITÀCNICA DE VALÈNCIA	CAVIDAD CAVITY		
	DISEÑO, SIMULACIÓN Y FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADOR DE UN MOLDE PARA INYECCIÓN DE PIEZAS DE PLÁSTICO		
 A4	AISI 420 1.2083	Tolerancia General: ISO 2768-m K	5/5
ESCALA 1.000	31/05/2021	Autor: Belén Prieto García	Verificador: Santiago Gutiérrez Rubert





# **ANEXOS**

## **ANEXO I.**

### **Ejemplo mapa de procesos de un producto**

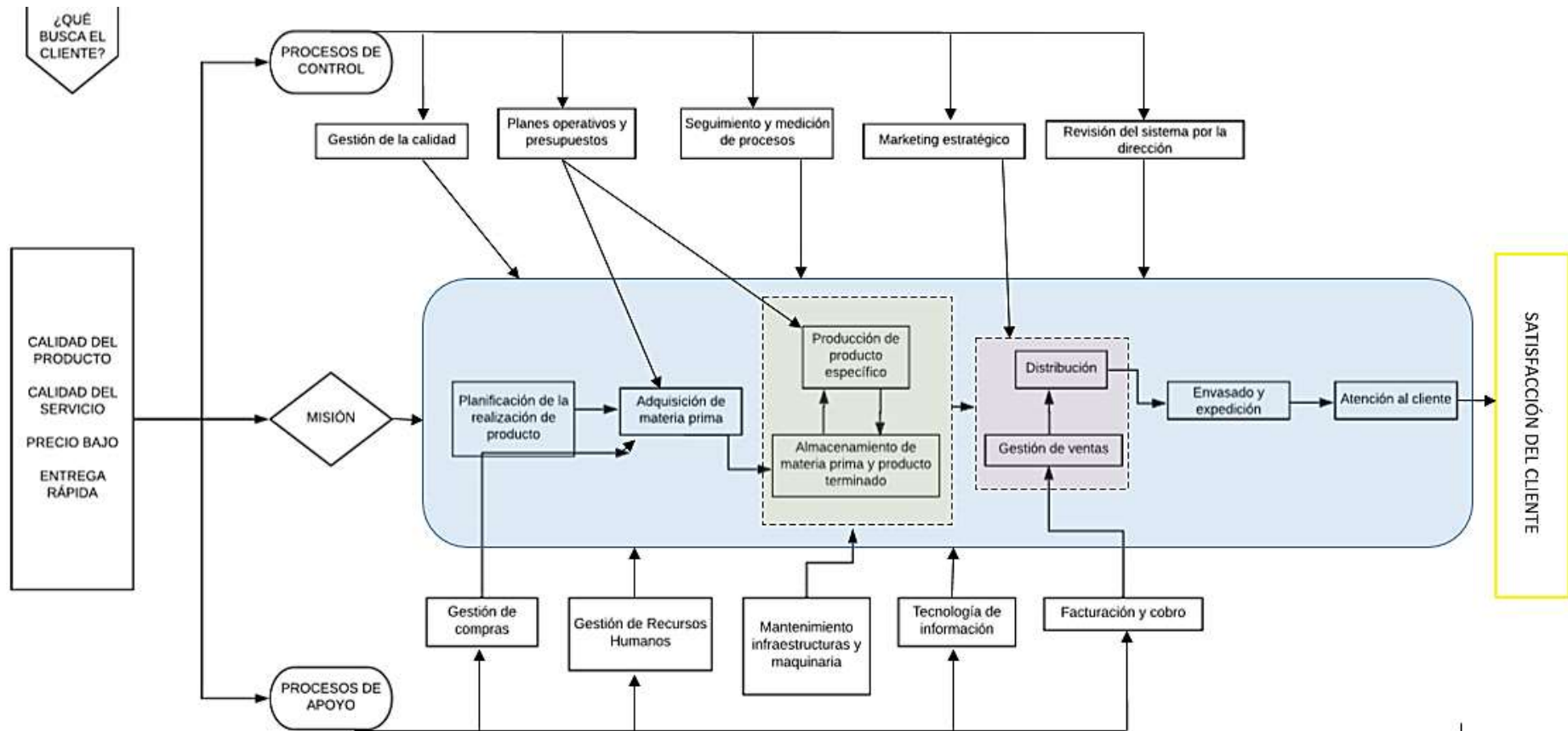


Ilustración I-0-1. Ejemplo Mapa de procesos de un producto

## **ANEXO II.**


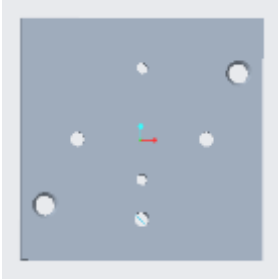
### **Hojas de ruta**

### Fabricación: mecanizado y control

Pieza: NÚCLEO "CORE"		Nº pieza:	Nº plano:	Operario:	Hoj a:													
Fase	Sub F	Oper	Definición	Croquis	Amarre	Hta Plaquita	Porta-Hta	V <sub>c</sub> m/min	N rpm	P mm	Sn mm/rev	V <sub>a</sub> mm/min	t <sub>c</sub> min	T min	Pot Kw	Instrum ento de control		
01 - FRESADO	01	01	DESBASTE SOBRE TAPA		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	APX4000-04A04RA (PLAQUITA AOMT184808PEER-M)		170	1353	4	0,40	541	0,78					
		02	DESBASTE PERFILADO SUPERFICIE ENTERIZA		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	APX4000-04A04RA (PLAQUITA AOMT184808PEER-M)		170	1353	15	0,40	541	15,07					
		03	PERFILADO TAPA		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VQJHVD0350 (FRESA INTEGRAL)		80	8500	1	0,06	490	7,88					
		04	PERFILADO BASE		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VQJHVD0350 (FRESA INTEGRAL)		80	8500	7,5	0,06	490	7,05					
		05	REDONDEO DE LA BASE		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	FRESA DE CUARTO DE CÍRCULO SIN REVESTIMIENTO CON DENTADO RECTO		20	3000	1	0,03	80	8,40					
		06	REDONDEO DE LA TAPA		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	FRESA DE CUARTO DE CÍRCULO SIN REVESTIMIENTO CON DENTADO RECTO		20	3000	1	0,03	80	12,37					
		07	DESBASTE DE RESTOS 1		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VQJHVD0350 (FRESA INTEGRAL)		80	8500	0,5	0,06	490	3,99					
		08	DESBASTE DE RESTOS 2		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VQJHVD0350 (FRESA INTEGRAL)		80	8500	0,5	0,06	490	3,29					
		09	RANURADO COSTILLA 1 BASE		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	MS2XL6D0050N025 (FRESA INTEGRAL)		47	30000	2,5	0,02	500	6,10					

10	RANURADO COSTILLA 2 BASE		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	MS2XL6D0050N025 (FRESA INTEGRAL)	47	30000	2,5	0,02	500	0,13					
11	RANURADO COSTILLA 3 BASE		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	MS2XL6D0040N020 (FRESA INTEGRAL)	38	30000	2	0,02	500	12,61					
12	RANURADO COSTILLA 4 BASE		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	MS2XL6D0040N020 (FRESA INTEGRAL)	38	30000	2	0,02	500	12,61					
13	DESBASTE CORTINA DE LA TAPA		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VC2PSBPR0050 (FRESA INTEGRAL)	126	35000	0,5	0,10	3000	2,18					
14	ACABADO CORTINA DE LA TAPA		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VC2PSBPR0025 (FRESA INTEGRAL)	55	40000	0,5	0,04	1500						
15	DESBASTE CORTINA DE LA BASE		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VC2PSBPR0050 (FRESA INTEGRAL)	126	35000	0,5	0,10	3000						
16	ACABADO CORTINA DE LA BASE		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VC2PSBPR0025 (FRESA INTEGRAL)	55	40000	0,5	0,04	1500						
17	RANURADO CONDUCTOS 3mm		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VC2PSBPR0150 (FRESA INTEGRAL)	226	24000	1,5	0,11	2600	0,79					
18	TALADRO CENTRADORES Ø6			VAPDMSUSD0600	22	1100	35	0,15	165	13,75					
19	ESCARIADO CENTRADORES Ø6,25			VAPDMSUSD0625	16	800	35	0,10	80						
Nota 1:								Tiempos:				Costes:			
Nota 2:															
Nota 3:															

## Fabricación: mecanizado y control

Pieza: CAVIDAD "CAVITY"		Nº pieza:	Nº plano:	Operario:											Hoja: /				
Fase	Subfase	Oper	Definición	Croquis	Amarre	Hta Plaquita	Porta-Hta	V <sub>c</sub> m/min	N rpm	P mm	Sn mm/rev	V <sub>a</sub> mm/min	t <sub>c</sub> min	T min	Pot Kw	Instrumento de control			
01 - FRESADO	01	01	CAJEADO DE LA TAPA		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VQMHVBRD2000R400 (FRESA INTEGRAL TÓRICA)		80	1300	0,5	0,30	410	10,43						
		02	RANURA INTERIOR DE LA TAPA		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	MS2LSD0050 (FRESA INTEGRAL MSTAR)		38	24000	0,5	0,02	380	1,50						
		03	RANURA ANILLO DE LA TAPA		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	GYAR20K90A-D06 (ID: 6E2R9D1) PLAQUITA GY1G0200D020N-GFGS		50	800	0,5	0,05	40	16,13						
		04	CAJEADO DE LA BASE		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VQMHVBRD2000R400 (FRESA INTEGRAL TÓRICA)		80	1300	18	0,30	410	3,47						
		05	DESBASTE CORTINA DE LA TAPA		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VC2PSBPR0050 (FRESA INTEGRAL)		126	35000	0,5	0,10	3000							
		06	ACABADO CORTINA DE LA TAPA		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VC2PSBPR0025 (FRESA INTEGRAL)		55	40000	0,5	0,04	1500							
		07	DESBASTE CORTINA DE LA BASE		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VC2PSBPR0050 (FRESA INTEGRAL)		126	35000	0,5	0,10	3000							
		08	ACABADO CORTINA DE LA BASE		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VC2PSBPR0025 (FRESA INTEGRAL)		55	40000	0,5	0,04	1500							
		09	RANURADO 3mm		ARNOLD CLASSIC MECÁNICA 010 200 090 BOCA: 900 360 090	VC2PSBPR0150 (FRESA INTEGRAL)		226	24000	1,5	0,11	2600	0,48						

	10	TALADRADO EXPULSORES Ø3,5		MPS0350-L35C		50	4547	35	0,10	454,7	0,23			
	11	TALADRADO EXPULSORES Ø4,5		MPS0450-L35C		50	3537	35	0,10	353,7	0,35			
	12	TALADRADO CENTRADORES Ø6,25		VAPDMSUSD0625		22	1100	35	0,15	165	0,19			
	13	AVELLANADO DE CENTRADORES		VAPDSCBD0800		20	800	35	0,20	160	6,02			
Nota 1:									Tiempos:			Costes:		
Nota 2:														
Nota 3:														



## **ANEXO III.**

### **Herramientas de mecanizado**

### III.1. Cajeados del cavity

Fresa integral tipo tórica: VQMHVRBD2000R400

**FRESAS INTEGRALES VQ**  
**VQMHVRB**  
 Fresa tórica, longitud de corte media, 4 hélices, ángulo de hélice variable

Material	Acero inoxidable (AISI 304)	Acero inoxidable (AISI 316)	Acero endurecido (S208PFC)	Acero endurecido (S209PFC)	Acero inoxidable Austenítico	Acero Inconel	Aluminio de Corte	Aluminio de Acabado
<b>R</b>	0.7-0.8-0.9	0.8-0.9-1.0	0.8-0.9-1.0	0.8-0.9-1.0	0.8-0.9-1.0	0.8-0.9-1.0	0.8-0.9-1.0	0.8-0.9-1.0
<b>he</b>	0.008	0.009	0.011	0.013	0.008	0.009	0.011	0.013

Las fresas con control de vibración VQ reducen la vibración y ofrecen un rendimiento estable en materiales difíciles de cortar y aplicaciones con voladizos de gran tamaño.

Referencia	D1	R	ap	L1	D4	Hélices	Stock	Tipo
VQMHVRBD1600R300	16	3	35	90	16	4	●	2
D1600R400	16	4	35	90	16	4	●	2
D1600R500	16	5	35	90	16	4	●	2
<b>D2000R100</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>45</b>	<b>110</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>●</b>	<b>2</b>
D2000R150	20	1.5	45	110	20	4	●	2
D2000R200	20	2	45	110	20	4	●	2
D2000R250	20	2.5	45	110	20	4	●	2
D2000R300	20	3	45	110	20	4	●	2
D2000R400	20	4	45	110	20	4	●	2
D2000R500	20	5	45	110	20	4	●	2
D2000R635	20	6.35	45	110	20	4	●	2

Ilustración III-0-1. Selección de fresa integral tórica para cajas.

Condiciones de corte:

**Condiciones de corte para uso general**

Materia de trabajo	Acero al carbono, acero aleado, acero dulce				Acero pre-endurecido, acero de aleación, acero para herramientas de aleación				Aceros austeníticos, ferríticos e inoxidables martensíticos, aleaciones de titanio				Aceros inoxidables endurecidos, aleación cromo-níquel							
	Ck45, 41CrMo4, S944-2, Ck10				NAK, X36CrMo17, 40CrNiMoA, X210Cr12, SKT				X5CrNi19, X3CrNiMo173, Ti6Al4V				X5CrNiCuNb16-4, X7CrNiAl17-7							
Diam. (mm)	Vel. de corte (m/min)	Revolución (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/rev)	Prof. de corte ap (mm)	Prof. de corte ae (mm)	Vel. de corte (m/min)	Revolución (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/rev)	Prof. de corte ap (mm)	Prof. de corte ae (mm)	Vel. de corte (m/min)	Revolución (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/rev)	Prof. de corte ap (mm)	Prof. de corte ae (mm)	Vel. de corte (m/min)	Revolución (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/rev)	Prof. de corte ap (mm)	Prof. de corte ae (mm)
<b>2</b>	120	19000	1300	3	0.6	100	16000	630	3	0.6	80	13000	450	1.5	0.2	70	11000	440	3	0.4
<b>3</b>	120	13000	1400	4.5	0.9	100	11000	700	4.5	0.9	80	8500	450	2.25	0.3	70	7400	470	4.5	0.6
<b>4</b>	120	9500	1400	6	1.2	100	8000	700	6	1.2	80	6400	470	3	0.6	70	5600	490	6	0.8
<b>5</b>	120	7800	1300	7.5	1.5	100	6400	710	7.5	1.5	80	5100	470	4.5	0.9	70	4500	500	7.5	1
<b>6</b>	120	6400	1400	9	1.8	100	5300	700	9	1.8	80	4200	580	6	1.2	70	3700	490	9	1.2
<b>8</b>	120	4800	1300	12	2.4	100	4000	740	12	2.4	80	3200	630	7.5	1.5	70	2800	520	12	1.6
<b>10</b>	120	3800	1200	15	3	100	3200	880	15	3	80	2500	660	9	1.8	70	2200	460	15	2
<b>12</b>	120	3200	1000	18	3.6	100	2700	640	18	3.6	80	2100	610	12	2.4	70	1900	450	18	2.4
<b>16</b>	120	2400	880	24	4.8	100	2000	530	24	4.8	80	1600	510	15	3	70	1400	370	24	3.2
<b>20</b>	120	1900	680	30	6	100	1600	420	30	6	<b>80</b>	<b>1300</b>	<b>410</b>	<b>18</b>	<b>3.6</b>	70	1100	290	30	4
<b>25</b>	120	1500	390	37.5	7.5	100	1300	340	37.5	7.5	80	1000	210	24	4.8	70	890	230	37.5	5

Ilustración III-0-2. Condiciones de corte de la fresa integral tórica para cajas.

### III.2. Desbastes y perfilados del core

#### iii.2.1. Fresa multifuncional tipo frontal: APX4000-04A04RA

**TIPO FRONTAL**


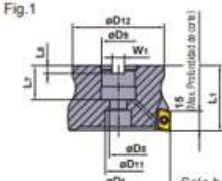
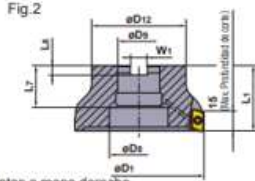




Fig.1  Fig.2 

Solo herramientas a mano derecha.

Diámetro de la broca	Tornillo fijación	Geometría
φ40	HSC08030H	
φ50, φ63	10030H	
φ80	12035H	
φ100	16040H	
φ125	MBA20040H	
φ160	24045H	

C.H. 0°  
A.R. +15° - +22° T. +21° - +28°  
R.R. +21° - +28° I. +15° - +22°

Referencia	Stock	Número de dientes	Dimensiones (mm)										Masa	Max. ángulo rampa	Máxima velocidad del uso	Tipo (Fig.)	Geometría					
			D1	L1	D9	L7	D8	D12	W1	L8	D11	(kg)					α°	(min <sup>-1</sup> )	Tornillo	Liave	Lubricante	Placa
APX4000-04A04RA	●	4	40	40	16	18	9	34	8.4	5.6	14	0.2	6	14200	1	TPS43	TIP15W	MK1KS				
-050A05RA	●	5	50	40	22	20	11	45	10.4	6.3	17	0.3	4	12400	1	TPS43	TIP15W	MK1KS				
-063A06RA	●	6	63	40	22	20	11	50	10.4	6.3	17	0.5	3	10800	1	TPS43	TIP15W	MK1KS				
-080A07RA	●	7	80	50	27	23	13	60	12.4	7	20	1.2	2	9300	1	TPS43	TIP15W	MK1KS				
-100A08RA	●	8	100	50	32	25	17	70	14.4	8	27	2.1	1.5	8100	1	TPS43	TIP15W	MK1KS				
-125A09RA	●	9	125	63	40	40	56	90	16.4	9	-	3.3	1	7100	2	TPS43	TIP15W	MK1KS				
-160A10RA	●	10	160	63	40	40	72	100	16.4	9	-	4.8	1	6100	2	TPS43	TIP15W	MK1KS				

Ilustración III-0-3. Fresado desbaste perfilado APXD4000.

Plaquita: AOMT184808PEER-M con un recubrimiento VP15TF

**PLACAS PARA HERRAMIENTAS ROTATORIAS**

# PLACAS ROTATORIAS

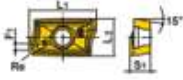
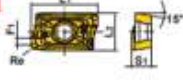
Material	P Acero M Acero inoxidable K Fundición N Metales no férricos S Aleaciones titanio-aluminio, Resinas a fibra H Materiales endurecidos	Recubrimiento								Geometría						
		MC5020	MP6120	MP6130	MP7130	MP9120	VP15TF	VP20K1	TF15	L1	L2					
APX4000 K036	AOMT184804PEER-H	M	E	●	●	●	●	●	●	●	18	9	4.8	1.8	0.4	
	184808PEER-H	M	E	●	●	●	●	●	●	●	18	9	4.8	1.4	0.8	
	184816PEER-H	M	E	●	●	●	●	●	●	●	18	9	4.8	0.4	1.6	
	184832PEER-H	M	E	●	●	●	●	●	●	●	18	9	4.8	0.4	3.2	
	184840PEER-H	M	E	●	●	●	●	●	●	●	18	9	4.8	0.4	4.0	
	184850PEER-H	M	E	●	●	●	●	●	●	●	18	9	4.8	-	5.0	
	184864PEER-H	M	E	●	●	●	●	●	●	●	18	9	4.8	-	6.35	
APX4000 K036	AOMT184804PEER-M	M	E	●	●	●	●	●	●	●	18	9	4.8	1.8	0.4	
	184808PEER-M	M	E	●	●	●	●	●	●	●	18	9	4.8	1.4	0.8	
	184812PEER-M	M	E	●	●	●	●	●	●	●	18	9	4.8	0.8	1.2	
	184816PEER-M	M	E	●	●	●	●	●	●	●	18	9	4.8	0.4	1.6	
	184820PEER-M	M	E	●	●	●	●	●	●	●	18	9	4.8	0.4	2.0	
	184824PEER-M	M	E	●	●	●	●	●	●	●	18	9	4.8	0.4	2.0	

Ilustración III-0-4. Plaquita para fresa de desbaste perfilado.

Condiciones de corte:

**VELOCIDAD DE CORTE**

Material	Dureza	Placas		Ancho de corte ae (mm)					
		Calidades		Ropqesita	≤0.25D1	0.25–0.5D1	0.5–0.75D1	D1 (Ranura)	
		1st recomendación	2nd recomendación						
Velocidad de corte vc (m/min)									
P	Acero Dulce	<180HB	MP6120	VP15TF	M H	230(180–270)	220(170–260)	180(140–210)	180(140–210)
			MP6130	VP20RT	M H	200(150–240)	190(140–230)	150(110–180)	150(110–180)
K	Acero al carbono Acero aleado	180–350HB	MP6120	VP15TF	M H	180(140–210)	170(130–200)	140(110–160)	140(110–160)
			MP6130	VP20RT	M H	150(110–180)	140(100–170)	110(80–130)	110(80–130)
M	Acero inoxidable	<270HB	MP7130	VP15TF	M H	180(140–210)	170(130–200)	140(110–160)	140(110–160)
K	Fundición gris	<350MPa	MC5020		H	250(200–300)	240(190–290)	210(160–260)	140(110–160)
	Fundición dúctil	<800MPa	MC5020		H	130(100–150)	120(90–140)	100(80–120)	100(80–120)
S	Aleación de titanio	<350HB	MP9120	VP15TF	H M	50(40–70)			50(40–70)
			MP9130	VP20RT	H M	40(30–60)			40(30–60)
			MP9120	VP15TF	H M	40(30–60)			40(30–60)
K	Aleación termo-resistente	–	MP9130	VP20RT	H M	30(20–40)			30(20–40)
			VP15TF	H	90(70–100)	85(60–100)	70(50–80)	70(50–80)	

Material	Dureza	Ancho de corte ae (mm)	Profundidad de corte ap (mm)	Avance por diente fz (mm/diente)			
				Diámetro de la fresa (mm)			
				ø25–ø40	ø50–ø80	ø100–ø160	
P	Acero Dulce Acero al carbono Acero aleado	≤180HB 180–350HB	≤0.5D1	<5	0.30	0.30	0.25
				5 - 7.5	0.25	0.25	0.20
				7.5 - 10	0.20	0.20	0.15
				10 - 12.5	0.15	0.15	0.10
				12.5 - 15	0.10	0.10	0.07
				0.5–0.75D1	<5	0.20	0.20
			5 - 10	0.15	0.15	0.10	
			10 - 15	0.10	0.10	0.07	
			D1 (Ranura)	<5	0.15	0.15	0.15
			5 - 7.5	0.10	0.10	0.10	
			7.5 - 10	0.07	0.07	0.07	
			M	Acero inoxidable	≤270HB	≤0.5D1	<5
5 - 7.5	0.25	0.20					0.20
7.5 - 10	0.20	0.15					0.15
10 - 12.5	0.15	0.10					0.10
12.5 - 15	0.10	0.07					0.07
0.5–0.75D1	<5	0.20					0.15
5 - 10	0.15	0.10				0.10	
10 - 15	0.10	0.07				0.07	
D1 (Ranura)	<5	0.15				0.15	0.15
5 - 7.5	0.10	0.10				0.10	
7.5 - 10	0.07	0.07				0.07	

Ilustración III-0-5. Condiciones de corte para plaqueta de fresa de desbaste perfilado.

iii.2.2. Fresa integral: VQJHVD0350

**VQJHV NEW**  
Fresa, longitud de corte semi-larga, 4 hélices, ángulo de hélice variable

UWC VA 30° 37.5° D=6

Acero, Acero al carbono, Fundición, Cobalto	Acero endurecido (HRC) 45-55	Acero Endurecido (HRC) 55-60	Acero endurecido (HRC) 60-65	Acero inoxidable Austenítico	Acero Inoxidable Martensítico	Aleación de Cobre	Aleación de Aluminio
---	------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------	----------------------

D1 ≤ 12	D1 > 12		
0 - 0.020	0 - 0.030		
D4 = 6	8 ≤ D4 ≤ 10	12 ≤ D4 ≤ 16	D4 = 20
0 - 0.028	0 - 0.038	0 - 0.011	0 - 0.013

Las fresas con control de vibración VQ reducen la vibración y ofrecen un rendimiento estable en materiales difíciles de cortar y aplicaciones con voladizos de gran tamaño.

Unidad : mm

Referencia	D1	ap	L1	D4	Hélices	Stock	Tipo
VQJHVb200	2	8	60	6	4	●	1
D0250	2.5	10	60	6	4	●	1
D0300	3	12	60	6	4	●	1
<b>D0350</b>	<b>3.5</b>	<b>14</b>	<b>60</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>●</b>	<b>1</b>
D0400	4	16	60	6	4	●	1
D0450	4.5	18	60	6	4	●	1

Ilustración III-0-6. Selección fresa integral para perfilado de las protusiones del core

Condiciones de corte:

**CONDICIONES DE CORTE RECOMENDADAS**

**Fresado escuadrado**

Material de trabajo	Acero al carbono, acero aleado, Acero dulce				Acero pre-endurecido, Acero al carbono, acero aleado, acero para herramientas de aleación				Aceros austeníticos, ferríticos e inoxidables martensíticos, Aleaciones de titanio				Aceros inoxidables endurecidos, Aleación cromo-cobalto							
	Ck45, 41CrMo4, St44-2, Ck10				NAK, X36CrMo17, 40CrNiMoA, X210Cr12, SKT				X5CrNi189, X8CrNiMo173, Ti6Al4V				X5CrNiCuNb16-4, X7CrNiAl17-7							
Díam. (mm)	Vel. de corte (m/min)	Revolución (min. <sup>-1</sup> )	Avance (mm/min.)	Prof. de corte (mm)	Prof. de aporte ae (mm)	Vel. de corte (m/min)	Revolución (min. <sup>-1</sup> )	Avance (mm/min.)	Prof. de corte (mm)	Prof. de aporte ae (mm)	Vel. de corte (m/min)	Revolución (min. <sup>-1</sup> )	Avance (mm/min.)	Prof. de corte (mm)	Prof. de aporte ae (mm)	Vel. de corte (m/min)	Revolución (min. <sup>-1</sup> )	Avance (mm/min.)	Prof. de corte (mm)	Prof. de aporte ae (mm)
2	130	21000	700	5	0.2	130	16000	510	5	0.2	80	13000	390	5	0.1	75	12000	360	5	0.1
3	130	14000	960	7.5	0.3	130	11000	680	7.5	0.3	80	8500	490	7.5	0.15	75	8000	460	7.5	0.15
4	130	10000	1000	10	0.4	130	8000	690	10	0.4	80	6400	540	10	0.2	75	6000	510	10	0.2
5	130	8300	1100	12.5	0.5	130	6400	730	12.5	0.5	80	5100	570	12.5	0.25	75	4800	540	12.5	0.25
6	130	6900	1200	15	0.6	130	5300	810	15	0.6	80	4200	630	15	0.3	75	4000	600	15	0.3
8	130	5200	1200	20	0.8	130	4000	840	20	0.8	80	3200	640	20	0.4	75	3000	600	20	0.4
10	130	4100	1100	25	1	130	3200	810	25	1	80	2500	590	25	0.5	75	2400	570	25	0.5
12	130	3400	1100	30	1.2	130	2700	780	30	1.2	80	2100	550	30	0.6	75	2000	520	30	0.6
16	130	2600	920	40	1.6	130	2000	640	40	1.6	80	1600	450	40	0.8	75	1500	420	40	0.8
20	130	2100	820	50	2	130	1600	570	50	2	80	1300	420	50	1	75	1200	390	50	1
16	150	3000	1200	24	4.8	120	2400	720	24	4.8	100	2000	720	24	4.8	75	1500	450	24	3.2
20	150	2400	970	30	6	120	1900	570	30	6	100	1600	580	30	6	75	1200	360	30	4

Ilustración III-0-7. Condiciones de corte para fresa integral para perfilado de las protusiones del core.

iii.2.3. Fresa integral MSTAR: MS2XL6D0040N020  
MS2XL6D0050N025

**MS2XL6**  
2 hélices, Cuello largo, Mango de 6 mm

UWC MS 30°

Acero Carbono, Acero Aleado, Fundición (<30HRC)	Herramientas para Acero Perforación, Acero Estriado (<49HRC)	Acero Endurecido (<55HRC)	Acero Endurecido (>55HRC)	Acero Inoxidable Austenítico	Aleación de Titanio, Aleaciones Aluminio Resistentes	Aleación de Cobre	Aleación de Aluminio
---	--	---------------------------	---------------------------	------------------------------	--	-------------------	----------------------

0.3 ≤ D1 ≤ 2.5									
0									
- 0.020									
D4=6									
0									
- 0.008									

- Fresa frontal de cuello largo con 2 hélices.
- Tipo mango φ 6.

Unidad : mm

Referencia	D1	ap	L3	D5	L1	D4	Hélices	Stock	Tipo
MS2XL6D0030N008	0.3	0.8	—	—	50	6	2	★	2
D0030N015	0.3	0.5	1.5	0.27	50	6	2	●	1
D0040N010	0.4	0.6	1	0.36	50	6	2	★	1
D0040N020	0.4	0.6	2	0.36	50	6	2	●	1
D0050N013	0.5	0.8	1.3	0.46	50	6	2	●	1
D0050N025	0.5	0.8	2.5	0.46	50	6	2	●	1
D0060N015	0.6	0.9	1.5	0.56	50	6	2	★	1

Ilustración III-0-8. Fresa integral para perfilado de las costillas de la base.

Condiciones de corte:

CONDICIONES DE CORTE RECOMENDADAS							
Material		Acero Carbono, Fundición, Acero aleado (—30HRC)			Acero aleado, Acero para herramientas, Acero Pre-endurecido		
		Cf53, GG25			X40CrMoV51		
Diámetro (mm)	Cuello largo (mm)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/min)	Profundidad de corte ap (mm)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/min)	Profundidad de corte ap (mm)
0.3	—/0.8	40000	500—1000	0.01	30000	300—800	0.01
	1.5			0.007			0.007
0.4	1	40000	500—1000	0.015	30000	300—800	0.015
	2			0.01			0.01
0.5	1.3	40000	500—1000	0.02	30000	300—800	0.02
	2.5			0.013			0.013

Ilustración III-0-9. Condiciones de corte de fresa integral para perfilado de las costillas de la base.

### III.3. Redondeo tapa y base del core

#### iii.3.1. Herramienta de forma

#### Fresa de cuarto de círculo

**Fresas de cuarto de círculo**  
Con dentado recto. Superficie con tratamiento especial.

194220

Adecuado para/ v <sub>c</sub> (m/min)	Al Plásticos c/AlSi	Al Fundición > 10 % Si	Ac < 500 N	Ac < 750 N	Ac < 900 N	Ac < 1100 N	Ac < 1400 N	Ac < 55 HRC	Ac < 60 HRC	Ac < 65 HRC	Ac < 67 HRC	Ac < 70 HRC	INOX < 900 N	INOX > 900 N	GG(G)	Cu/Zn	Unl
Código ISO	N	N	P	P	P	P	P	H	H	H	H	H	M	M	K	N	
194220	138	83	28	23	23										23	55	

Radio r H11 D <sub>c</sub>	19 4220		Número de dientes Z	∅ pequeño	∅ grande	f <sub>z</sub>	f <sub>s</sub>
mm	Fresas de cuarto de círculo			mm	mm	mm	mm
1	48,07		4	6	8	60	10
1,5	48,07		4	6	9	60	10
2	48,07		4	6	10	60	10
2,5	48,07		4	6	11	60	10
3	48,07		4	6	12	60	12
4	51,41		4	6	14	60	12
5	60,72		4	6	16	60	16
6	71,07		4	8	20	67	16
8	80,96		4	8	24	71	16

Ilustración III-0-10. Fresa de cuarto de círculo para redondeos.

Condiciones de corte:

20m/min	3000rpm	0,03mm/rev	80mm/min
---------	---------	------------	----------

Ilustración III-0-11. Condiciones de corte para fresa de cuarto de círculo para redondeos.

### III.4. Ranurados

- iii.4.1. Ranurado conductos  $\varnothing 3$ : Fresa integral: VC2PSBPR0150
- Ataques cortina  $\varnothing 1$ : Fresa integral: VC2PSBPR0050
- Ataques cortina  $\varnothing 0,5$ : Fresa integral: VC2PSBPR0025

**VC2PSBP MIRACLE NOVA**  
Excelente precisión, Longitud corta, Punta esférica,  
2 cortes

UWC VC R90.0 R90.5 R90.5 R90.5

Acero Corta, Acero Inox. (VC2PSBP) Acero Inoxidable (VC2PSBP) Acero Endurecido (VC2PSBP) Acero Endurecido (VC2PSBP) Acero Inoxidable Austenítico Acero a Tem. (VC2PSBP) Aleación de Cobre Aleación de Aluminio

Junto con la herramienta se facilitan informes de inspección para la VC2PSBP en los cuales se indica la precisión R.

Excelente geometría del filo:  $R0.02 - 0.04$

● Fresa frontal de punta esférica con 2 ranuras de viruta, con tolerancia radial de precisión ultraelevada de  $\pm 0.002$  mm.

Unidad: mm

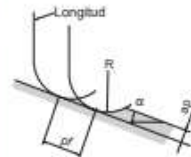
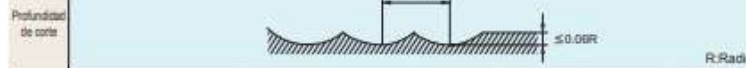
Referencia	R	D1	ap	L3	D5	L1	D4	Hélices	Back Block	Tipo
VC2PSBPR0002	0.02	—	0.06	—	—	50	6	2	○	1
R0003	0.03	—	0.09	—	—	50	6	2	○	1
R0004	0.04	—	0.12	—	—	50	6	2	○	1
R0005	0.05	0.1	0.2	—	—	50	6	2	●	1
R0010	0.1	0.2	0.2	0.6	0.17	50	6	2	●	1
R0015	0.15	0.3	0.3	0.8	0.27	50	6	2	●	1
R0020	0.2	0.4	0.4	1	0.36	50	6	2	●	1
R0025	0.25	0.5	0.5	1.3	0.46	50	6	2	●	1
R0030	0.3	0.6	0.6	1.5	0.56	50	6	2	●	1
R0035	0.35	0.7	0.7	1.8	0.66	50	6	2	●	1
R0040	0.4	0.8	0.8	2	0.76	50	6	2	●	1
R0045	0.45	0.9	0.9	2.3	0.86	50	6	2	●	1
R0050	0.5	1	1.5	2.5	0.94	50	6	2	●	2
R0060	0.6	1.2	1.8	3	1.14	50	6	2	●	2
R0070	0.7	1.4	2.1	3.5	1.34	50	6	2	●	2
R0075	0.75	1.5	2.3	3.8	1.44	50	6	2	●	2
R0080	0.8	1.6	2.4	4	1.54	50	6	2	●	2
R0090	0.9	1.8	2.7	4.5	1.74	50	6	2	●	2
R0100	1	2	3	5	1.9	50	6	2	●	2
R0150	1.5	3	4.5	7.5	2.9	70	6	2	●	2
R0200	2	4	6	10	3.9	70	6	2	●	2
R0250	2.5	5	7.5	12.5	4.9	80	6	2	●	2

Ilustración III-0-12. Fresa integral para ranurado de conductos 3mm.



Condiciones de corte:

CONDICIONES DE CORTE RECOMENDADAS								
Material	Acero aleado, Acero para herramientas, Acero Pre-endurecido				Acero endurecido (45-55HRC)			
	X40CrMoV51				X40CrMoV51			
R (mm)	$\alpha \leq 15^\circ$		$\alpha > 15^\circ$		$\alpha \leq 15^\circ$		$\alpha > 15^\circ$	
	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/min)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/min)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/min)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/min)
R0.05	40000	200	—	—	40000	170	—	—
R0.1	40000	600	40000	400	40000	600	40000	400
R0.15	40000	900	40000	600	40000	900	40000	600
R0.2	40000	1000	40000	700	40000	1000	40000	700
R0.25	40000	1500	40000	1000	40000	1500	40000	1000
R0.3	40000	2000	40000	1500	40000	2000	40000	1500
R0.35	40000	2800	40000	2100	40000	2800	37000	1800
R0.4	40000	2800	40000	2100	40000	2800	35000	1800
R0.45	40000	3200	38000	2200	38000	3000	32000	1800
R0.5	40000	3200	35000	2200	35000	3000	30000	1800
R0.75	40000	3600	30000	2300	32000	3000	25000	1800
R1	35000	3500	25000	2200	28000	2800	20000	1700
R1.5	30000	3400	23000	2200	24000	2600	16000	1500
R2	25000	3400	20000	2200	20000	2600	14000	1500
R2.5	23000	3400	17000	2200	18000	2600	12000	1500
R3	20000	3400	15000	2200	16000	2600	10000	1400
R4	15000	3000	12500	2000	10000	2000	7500	1200
R5	12000	3000	10000	2000	8000	2000	6000	1200
R6	10000	2600	8300	1800	6600	1700	5000	1100



- 1)  $\alpha$  es la inclinación de la superficie de la máquina.
- 2) Si la profundidad de corte es poca, las revoluciones y el avance pueden ser incrementados.
- 3) Si la rigidez de la máquina o la fijación de los materiales de trabajo es insuficiente, o si se producen ruidos o vibraciones, reduzca proporcionalmente las revoluciones y la velocidad de avance.

Ilustración III-0-13. Condiciones de corte de gran eficiencia para ranurado 3mm.

iii.4.2. Ranurado interior de la tapa del cavity

Fresa integral: MS2LSD0050

MS2LS Longitud largo, 2 hélices

UWC MS 30°

D1 < 3 D1 ≥ 3 D1 < 3 D1 ≥ 3

Acero Carbono, Acero Aleado Fundición (<30HRC) Acero Inoxidable, Acero Perforación, Acero Aleado (<45HRC) Acero Endurecido (<55HRC) Acero Endurecido (>55HRC) Acero Inoxidable Austenítico Aleación de Titanio, Aleaciones Aluminas Resistentes Aleación de Cobre Aleación de Aluminio

h6

0.2 ≤ D1 ≤ 12			
0			
- 0.020			
4 ≤ D4 ≤ 6	8 ≤ D4 ≤ 10	D4 = 12	
0	0	0	
- 0.008	- 0.009	- 0.011	

● Fresa de 2 hélices para uso en general.

Unidad : mm

Referencia	D1	ap	L1	D4	Hélices	Stock	Tipo
MS2LSD0020	0.2	0.8	40	4	2	★	1
D0030	0.3	1.2	40	4	2	★	1
D0040	0.4	1.6	40	4	2	★	1
D0050	0.5	2	40	4	2	★	1
D0060	0.6	2.4	40	4	2	★	1
D0070	0.7	2.8	40	4	2	★	1
D0080	0.8	3.2	40	4	2	★	1
D0090	0.9	3.6	40	4	2	★	1

Ilustración III-0-14. Fresa integral para ranurado interior de la tapa del cavity.

Condiciones de corte:

**CONDICIONES DE CORTE RECOMENDADAS**

**Ranurar**

Material	Acero Carbono, Fundición, Acero aleado (<30HRC)			Acero aleado, Acero para herramientas, Acero Pre-endurecido			
	Diámetro (mm)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/min)	Profundidad de corte (mm)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/min)	Profundidad de corte (mm)
Cf53, GG25	0.2	40000	400	0.001	30000	250	0.001
	0.3	40000	600	0.005	35000	420	0.005
X40CrMoV51	0.4	40000	700	0.007	30000	420	0.007
	0.5	40000	800	0.01	24000	380	0.01
	0.6	33000	800	0.015	21000	480	0.01

Ilustración III-0-15. Condiciones de corte de fresa integral para ranurado interior de la tapa del cavity.

iii.4.3. Ranurado del anillo de refuerzo de la tapa del cavity

Sistema para ranurado interior: Serie GY: GYAR20K90A con anchura de 0,5mm

**SISTEMA PARA RANURADO**  
**SERIE GY (RANURADO INTERIOR)**

**6 Herramienta tipo 90°**

(Nota 1) Haga su pedido de lamras modulares y soportes modulares por separado.  
(Nota 2) Utilice una lama modular para mano derecha con el soporte modular de mano izquierda, y una de mano izquierda con el soporte para mano derecha.

●Tipo monoblock (Refrigerado por aire / refrigerante)

Tamaño asiento	Ancho placa W3 (mm)	Mano (R/L)	Max. profundidad ranura ar (mm) *3	Mínimo diámetro de corte D1 (mm)	ID	Referencia			
						Herramienta / Soporte modular	Stock	Lama modular	Stock
D	2.00	R	6	25	(6E2R9D1) (6E1R9D1)	GYAR20K90A-D06 GYAR20Q90A-D06	●	—	—
			6	32	(6G2R9D1) (6G1R9D1)	GYAR25K90B-D06 GYAR25R90B-D06	●	—	—
			4-9.5 *1	40	(6J2R3D1) (6J1R3D1)	GYDR32L90C-M20L GYDR32S90C-M20L	●	GYM20LA-D10	●
			5.5-9.5 *1	50	(6L2R3D1) (6L1R3D1)	GYDR40M90D-M20L GYDR40T90D-M20L	●	GYM20LA-D10	●
			7-11.5 *1	60	(6L2R4D1) (6L1R4D1)	GYDR40M90D-M25L GYDR40T90D-M25L	●	GYM25LA-D12	●
			7-11.5 *1	70	(6N2R4D1) (6N1R4D1)	GYDR50P90F-M25L GYDR50T90F-M25L	●	GYM25LA-D12	●
			6	25	(6E2L9D1) (6E1L9D1)	GYAL20K90A-D06 GYAL20Q90A-D06	●	—	—
	2.24	L	6	32	(6G2L9D1) (6G1L9D1)	GYAL25K90B-D06 GYAL25R90B-D06	●	—	—
			4-9.5 *1	40	(6J2L3D1) (6J1L3D1)	GYDL32L90C-M20R GYDL32S90C-M20R	●	GYM20RA-D10	●
			5.5-9.5 *1	50	(6L2L3D1) (6L1L3D1)	GYDL40M90D-M20R GYDL40T90D-M20R	●	GYM20RA-D10	●
			7-11.5 *1	60	(6L2L4D1) (6L1L4D1)	GYDL40M90D-M25R GYDL40T90D-M25R	●	GYM25RA-D12	●
			7-11.5 *1	70	(6N2L4D1) (6N1L4D1)	GYDL50P90F-M25R GYDL50T90F-M25R	●	GYM25RA-D12	●

Ilustración III-0-16. Sistema para ranurado interior Serie GY para ranura del anillo de refuerzo de la tapa.

Plaquita: GY1G0200D020N-GFGS con recubrimiento VP20RT

Aplicaciones	Geometría	Referencia	Stock				Asiento Tamaño	Dimensiones (mm)				
			Recubrimiento		Meta Duro/CBN			W3		Re	ar (máx.)	L2
			VP10RT	VP20RT	MY5015	NX 2525		RT9010	RT9020			
Para ranurado		GY1G0200D020N-GFGS					● D	2.00	±0.03	0.2	—	20.70
		0239E020N-GFGS					● E	2.39	±0.03	0.2	—	20.70
		0250E020N-GFGS					● E	2.50	±0.03	0.2	—	20.70
		0300F020N-GFGS					● F	3.00	±0.03	0.2	—	20.70
		0318F020N-GFGS					● F	3.18	±0.03	0.2	—	20.70
		0400G020N-GFGS					● G	4.00	±0.03	0.2	—	25.65
		0475H020N-GFGS					● H	4.75	±0.03	0.2	—	25.65
		0500H020N-GFGS					● H	5.00	±0.03	0.2	—	25.65

Ilustración III-0-17. Plaquita para el sistema para ranurado interior Serie GY de la ranura del anillo de refuerzo de la tapa.

Condiciones de corte:

VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA (m/min)								
Material	Dureza	Calidad	Velocidad de corte (m/min)					
			50	100	150	200	250	300
P	Acero dulce	VP20RT		80	180			
		VP10RT		90	190			
		NX2525		70	170			
	Acero al carbono Acero aleado	160-280HB	VP20RT		60	140		
			VP10RT		70	150		
			MY5015		90	210		
		280HB≤	NX2525		55	135		
			VP20RT		50	110		
			VP10RT		60	120		
			MY5015		80	160		
			NX2525		45	105		
			Acero inoxidable	≤270HB	VP20RT		50	110
VP10RT		60			120			

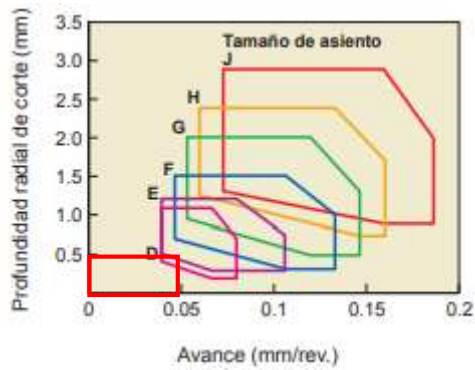


Ilustración III-0-18. Condiciones de corte para el sistema para ranurado interior Serie GY de la ranura del anillo de refuerzo de la tapa.

### III.5. Taladrados

#### iii.5.1. Expulsores Ø3,5

#### Broca MPS0350-L35C tipo mango cilíndrico

**MPS**  
Tipo doble margen

- Desde 3–40 l/d profundidad del agujero.
- La broca MPS tiene 4 margenes para precisión y fiabilidad de la broca.
- Todas las brocas tienen refrigeración interna como las estándar.

UWC VP 140° X Reducción

	3 ≤ D1 ≤ 6	6 < D1 ≤ 10	10 < D1 ≤ 18	18 < D1 ≤ 20
Tipo DIN	+0.010 -0.002	+0.010 -0.005	+0.005 -0.013	+0.005 -0.016
Otros	0 -0.012	0 -0.015	0 -0.018	0 -0.021
h6	0 -0.008	0 -0.009	0 -0.011	0 -0.013

● Tipo 1 Tipo mango cilíndrico

● Tipo 2 Mango tipo Whistle notch

MPS---S/L-DIN-C (l/d 3–5)  
MPS---L (l/d 8–40)

Diám. Broca D1 (mm)	Profundidad agujero VP 15TF	Stock	Referencia	Dimensiones (mm)				Tipo
				L1	L3	L9	D4	
3.5	3	●	MPS0350S-DIN	62	20	36	6	2
	3	●	MPS0350S-DIN-C	62	20	36	6	1
	5	●	MPS0350L-DIN	66	28	36	6	2
	5	●	MPS0350L-DIN-C	66	28	36	6	1
	8	●	MPS0350-L8C	80	40	36	6	1
	10	□	MPS0350-L10C	87	47	36	6	1
	12	●	MPS0350-L12C	94	54	36	6	1
	15	●	MPS0350-L15C	104	64	36	6	1
	20	●	MPS0350-L20C	122	82	36	6	1
	25	□	MPS0350-L25C	139	99	36	6	1
	30	□	MPS0350-L30C	157	117	36	6	1
	35	□	MPS0350-L35C	176	135	36	6	1
40	●	MPS0350-L40C	191	151	36	6	1	

Ilustración III-0-19. Taladro para agujeros de expulsores de 3,5mm.

#### Condiciones de corte:

Material	Diámetro Broca Condición Dureza	Ø 3.0 – Ø 6.0		Ø 6.0 – Ø 10.0		Ø 10.0 – Ø 14.0		Ø 14.0 – Ø 20.0	
		Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev.)	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev.)	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev.)	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev.)
P Acero dulce	≤ 180HB	110 (50–120)	0.20 (0.15–0.25)	130 (80–140)	0.25 (0.20–0.35)	150 (90–170)	0.30 (0.20–0.40)	160 (100–180)	0.35 (0.20–0.40)
	180–280HB	90 (50–100)	0.20 (0.15–0.25)	110 (70–120)	0.25 (0.20–0.35)	130 (80–140)	0.25 (0.20–0.40)	140 (100–150)	0.30 (0.20–0.40)
	Acero al carbono Acero aleado	280–350HB (140–160)	80 (40–100)	0.20 (0.15–0.25)	90 (60–110)	0.25 (0.15–0.30)	110 (70–130)	0.25 (0.15–0.40)	120 (90–140)
M Acero inoxidable	≤ 200HB	50 (20–100)	0.10 (0.05–0.15)	60 (40–120)	0.20 (0.10–0.25)	70 (50–120)	0.25 (0.15–0.30)	80 (60–120)	0.25 (0.15–0.30)
K Fundición	Resistencia a la tracción ≤ 350MPa	100 (70–120)	0.25 (0.15–0.30)	130 (100–140)	0.30 (0.20–0.35)	150 (110–160)	0.35 (0.25–0.40)	160 (120–170)	0.35 (0.25–0.40)
	Fundición dúctil Resistencia a la tracción ≤ 450MPa	60 (30–80)	0.20 (0.15–0.25)	70 (40–90)	0.20 (0.15–0.30)	90 (50–110)	0.25 (0.20–0.40)	100 (60–110)	0.3 (0.20–0.40)
S Aleaciones termo resistentes	–	20 (10–25)	0.10 (0.05–0.15)	25 (15–30)	0.12 (0.05–0.15)	25 (15–30)	0.15 (0.10–0.20)	30 (25–35)	0.15 (0.10–0.20)

Ilustración III-0-20. Condiciones de corte para agujeros de expulsores de 3,5mm.

iii.5.2. Expulsores Ø4,5

Broca MPS0450-L35C tipo mango cilíndrico

**MPS**  
Tipo doble margen

- Desde 3-40 l/d profundidad del agujero.
- La broca MPS tiene 4 margenes para precisión y fiabilidad de la broca.
- Todas las brocas tienen refrigeración interna como las estándar.

UWC VP 140° X Reducción

Acero al carbono	Acero endurecido	Acero inoxidable	Fundición	Aleación ligera	Aleaciones termo resistentes
------------------	------------------	------------------	-----------	-----------------	------------------------------

	3 ≤ D1 ≤ 6	6 < D1 ≤ 10	10 < D1 ≤ 18	18 < D1 ≤ 20
Tipo DIN	+0.010 -0.002	+0.010 -0.005	+0.005 -0.013	+0.005 -0.016
Otros	0 -0.012	0 -0.015	0 -0.018	0 -0.021
h6	0 -0.008	0 -0.009	0 -0.011	0 -0.013

● Tipo 1 Tipo mango cilíndrico  
● Tipo 2 Mango tipo Whistle notch

MPS---S/L-DIN-C (l/d 3-5)  
MPS---L (l/d 8-40)

Diám. Broca D1 (mm)	Profundidad agujero VP 15TF (l/d)	Referencia	Dimensiones (mm)				Tipo
			L1	L3	L9	D4	
3	●	MPS0450S-DIN	66	24	36	6	2
3	●	MPS0450S-DIN-C	66	24	36	6	1
5	●	MPS0450L-DIN	74	36	36	6	2
5	●	MPS0450L-DIN-C	74	36	36	6	1
8	●	MPS0450-L8C	91	51	36	6	1
10	□	MPS0450-L10C	100	60	36	6	1
12	●	MPS0450-L12C	109	69	36	6	1
15	●	MPS0450-L15C	122	82	36	6	1
20	□	MPS0450-L20C	145	105	36	6	1
25	□	MPS0450-L25C	167	127	36	6	1
30	□	MPS0450-L30C	190	150	36	6	1
35	□	MPS0450-L35C	212	172	36	6	1
40	●	MPS0450-L40C	236	196	36	6	1

Ilustración III-0-21. Taladro para agujeros de expulsores de 4,5mm.

Condiciones de corte:

Material	Diámetro Broca Condición Dureza	φ 3.0 - φ 6.0		φ 6.0 - φ 10.0		φ 10.0 - φ 14.0		φ 14.0 - φ 20.0	
		Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev.)	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev.)	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev.)	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev.)
P Acero dulce	≤ 180HB	110 (50-120)	0.20 (0.15-0.25)	130 (80-140)	0.25 (0.20-0.35)	150 (90-170)	0.30 (0.20-0.40)	160 (100-180)	0.35 (0.20-0.40)
	180-280HB	90 (50-100)	0.20 (0.15-0.25)	110 (70-120)	0.25 (0.20-0.35)	130 (80-140)	0.25 (0.20-0.40)	140 (100-150)	0.30 (0.20-0.40)
	280-350HB	80 (40-80)	0.20 (0.15-0.30)	90 (60-110)	0.25 (0.15-0.30)	110 (70-130)	0.25 (0.15-0.40)	120 (90-140)	0.30 (0.20-0.40)
M Acero inoxidable	≤ 200HB	50 (20-100)	0.10 (0.05-0.15)	60 (40-120)	0.20 (0.10-0.25)	70 (50-120)	0.25 (0.15-0.30)	80 (60-120)	0.25 (0.15-0.30)
K Fundición	Resistencia a la tracción ≤ 350MPa	100 (70-120)	0.25 (0.15-0.30)	130 (100-140)	0.30 (0.20-0.35)	150 (110-160)	0.35 (0.25-0.40)	160 (120-170)	0.35 (0.25-0.40)
Fundición dúctil	Resistencia a la tracción ≤ 450MPa	60 (30-80)	0.20 (0.15-0.25)	70 (40-90)	0.20 (0.15-0.30)	90 (50-110)	0.25 (0.20-0.40)	100 (60-110)	0.3 (0.20-0.40)
S Aleaciones termo resistentes	-	20 (10-25)	0.10 (0.05-0.15)	25 (15-30)	0.12 (0.05-0.15)	25 (15-30)	0.15 (0.10-0.20)	30 (25-35)	0.15 (0.10-0.20)

Ilustración III-0-22. Condiciones de corte para agujeros de expulsores de 4,5mm.

iii.5.3. Centradores Ø6,25

- Para agujeros *cavity*: Broca VAPDMSUSD0625
- Para agujeros *core*: Broca VAPDMSUSD0600
- Para escariados *core*: Broca VAPDMSUSD0625

**VAPDMSUS**  
Medio, gran precisión, para acero inoxidable

CO HSS V 118° 135° X Reducción

Acero al carbono Acero aleado	Acero endurecido	Acero inoxidable	Fundición	Aleación ligera	Aleaciones termo resistentes
○	○	⊗	○	○	○

0.5 ≤ D1 ≤ 3	3 < D1 ≤ 6	6 < D1 ≤ 10	10 < D1 ≤ 13
0	0	0	0
-0.014	-0.018	-0.022	-0.027

\* Todas las brocas excepto con intervalos de 0.1mm y por debajo de diam. 4.0mm tienen tolerancia de 0-0.009mm.

● La combinación del nuevo diseño y el recubrimiento Violet logra un taladrado de alta eficiencia y una larga vida útil de la herramienta para el taladrado de aceros inoxidables.

Diám. Broca D1 (mm)	Referencia	Dimensiones (mm)			Stock
		L3	L1	D4	
5.5	VAPDMSUSD0550	56	106	6	●
5.55	D0555	56	106	6	★
5.6	D0560	56	106	6	★
5.65	D0565	56	106	6	★
5.7	D0570	56	106	6	★
5.75	D0575	56	106	6	★
5.8	D0580	56	106	6	★
5.85	D0585	56	106	6	★
5.9	D0590	56	106	6	★
5.95	D0595	56	106	6	★
6.0	D0600	56	106	6	●
6.05	D0605	62	112	8	★
6.1	D0610	62	112	8	★
6.15	D0615	62	112	8	★
6.2	D0620	62	112	8	★
6.25	D0625	62	112	8	★

Ilustración III-0-23. Broca para los agujeros centradores.

Condiciones de corte:

CONDICIONES DE CORTE RECOMENDADAS								
Material	Acero Inoxidable				Acero al carbono C45, Acero aleado 070M55, Fundición, Cobre, Aleación de cobre	Acero Estructural, Aleación de aluminio		
	Austenítico X5CrNi1810 X5CrNiMo17122		Martensítico, Ferrítica X10CrAl18			Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/rev)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )
Diámetro Broca (mm)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/rev)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/rev)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/rev)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Avance (mm/rev)
0.5	7600	0.01	8800	0.01	11250	0.01	15000	0.02
1.0	4800	0.02	6300	0.05	10000	0.05	12000	0.05
2.0	2400	0.04	3200	0.06	5500	0.09	6400	0.09
3.0	1600	0.07	2100	0.10	3700	0.13	4300	0.13
4.0	1200	0.09	1600	0.10	2800	0.15	3200	0.15
5.0	950	0.12	1300	0.13	2200	0.18	2600	0.18
6.0	800	0.14	1100	0.15	1800	0.20	2100	0.19
8.0	600	0.18	800	0.18	1400	0.22	1600	0.24
10.0	480	0.22	640	0.21	1100	0.25	1300	0.28

Ilustración III-0-24. Condiciones de corte para agujeros centradores.

iii.5.3. Avellanados centradores

Broca Violet VAPDSCB con hélice corta



● Su exclusiva geometría garantiza alta eficiencia en el avellanado. Excelente rompevirutas y superficie avellanada plana.

Diám. Broca D1 (mm)	Referencia	Dimensiones (mm)				Stock
		D5	L3	L1	D4	
6.0	VAPDSCBD0600	1.4	27	80	6	★
6.1	D0610	1.4	30	80	8	★
6.2	D0620	1.4	30	80	8	★
6.3	D0630	1.4	30	80	8	★
6.4	D0640	1.4	30	80	8	★
6.5	D0650	1.4	30	80	8	★
6.6	D0660	1.8	30	80	8	★
6.7	D0670	1.8	30	80	8	★
6.8	D0680	1.8	32	80	8	★
6.9	D0690	1.8	32	80	8	★
7.0	D0700	1.8	32	80	8	★
7.1	D0710	1.8	32	80	8	★
7.2	D0720	1.8	32	80	8	★
7.3	D0730	1.8	32	80	8	★
7.4	D0740	1.8	32	80	8	★
7.5	D0750	1.8	32	80	8	★
7.6	D0760	2.0	35	85	8	★
7.7	D0770	2.0	35	85	8	★
7.8	D0780	2.0	35	85	8	★
7.9	D0790	2.0	35	85	8	★
8.0	D0800	2.0	35	85	8	★
8.1	D0810	2.0	35	90	10	★
8.5	D0850	2.0	35	90	10	★

Ilustración III-0-25. Broca para avellanados de los centradores.

Condiciones de corte:

CONDICIONES DE CORTE RECOMENDADAS								
Material	Acero Estructural, Aleación de aluminio		Acero al carbono Ck55, Aleación de acero 070M55, Fundición dúctil		Acero herramientas, aleación X210Cr12 (materiales de baja dureza) Acero inoxidable ferrítico, X10CrAl18, X10CrAl13 Acero inoxidable martensítico, X20Cr13, X10CrAl13		Acero de aleación para herramientas, X40CrMoV51 (-40HRC) Acero inoxidable de temple, X7CrNiAl177	
	Diámetro broca (mm)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Vel. de avance (mm/rev)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Vel. de avance (mm/rev)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )	Vel. de avance (mm/rev)	Revoluciones (min <sup>-1</sup> )
2.0	5600	0.07	4800	0.07	3200	0.07	2800	0.04
3.0	3700	0.10	3200	0.10	2100	0.10	1900	0.05
4.0	2800	0.12	2400	0.12	1600	0.12	1400	0.06
5.0	2200	0.14	1900	0.14	1300	0.14	1150	0.07
6.0	1850	0.15	1600	0.15	1050	0.15	950	0.08
8.0	1400	0.20	1200	0.20	800	0.20	720	0.10

Ilustración III-0-26. Condiciones de corte para avellanados de los centradores.



## **ANEXO IV.**

### **Propiedades de los materiales seleccionados según CES-Edupack**

**General information**

Ansys Name Plastic, PP (homopolymer, clarified/nucleated)

**Designation**

Polypropylene (Homopolymer, clarified/nucleated)

**Tradenames**

4Prop; A.D. Compound Pp; Aarolene; Aaron; Aaroprene; Acclear; Accpro; Acctuf; Accucomp; Accuguard; Accutech; Achieve; Addiflam; Addilene; Adell Pp; Adene; Adflex; Adlen; Admer; Adpoly; Adpro; Adsint; Adsyl; Advance; Advanced; Advanced-Pp; AIE; Akrolen; Albis Pp; Alcom; Alphacan; Altech; Amppleo; Amtopp; Aplax; Appryl; Aqualoy; Arak; Arbofill; Arcoplen; Armlen; Arpak; Arpro; Asahi Thermofil Pp; ASI; Astryn; Atofinapolypropylene; Aurapene; Axlene; Axplas; Axpoly; Azdel; Bapolene; Bergaprop; Beta; BFI; Bicolor; Biffa; Bolv; Bondyram; Borclear; Borcoat; Borcom; Borealis; Boreco; Borflow; Borpact; Borpure; Borseal; Borstar; Braskem; Bras-Tec; Bretene; Buplen; Bynel; Cabelec; Calp; Caltex; Canuck; Capilene; Carboprene; Carbo-Rite; Carmelstat; Cefor; Cepla; Cheng; Cheng Yu; Chiao; Clariant; Clyrell; Colorfast; Colorrx; Comai; Compel; Compotene; Comshield; Coolpoly; Copylene; Corton; Cosmoplene; Cotene; Cp Pryme; Curv; Cuyolen; Cuyotec; Daelim; Daelimpoly; Dafnelen; Daicel; Daicelpp; Danapro; Daplen; Daploy; Delta; Denilen; Denistat; Dep; Deslen; Developmental; Dexflex; Digilyte; Dinaplen; Dipolen; Domolen; Dow; Duclear; Dupont; Dupure; Dynachar; Dynacom; Dynapath; Echo; Eden; Eco; Ecogran; Ecolen; Ecolene; Ecollent; Ecompounds; ECP; Edgetek; Egeuroptene; Electrafil; Electroblend; Eleme; El-Pro; Eltex; Emoplen; Encom; Endura; Ensinger; Enviropro; Epalex; Ep-N; Epolene; Epsilon; Equistarpp; E-Riafill; Escallo; ESD; Esdash; Esentia; Estaprop; Eticourt; Evalene; Exelene; Explore; Extinity; Extron; Exxlor; Exxpol Enhance; Exxtral; Faralloy; Ferrexnewfoamer; Ferro; Ferro Pp; Ferrocon; Ferrolene; Ferropak; Fiberfil; Finapro; Five; Flametec; Foamlite; Formolene; Formpoly; Formula; Fortilene; FPC; Galloo; Gapex; GLS; Grand Polpro; Gravi-Tech; Haiplen; Halene; Hanwha; Hifax; Hi-Fax; Hifill; Hi-Glass; Hipolen; Hiprene; Hishiplate; Hms; Hopelen; Hostacen; Hostacom; Hostalen; Hostalen Pp; Hyosung Pp; Hypro; Hypro-F; Hypro-G; Hyundai; I. Stern; Icorene; Imerplast; Incolor; Indure; Inelec; Inertec; Innopol; Inspire; Integra; Integrate; Inverko; Isofil; Isplen; Jampilen; Jazz; Kelburon; Kingfa; Kinta; KMI; Kopelen; Kopla; Koylene; Kpol-Pp; Kruplene; Kw Plastics; Laser; Latene; Laticonther; Latimass; Latiohm; Latistat; Lihan; Linxidan; Lnp Colorcomp; Lnp Lubricomp; Lnp Stat-Kon; Lnp Stat-Loy; Lnp Thermocomp; Lnp Thermotuf; Lnp Verton; Lotte; Loxim; Luban; Lucent; Lumicene; Lupol; Lushan; Luvogard; Luvosint; Macomass; Mafill; Magnacom; Majoris; Malen-P; Marlex; Marpol; Matrixx; Maxpro; Maxtel; Maxxam; MBA; Mccann; Meplen; Metallite; Metocene; Michilene; Microthene; Midilena; Mineralblend; Modified; Moplen; Mosten; Mtegrity; Muehlstein Compounds; Multipro; Multi-Pro; Mytex; Nanjing Hongrui; Nanoblend; Neftekhim; Nemcon; Network Polymers Pp; Neviflam; Neviprop; Newstren; Nex-Pro; Next; Nexus; Niche; Nilene; Nilflex; Niplene; Nissen; Niuk; Noblen; Nortuff; Novatec; Novolen; NPP; Oleform; Olehard; Olesafe; Omikron; Omni; Omnipro; Oppalytetresaphan; Orevac; Orientene; Osstyrol; Osterlene; Palprop; PCD; Percom; Perler; Permastat; Petilen; Petlon; Petoplen; Petroken; Petroquim; Petrothene; Pexloy; Piolen; Plastiflam; Plexar; Polene; Polifil; Polifor; Polimaxx; Polyaxis; Polychim; Polycom; Polycomp; Polycompo; Polycompound; Poly-Elek; Polyfill; Polyflam; Polyfort; Polyglue; Polylink; Polymerhemp; Polypropen; Polyram; Polystone; Polyvance; Ponalen; Popelen; Poticon; Poyad; PPR; PRB; Pre-Elec; Primaflex; Primalene; Primatop; Prime; Prime Cor-X; Prime Polypro; Primefin; Prisma; Pristene; Prixene; Pro; Procom; Procyclen; Profax; Pro-Fax; Proflow; Prolen; Propafilm; Propak; Propilven; Propylplus; Propylux; Protec; Proteq; Proteus; Ptf; Purpolen; QCP; Qenos; Quadpoly; Quadrant; Rainmaker; Ramofin; Ranpelen; Ranpelen/Seetec; Ranplen; Ravago; Razalen; Recythen; Refax; Regal Petrochemical; Repol; Repolen; Repro; Reptol; Resindirect; Reslen; Resmart; Retpol; REV; Revolve; Rexene; Rheteck; Riafill; Rigidex; RJM; Rompetrol; Ronalen; Rotothon; Rotoun; Rr Advantage; RSH; RTP; Rtp Compounds; Rxloy; Sabic Ppcompound; Safron; Salflex; Sanalite; Sanren; Sasol; Saxalen; Saxene; Scancomp; Schularec; Schulatec; Scolefin; Seblex; Secco; Seculene; Seetec; Sequel; Shandong; Shuman; Silver; Simolife; Simona; Simpoly; Sindustris; Sinelec; Sinpolene; Sinterplast; Slovalen; Softell; Solaplast; Spartech Polycom; Sphertec; SPI; Spolen; Stamax; Stamylen; Star; Starflam; Starpylen; Statiblend; Stat-Rite; Stat-Tech; Strandfoam; Stretchene; Sumitomo; Sunlet; Supol; Sup-Tech; Surespec; Symbios; Synres; Syntegum; Systalen; Tabond; Taboren; Taffen; Taipolene; Tairipro; Talcoprene; Tasnee; Taten; Tecacom; Tecafine; Techlen; Technofin; Tecnoprene; Tecolen; Tekafin; Teknopen; Teldene; Terez; Terralene; Terratek; Texres; Thermofil; Thermolen; Thermylene; Tipcolene; Tipelin; Tipplen; Tisopen; Titanpro; Tolen; Topilene; Torayfan; Tracolen; Trademark; Transmare; Trapnylen; Trilen; Trilene; Trilliant; Tuffill; Tyne Olefins; Ultrasint; Umastyr; Unilex; Uz-Kor; Valmax; Valtec; Vamplen; Vampstat; Vapolen; Verplen; Vlnpol; Virgin; Volaprint; Vylene; Vyon; Wekalen; Welnex; Wintec; Witcom; Wondel; Wpp; Xenopren; X-Pro; Yparex; Yuhwa; Yungsox; Yuplene; Yuyao; Zeral

**Typical uses**

Film, cast, packaging, food, film, household goods, parts, thin-walled, packaging, thin-walled, packaging, media, containers, sheet, medical applications, containers, thin-walled, closures, general purpose, molds/dies/tools, containers, food, sheet, clear, labware, parts, transparent or translucent, cups, lids, furniture, profiles, toys, pharmaceuticals, film, bi-axially oriented, blending, trays, support, parts, thick-walled, packaging, pharmaceutical, laminates, hinges, living, electrical/electronic applications, parts, industrial, video cassettes, food applications, non-specific, appliance components, filaments, non-wovens, containers, thermoformed, coating applications, fibers, wire & cable applications, kitchenware, handles, consumer applications, packaging, cosmetic, automotive applications, hospital goods, compounding, cosmetics, outdoor furnishings, trays, microwavable, carpet backing, strapping, yarn, bcf, fibers, staple, stationary supplies, bags, lawn and garden equipment, drinkware, disposable, buckets, bowls, general mechanical parts, bottle crates, washing machine drums, pipes, battery cases, bottles, bottle caps, bumpers, films for packaging, fibers for carpeting and artificial sports surfaces.

Included in Materials Data for Simulation



## Composition overview

### Compositional summary

(CH<sub>2</sub>-CH(CH<sub>3</sub>))<sub>n</sub> - isotactic

Material family	Plastic (thermoplastic, semi-crystalline)
Base material	PP (Polypropylene)
Polymer code	PP

### Composition detail (polymers and natural materials)

Polymer	100	%
---------	-----	---

### Price

Price	* 1,7	- 2,37	EUR/kg
Price per unit volume	* 1,53e3	- 2,15e3	EUR/m <sup>3</sup>

### Physical properties

Density	900	- 909	kg/m <sup>3</sup>
---------	-----	-------	-------------------

### Mechanical properties

Young's modulus	1,6	- 1,78	GPa
Specific stiffness	* 1,77	- 1,97	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	35,4	- 38	MPa
Tensile strength	36,2	- 49	MPa
Specific strength	* 39,1	- 42,1	kN.m/kg
Elongation	43	- 73,2	% strain
Elongation at yield	7,31	- 9,03	% strain
Compressive modulus	* 1,6	- 1,78	GPa
Compressive strength	* 42,9	- 45,1	MPa
Flexural modulus	1,55	- 1,8	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 32,1	- 55,5	MPa
Shear modulus	* 0,597	- 0,612	GPa
Bulk modulus	* 2,71	- 2,78	GPa
Poisson's ratio	* 0,394	- 0,401	
Shape factor	5		

Hardness - Vickers	11		HV
Hardness - Rockwell M	63	- 84	
Hardness - Rockwell R	100	- 110	
Hardness - Shore D	69	- 75	
Hardness - Shore A	* 95	- 100	
Elastic stored energy (springs)	* 364	- 435	kJ/m <sup>3</sup>
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 16,4	- 17,3	MPa

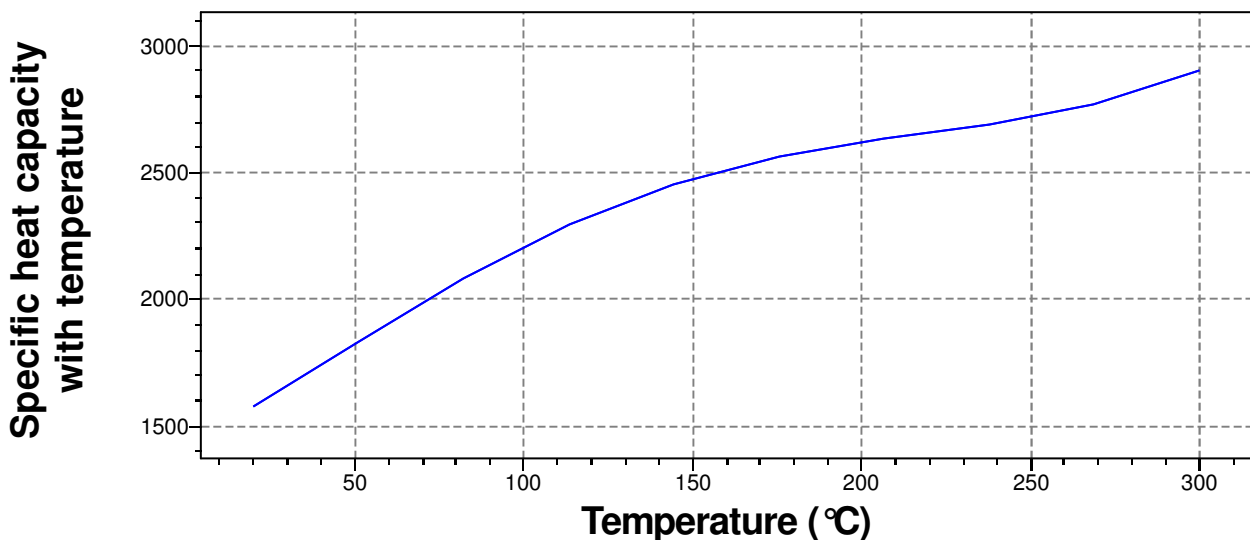
### Impact & fracture properties

Fracture toughness	* 2,3	- 2,42	MPa.m <sup>0.5</sup>
Toughness (G)	* 3,07	- 3,54	kJ/m <sup>2</sup>
Impact strength, notched 23 °C	2,53	- 3,39	kJ/m <sup>2</sup>
Impact strength, notched -30 °C	1,27	- 1,33	kJ/m <sup>2</sup>
Impact strength, unnotched 23 °C	68,3	- 82	kJ/m <sup>2</sup>
Impact strength, unnotched -30 °C	14,1	- 15,9	kJ/m <sup>2</sup>

### Thermal properties

Melting point	160	- 169	°C
Glass temperature	-14	- -6	°C
Heat deflection temperature 0.45MPa	102	- 121	°C
Heat deflection temperature 1.8MPa	50,1	- 66,5	°C
Vicat softening point	144	- 165	°C
Maximum service temperature	* 81,2	- 99,1	°C
Minimum service temperature	* -17	- -3	°C
Thermal conductivity	* 0,213	- 0,222	W/m. °C
Specific heat capacity	1,66e3	- 1,92e3	J/kg. °C
Specific heat capacity with temperature	1,6e3	- 1,6e3	J/kg. °C

[Parámetros:](#) Temperature = 23°C



Thermal expansion coefficient	37,5	- 38,4	µstrain/°C
-------------------------------	------	--------	------------

Thermal shock resistance	* 535	-	610	°C
Thermal distortion resistance	* 0,00559	-	0,00586	MW/m

### Electrical properties

Electrical resistivity	* 9,9e22	-	1,01e23	μohm.cm
Electrical conductivity	* 1,71e-21	-	1,74e-21	%IACS
Dielectric constant (relative permittivity)	2,06	-	2,14	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 1,96e-4	-	2,04e-4	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 17,6	-	18,4	MV/m
Comparative tracking index	600			V

### Magnetic properties

Magnetic type	Non-magnetic
---------------	--------------

### Optical, aesthetic and acoustic properties

Refractive index	1,48	-	1,5	
Transparency	Transparent			
Acoustic velocity	* 1,33e3	-	1,4e3	m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0,0231	-	0,0243	

### Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?	No
-----------------------------------	----

### Absorption & permeability

Water absorption @ 24 hrs	0,00975	-	0,0103	%
Water vapor transmission	0,118	-	0,184	g.mm/m <sup>2</sup> .day
Permeability (O2)	58,3	-	99,7	cm <sup>3</sup> .mm/m <sup>2</sup> .day.atm

### Processing properties

Polymer injection molding	Excellent			
Polymer extrusion	Excellent			
Polymer thermoforming	Acceptable			
Linear mold shrinkage	1,43	-	1,98	%
Melt temperature	208	-	251	°C
Mold temperature	9	-	30,4	°C
Molding pressure range	11,1	-	21,7	MPa

### Durability

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Excellent
Weak acids	Excellent
Strong acids	Excellent
Weak alkalis	Excellent
Strong alkalis	Excellent
Organic solvents	Excellent

Oxidation at 500C	Unacceptable		
UV radiation (sunlight)	Poor		
Flammability	Highly flammable		
Notes	Currently NOT UL tested but expected to pass the HB test		
Oxygen index	18	- 20	%

### Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production (virgin grade)	66,6	- 73,4	MJ/kg
Sources	49.1 MJ/kg (Argonne National Laboratory); 64.7 MJ/kg (Potting and Blok, 1996); 77.9 MJ/kg (PlasticsEurope, 2014); 75.5 MJ/kg (Sullivan and Gaines, 2010); 83 MJ/kg (Thiriez and Gutowski, 2006)		
Embodied energy, primary production (typical grade)	* 65,4	- 72,2	MJ/kg
CO2 footprint, primary production (virgin grade)	1,71	- 1,89	kg/kg
Sources	1.97 kg/kg (Kemna et al. 2005); 1.63 kg/kg (PlasticsEurope, 2014)		
CO2 footprint, primary production (typical grade)	* 1,69	- 1,87	kg/kg
Water usage	* 37,3	- 41,2	l/kg

### Processing energy, CO2 footprint & water

Polymer extrusion energy	* 5,95	- 6,58	MJ/kg
Polymer extrusion CO2	* 0,446	- 0,493	kg/kg
Polymer extrusion water	* 4,88	- 7,32	l/kg
Polymer molding energy	* 22,3	- 24,6	MJ/kg
Polymer molding CO2	* 1,67	- 1,85	kg/kg
Polymer molding water	* 14,1	- 21,1	l/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 0,937	- 1,04	MJ/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,0703	- 0,0777	kg/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 5,09	- 5,63	MJ/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,382	- 0,422	kg/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 9,71	- 10,7	MJ/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0,729	- 0,805	kg/kg

### Recycling and end of life

Recycle	✓		
Embodied energy, recycling	* 24,6	- 27,2	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 1,06	- 1,17	kg/kg
Recycle fraction in current supply	2,57	- 2,84	%
Downcycle	✓		
Combust for energy recovery	✓		
Heat of combustion (net)	* 44	- 46,2	MJ/kg
Combustion CO2	* 3,06	- 3,22	kg/kg
Landfill	✓		
Biodegrade	✗		

### Notes

#### Other notes

Clarified polypropylene resins are 'nucleated', meaning that a crystal nucleation additive has been mixed into the resin. These additives clarify the material by increasing the number and reducing the size of crystallites in the material. Crystallites become so small that they no longer scatter visible light, thereby lowering haze in the material from >50% to <20%.

## Enlaces

---

ProcessUniverse

---

Producers

---

Reference

---

Shape

---

## General information

### Designation

Stainless steel, martensitic, AISI 420, tempered at 204 °C, wrought	
Condition	Tempered at 204 °C
UNS number	S42000
US name	ASTM S42000
EN name	X39Cr13, X15Cr13, X40Cr14
EN number	1.4031, 1.4028, 1.4024, ~1.4021, ~1.2083
GB (Chinese) name	~Y3Cr13, ~3Cr13Mo
JIS (Japanese) name	SUS420F, SUS410J1

### Typical uses

Processing of potentially corrosive liquids e.g. chemicals/oil/beverages/sewage, structural uses in corrosive environments, e.g. nuclear plants, ships, offshore oil installations, underwater cables and pipes

Included in Materials Data for Simulation	✓
---	---

## Composition overview

### Compositional summary

Fe83-88 / Cr12-14 / C0.26-0.35 (impurities: Mn<1, Ni<1, Si<1, P<0.04, S<0.03)

Material family	Metal (ferrous)
Base material	Fe (Iron)

### Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)	0,26	-	0,35	%
Cr (chromium)	12	-	14	%
Fe (iron)	* 82,6	-	87,7	%
Mn (manganese)	0	-	1	%
Ni (nickel)	0	-	1	%
P (phosphorus)	0	-	0,04	%
S (sulfur)	0	-	0,03	%
Si (silicon)	0	-	1	%

### Price

Price	* 1,18	-	1,34	EUR/kg
Price per unit volume	* 8,95e3	-	1,05e4	EUR/m <sup>3</sup>

### Physical properties

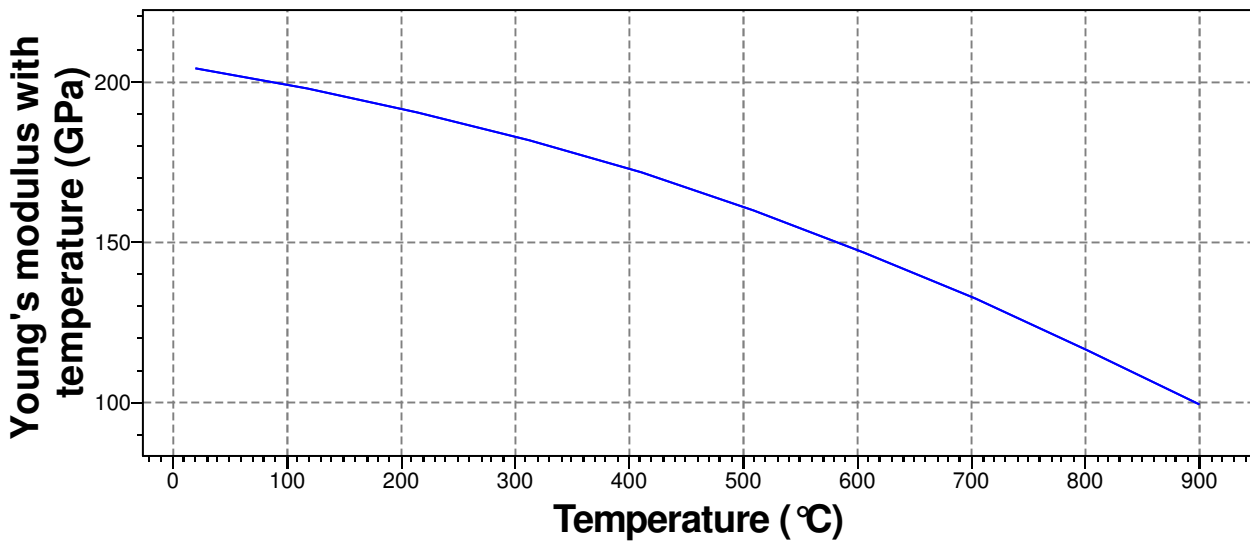
Density	7,6e3	-	7,8e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	-------	---	-------	-------------------

### Mechanical properties

Young's modulus	195	-	205	GPa
Young's modulus with temperature	204	-	204	GPa

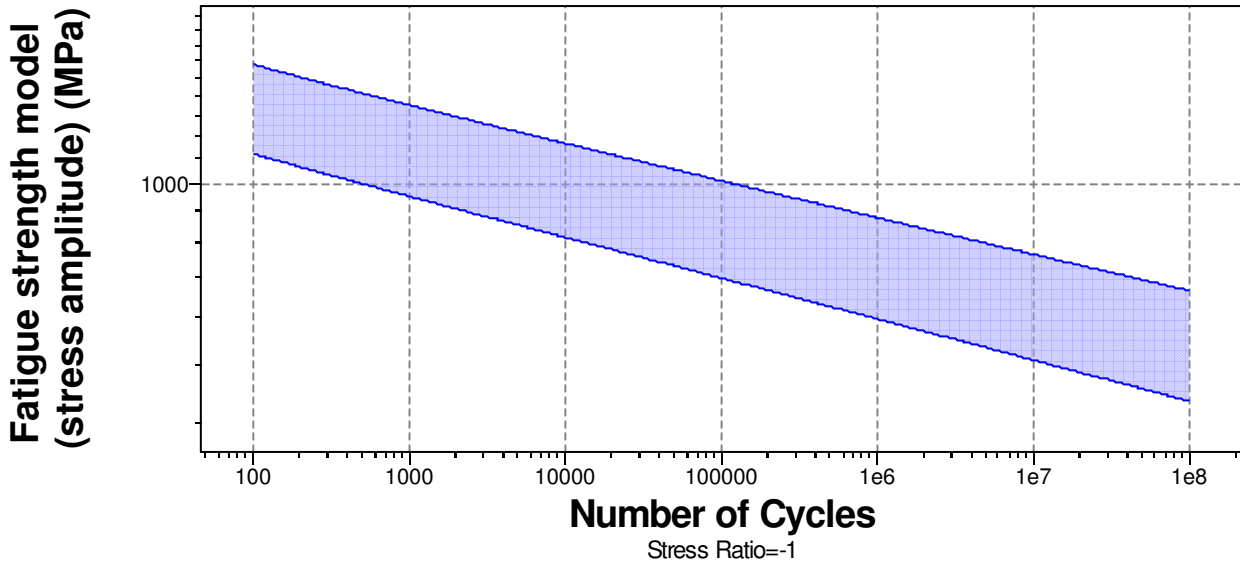
[Parámetros:](#) Temperature = 23 °C





Specific stiffness	* 25,2	-	26,7	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	1,33e3	-	1,63e3	MPa
Tensile strength	1,55e3	-	1,89e3	MPa
Specific strength	* 173	-	212	kN.m/kg
Elongation	5	-	11	% strain
Tangent modulus	4,01e3			MPa
Compressive strength	* 1,33e3	-	1,63e3	MPa
Flexural modulus	* 195	-	205	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	1,33e3	-	1,63e3	MPa
Shear modulus	75	-	81	GPa
Bulk modulus	144	-	159	GPa
Poisson's ratio	0,275	-	0,285	
Shape factor	15			
Hardness - Vickers	540	-	590	HV
Hardness - Rockwell B	* 116	-	120	HRB
Hardness - Rockwell C	47	-	53	HRC
Hardness - Brinell	486	-	538	HB
Elastic stored energy (springs)	* 4,46e3	-	6,59e3	kJ/m <sup>3</sup>
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 581	-	669	MPa
Fatigue strength model (stress amplitude)	* 509	-	763	MPa

[Parámetros:](#) Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 1e7cycles



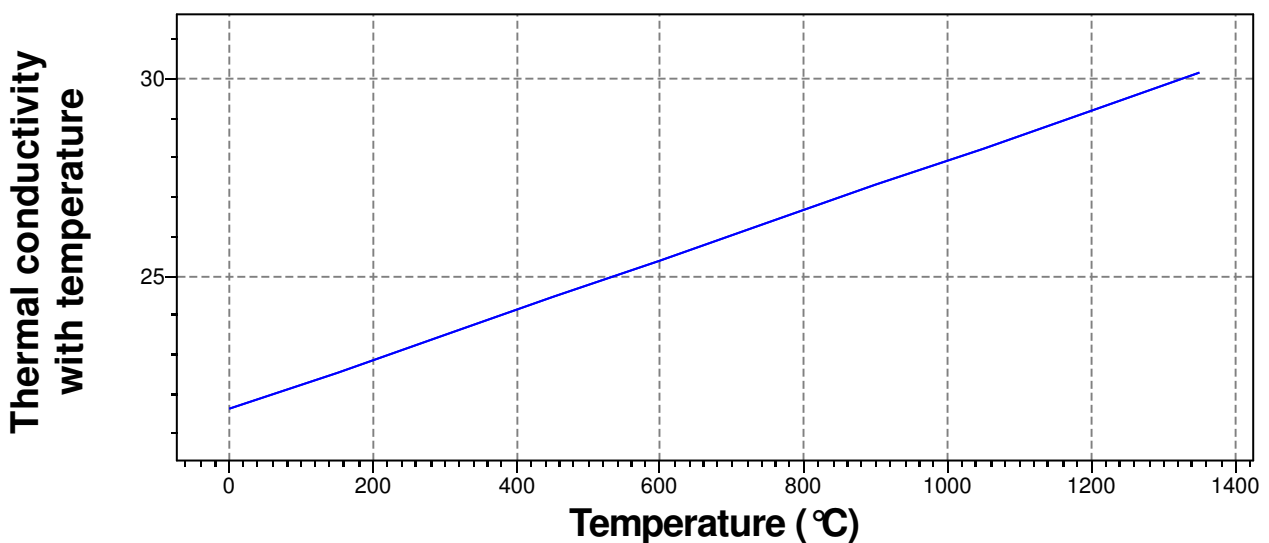
**Impact & fracture properties**

Fracture toughness	* 21	- 40	MPa.m <sup>0.5</sup>
Toughness (G)	* 2,39	- 7,4	kJ/m <sup>2</sup>

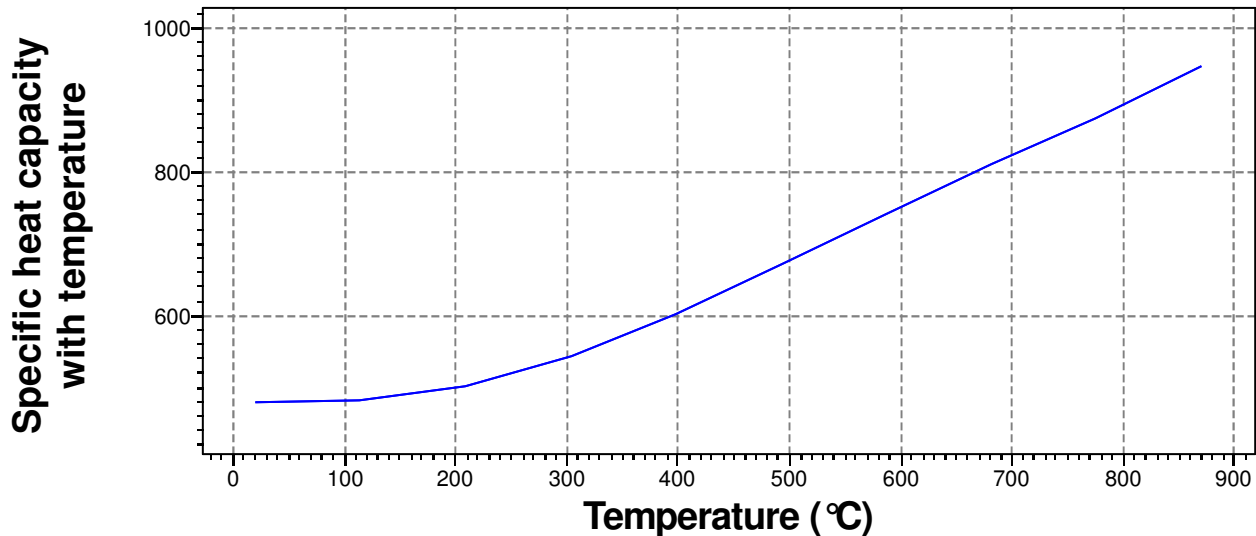
**Thermal properties**

Melting point	1,45e3	- 1,51e3	°C
Maximum service temperature	* 144	- 194	°C
Minimum service temperature	-73	- -43	°C
Thermal conductivity	23	- 27	W/m. °C
Thermal conductivity with temperature	21,7	- 21,7	W/m. °C

[Parámetros:](#) Temperature = 23 °C

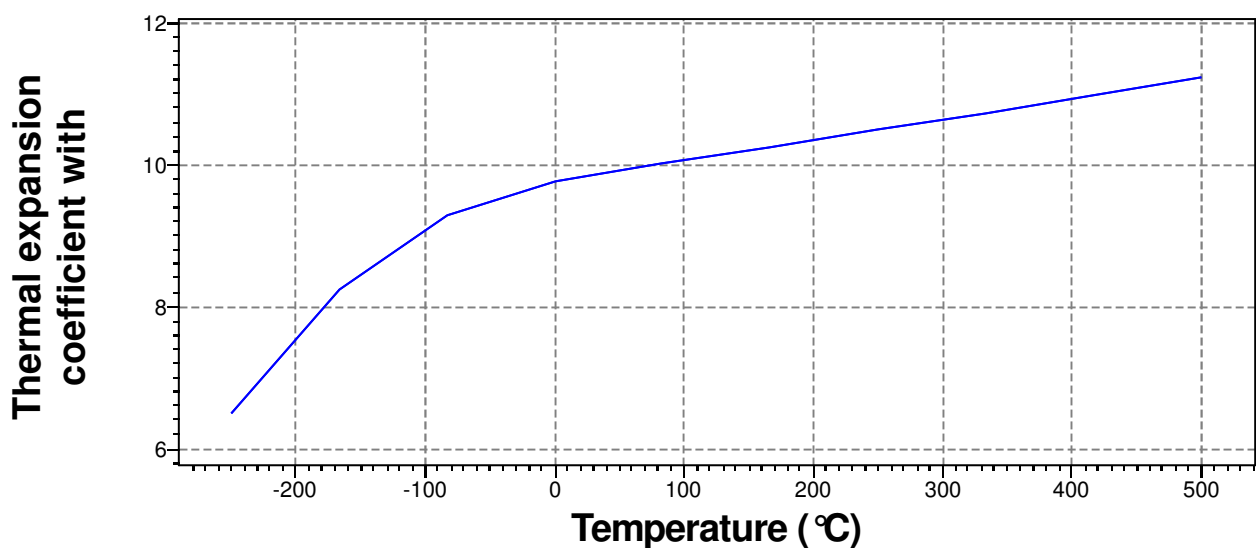


Specific heat capacity	450	- 500	J/kg. °C
Specific heat capacity with temperature	479	- 479	J/kg. °C



Thermal expansion coefficient	9	-	11	μstrain/°C
Thermal expansion coefficient with temperature	9,84	-	9,84	μstrain/°C

Parámetros: Temperature = 23°C

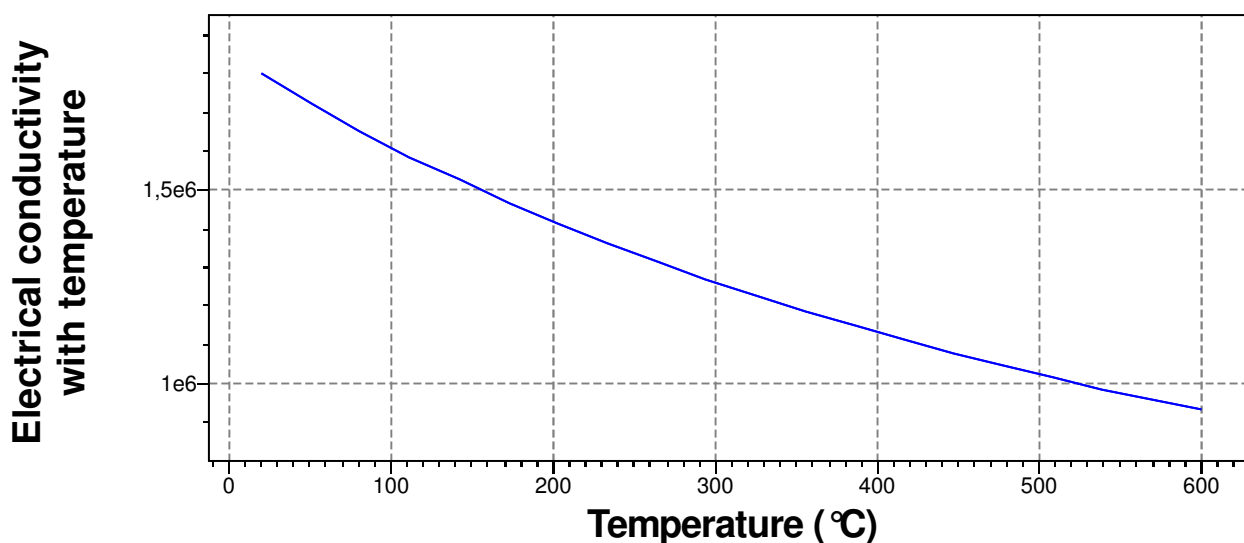


Reference temp	20		°C
Thermal shock resistance	* 642	-	853 °C
Thermal distortion resistance	* 2,21	-	2,84 MW/m
Latent heat of fusion	* 260	-	285 kJ/kg

### Electrical properties

Electrical resistivity	49	-	60 μohm.cm
Electrical conductivity	2,87	-	3,52 %IACS
Electrical conductivity with temperature	1,79e6		Siemens/m

Parámetros: Temperature = 23°C



Galvanic potential	* -0,27	-	-0,19	V
--------------------	---------	---	-------	---

### Magnetic properties

Magnetic type	Magnetic
Coercive force Hc	3,58e3 A/m
Maximum permeability	40

### Magnetic properties information

Due to the stresses induced by hardening, these grades exhibit permanent magnetic properties in the hardened condition. For a given grade, the coercive force tends to increase with increasing hardness, rendering these alloys more difficult to demagnetize. If the hardenable martensitic stainless steels are used in the annealed condition, they suffer from a) poorer magnetic properties due to the presence of a significant volume of chrome-carbides, which contribute to pinning domain-wall movement, b) reduced corrosion resistance due to matrix depletion of chromium. The ferritic nonhardenable 430 or 430F grades are preferred for soft magnetic applications for these reasons. Values given for permeability and coercive force cover full range from annealed to hardened material.

### Optical, aesthetic and acoustic properties

Transparency	Opaque
Acoustic velocity	* 5,02e3 - 5,17e3 m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 2,3e-4 - 3e-4

### Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?	Yes
-----------------------------------	-----

### Processing properties

Metal casting	Unsuitable
Metal cold forming	Limited use
Metal hot forming	Acceptable
Metal press forming	Limited use
Metal deep drawing	Unsuitable
Machining speed	8,23 m/min
Weldability	Poor

Notes	Preheating and post weld heat treatments are required		
Weldability - MIG	Good		
Weldability - plasma	Good		
Weldability - SAW	Not recommended		
Weldability - TIG	Good		
Brazeability	Good		
Carbon equivalency	2,66	-	3,38

### Durability

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Excellent
Weak acids	Excellent
Strong acids	Acceptable
Weak alkalis	Excellent
Strong alkalis	Limited use
Organic solvents	Excellent
Oxidation at 500C	Excellent
UV radiation (sunlight)	Excellent
Galling resistance (adhesive wear)	Excellent

#### Notes

Tempering at a low temperature increases hardness and therefore galling resistance.

Flammability	Non-flammable
--------------	---------------

### Corrosion resistance of metals

Pitting resistance equivalent number (PREN)	12	-	14
Pitting and crevice corrosion resistance	Low (<20)		
Stress corrosion cracking	Slightly susceptible		
Notes	Rated in chloride; Other susceptible environments: Hydrogen sulfide		
Intergranular (weld line) corrosion resistance	Restricted		
Inorganic acids	Restricted		
Organic acids	Restricted		
Alkalis	Moderate		
Humidity / water	Good		
Sea water	Restricted		
Sour oil and gas	Restricted		

### Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	* 64,9	-	71,6	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 5,21	-	5,75	kg/kg
Water usage	* 96,4	-	107	l/kg

### Processing energy, CO2 footprint & water

Roll forming, forging energy	* 12,4	-	13,7	MJ/kg
Roll forming, forging CO2	* 0,93	-	1,03	kg/kg
Roll forming, forging water				

	* 6,85	- 10,3	l/kg
Extrusion, foil rolling energy	* 24,5	- 27,1	MJ/kg
Extrusion, foil rolling CO2	* 1,84	- 2,03	kg/kg
Extrusion, foil rolling water	* 12	- 18	l/kg
Wire drawing energy	* 91,1	- 101	MJ/kg
Wire drawing CO2	* 6,83	- 7,55	kg/kg
Wire drawing water	* 34,3	- 51,5	l/kg
Metal powder forming energy	* 38,1	- 42	MJ/kg
Metal powder forming CO2	* 3,05	- 3,36	kg/kg
Metal powder forming water	* 41,5	- 62,2	l/kg
Vaporization energy	* 1,09e4	- 1,2e4	MJ/kg
Vaporization CO2	* 815	- 900	kg/kg
Vaporization water	* 4,53e3	- 6,79e3	l/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 2,29	- 2,53	MJ/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,172	- 0,19	kg/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 18,6	- 20,6	MJ/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 1,4	- 1,55	kg/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 36,8	- 40,7	MJ/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 2,76	- 3,05	kg/kg
Non-conventional machining energy (per unit wt removed)	* 109	- 120	MJ/kg
Non-conventional machining CO2 (per unit wt removed)	* 8,15	- 9	kg/kg

## Recycling and end of life

Recycle	✓		
Embodied energy, recycling	* 14,3	- 15,8	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 1,12	- 1,24	kg/kg
Recycle fraction in current supply	35,5	- 39,3	%
Downcycle	✓		
Combust for energy recovery	✗		
Landfill	✓		
Biodegrade	✗		

## Notes

### Keywords

1.4024; 1.4028; 1.4031; 17022; 17023; 20Cr130; 2303 to SS 142303; 2304 to SS 142304; 2Ch13; 2Cr13Ni2; 30Cr130 to STAS 3583; 30KH13 to GOST 5632; 3Ch13 to BDS 6738; 3Ch14L to BDS 9631; 3Cr13 to GB 1220; 3Cr13 to GB 4226; 3Cr13 to GB 4237; 3Cr13 to GB/T 4239; 3Cr13 to GB/T 4356; 3Cr13 to GB/T 6725; 3Cr13(-Q) to GB/T 4240; 3H13 to PN-H-86020; 420 Condition A Forg; 420 to AS 1449; 420S45 to BS 1449/2; 420S45 to BS 1554; Acx 365; Acx 370; AoX40CrSi13; AoX40CrSi13F; Argeste 4021 Yb/Yc; Argeste 4034 Yd/Yc/Yn; C to GOST 30208; E-421 to UNE 36016/1; ES 13 H; F.3403 to UNE 36016; F.3403 to UNE 36016/1; F.5262 to UNE 36072/1; FIRTH-BROWN FH; K011; KO12 to MSZ 4360; Metcoloy #2; SM4Cr13; Spartan Redheugh 420S45; STS 420 J 2-CSP; STS 420F2 to KS D 3706; STS 420J2 to KS D 3706; STS420F2 to KS D 3702; STS420J2 to KS D 3702; SUS 420F; SUS 420J1; SUS 420J2; SUS410J1; SUS420F; SUS420F2 to JIS G4303; SUS420F2 to JIS G4308; SUS420F2 to JIS G4309; SUS420J2 to JIS G4303; SUS420J2 to JIS G4304; SUS420J2 to JIS G4305; SUS420J2 to JIS G4308; SUS420J2 to JIS G4309; SUS420J2-CSP to JIS G4313; SUS420J2FB to JIS G4319; SUS420J2TKA to JIS G3446; T40NiCr130; T40SiCr130; Val2; Val2B; Val2Bz; Westig 4021; X15Cr13; X30Cr13 to IS 1570/5; X30Cr13 to IS 6527; X30Cr13 to IS 6528; X30Cr13 to IS 6603; X30Cr13 to MSZ 4360; X30Cr13 to UNE 36016; X30Cr13 to UNE 36072/1; X30Cr13 to UNI 6901; X30Cr13A to IS 6528; X31Cr13KU to UNI 2955/3; X39Cr13; X40Cr14; Y3Cr13; UNS S42000

### Standards with similar compositions

- Australia:  
420 to AS 1449
- Bulgaria:  
3Ch13 to BDS 6738, 3Ch14L to BDS 9631
- China:  
3Cr13 to GB 1220, 3Cr13 to GB 4226, 3Cr13 to GB 4237, 3Cr13 to GB/T 4239, 3Cr13 to GB/T 4356, 3Cr13 to GB/T 6725, 3Cr13(-Q) to GB/T 4240
- Hungary:  
KO12 to MSZ 4360, X30Cr13 to MSZ 4360
- India:  
X30Cr13 to IS 1570/5, X30Cr13 to IS 6527, X30Cr13 to IS 6528, X30Cr13 to IS 6603, X30Cr13A to IS 6528
- Italy:  
X30Cr13 to UNI 6901, X31Cr13KU to UNI 2955/3
- Japan:  
SUS420F2 to JIS G4303, SUS420F2 to JIS G4308, SUS420F2 to JIS G4309, SUS420J2 to JIS G4303, SUS420J2 to JIS G4304, SUS420J2 to JIS G4305, SUS420J2 to JIS G4308, SUS420J2 to JIS G4309, SUS420J2-CSP to JIS G4313, SUS420J2FB to JIS G4319, SUS420J2TKA to JIS G3446
- Poland:  
3H13 to PN-H-86020
- Romania:  
30Cr130 to STAS 3583
- Russia:  
30KH13 to GOST 5632, C to GOST 30208
- South Korea:  
STS 420F2 to KS D 3706, STS 420J2 to KS D 3706, STS420F2 to KS D 3702, STS420J2 to KS D 3702
- Spain:  
E-421 to UNE 36016/1, F.3403 to UNE 36016, F.3403 to UNE 36016/1, F.5262 to UNE 36072/1, X30Cr13 to UNE 36016, X30Cr13 to UNE 36072/1
- Sweden:  
2303 to SS 142303, 2304 to SS 142304
- UK:  
420S45 to BS 1449/2, 420S45 to BS 1554
- Tradenames:  
FIRTH-BROWN FH, METCOLOY #2, SPARTAN REDHEUGH 420S45, VAL2, VAL2B

### Enlaces

ProcessUniverse

Producers

Reference

---

Shape

---