

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO DE UN MOLDE DE INYECCIÓN
PARA EL MANGO PLÁSTICO DE UNA
CEPILLADORA ELÉCTRICA***

DOCUMENTO 2- MEMORIA

Alumno: Goitia Bollar, Gorka

Director: Lobato González, Roberto

Curso: 2018-2019

Fecha: Bilbao, 11 de marzo de 2019

ÍNDICE

2	DOCUMENTO: MEMORIA	8
2.1	INTRODUCCIÓN	8
2.2	CONTEXTO	8
2.3	OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO	9
2.4	ANTECEDENTES	9
2.4.1	HISTORIA	9
2.4.2	MÁQUINAS DE INYECCIÓN	10
2.4.3	PROCESO DE MOLDEADO	12
2.4.4	SISTEMAS EN UN MOLDE DE INYECCIÓN	14
2.4.5	DIAGRAMA TERMODINÁMICO	14
2.4.6	INTERCAMBIADOR DE CALOR	16
2.4.7	VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE INYECCIÓN	17
2.4.7.1	TEMPERATURA DE INYECCIÓN	18
2.4.7.2	VISCOSIDAD	18
2.4.7.3	TEMPERATURA DEL MOLDE	18
2.4.7.4	PRESION DE INYECCIÓN	18
2.4.7.5	CONTRAPRESIÓN	18
2.4.7.6	VELOCIDAD ANGULAR DEL HUSILLO	19
2.4.7.7	TIEMPO DE INYECCIÓN	19
2.4.7.8	TIEMPO DE MANTENIMIENTO	19
2.4.7.9	TIEMPO DE ENFRIAMIENTO	19
2.4.7.10	TIEMPO DE CICLO	20
2.4.8	POLIMEROS	20
2.4.8.1	TERMOPLÁSTICOS	21
2.4.8.2	TERMOESTABLES	21
2.4.8.3	ELASTOMEROS	22
2.4.9	MATERIAL	22
2.4.10	ASPECTOS A TENER EN CUENTA	25
2.4.10.1	CONTRACCIONES	25
2.4.10.2	ÁNGULO DE DESMOLDEO	26
2.4.10.3	CONTRASALIDAS	26
2.4.10.4	ARISTAS VIVAS	26
2.4.10.5	ACUMULACIÓN DE TENSIONES	26
2.4.10.6	LÍNEAS DE SOLDADURA	27
2.4.10.7	ATRAPAMIENTOS DE AIRE	27
2.5	DATOS DE LA PIEZA	27
2.6	NORMATIVA Y REFERENCIAS	28
2.6.1	NORMATIVA GENERAL	28
2.6.2	NORMATIVA DE SEGURIDAD	28

2.6.3	NORMATIVA DE PLANOS	29
2.6.4	NORMATIVA DE ELEMENTOS	29
2.6.5	BIBLIOGRAFÍA	29
2.6.6	PROGRAMAS DE CÁLCULO	30
2.6.7	REFERENCIAS	30
2.6.7.1	PLANOS	30
2.6.7.2	CATÁLOGOS	31
2.7	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	31
2.7.1	TIPOS DE MOLDE SEGÚN EL NÚMERO DE CAVIDADES	31
2.7.1.1	MOLDES DE UNA SOLA CAVIDAD	31
2.7.1.2	MOLDES MULTICAVIDAD	32
2.7.2	TIPOS DE MOLDE SEGÚN EL DESMOLDEO	32
2.7.2.1	MOLDE COMÚN	32
2.7.2.2	MOLDE CON MORDAZAS	32
2.7.3	TIPOS DE MOLDE SEGÚN EL NÚMERO DE PLACAS	33
2.7.3.1	MOLDE DE DOS PLACAS	33
2.7.3.2	MOLDE DE TRES PLACAS	33
2.7.3.3	MOLDE SANDWICH	34
2.7.4	DISTRIBUCIÓN DE LAS CAVIDADES	34
2.7.5	PUNTOS DE INYECCIÓN	35
2.7.6	TIPOS DE COLADA	36
2.7.6.1	COLADA EN FRÍO	36
2.7.6.1.1	TIPOS DE ATAQUE	37
2.7.6.1.2	TIPOS DE CANAL	38
2.7.6.2	COLADA CALIENTE	38
2.7.6.2.1	TIPOS DE BOQUILLA	39
2.7.6.3	COLADA MIXTA	40
2.7.7	SISTEMA DE EXPULSIÓN	41
2.7.7.1	MÉTODOS DE EXPULSIÓN	41
2.7.7.1.1	EXTRACCIÓN MEDIANTE EXPULSORES	41
2.7.7.1.2	EXPULSIÓN MEDIANTE MANGUITOS	42
2.7.7.1.3	EXPULSORES DE VÁLVULA	43
2.7.7.1.4	ANILLOS SEPARADORES Y PLACAS EXPULSORAS	43
2.7.7.1.5	EXPULSIÓN POR AIRE COMPRIMIDO	43
2.7.7.2	TIPOS DE ACCIONAMIENTO MECÁNICO	44
2.7.7.2.1	ACCIONAMIENTO POR BULONES	44
2.7.7.2.2	ACCIONAMIENTO POR PISTONES	44
2.7.7.3	RETROCESOS	44
2.7.8	SISTEMA DE ATEMPERAMIENTO	45
2.7.8.1	TIPO DE DISTRIBUCIÓN	46
2.7.8.1.1	DISTRIBUCIÓN EN SERIE	46
2.7.8.1.2	DISTRIBUCIÓN EN PARALELO	46
2.7.8.2	DEFLECTORES	47

2.8	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.	47
2.8.1	MOLDE MULTICAVIDAD	47
2.8.2	MOLDE COMÚN	47
2.8.3	MOLDE DE DOS PLACAS	47
2.8.4	DISTRIBUCIÓN	48
2.8.5	PUNTO DE INYECCIÓN	48
2.8.6	COLADA EN CALIENTE	48
2.8.6.1	BOQUILLA DE ENTRADA DIRECTA	49
2.8.7	CANAL CIRCULAR	49
2.8.8	SISTEMA DE EXPULSIÓN	49
2.8.8.1	EXPULSIÓN MEDIANTE MANGUITOS	49
2.8.8.2	ACCIONAMIENTO POR BULONES	49
2.8.9	RETROCESOS	49
2.8.10	SISTEMA DE ATEMPERAMIENTO	50
2.8.10.1	DISTRIBUCIÓN EN SERIE	50
2.8.10.2	DEFLECTORES	50
2.8.11	ELEMENTOS DEL MOLDE	50
2.8.11.1	MOLDE	50
2.8.11.2	ZÓCALO FIJO	52
2.8.11.3	ANILLA DE CENTRAJE FIJA	53
2.8.11.4	ZÓCALO MÓVIL	53
2.8.11.5	ANILLA DE CENTRAJE MÓVIL	54
2.8.11.6	PORTA-CAVIDAD	55
2.8.11.7	PORTA-NÚCLEO	56
2.8.11.8	CAVIDAD	57
2.8.11.9	NÚCLEO	58
2.8.11.10	CÁMARA CALIENTE	59
2.8.11.11	PLACA EXPULSORA SUPERIOR	59
2.8.11.12	PLACA EXPULSORA INFERIOR	60
2.8.11.13	PLACA EXPULSORA FIJA	61
2.8.11.14	PLACA AISLANTE	61
2.8.11.15	BULÓN EXPULSOR	62
2.8.11.16	TOPES	63
2.8.11.17	SUFRIDERAS	63
2.8.11.18	SELLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	63
2.8.11.19	COLUMNA GUÍA DEL SISTEMA DE EXPULSIÓN	64
2.8.11.20	CASQUILLOS GUÍA DEL SISTEMA DE EXPULSIÓN	64
2.8.11.21	COLUMNAS GUÍA	64
2.8.11.22	CASQUILLOS GUÍA	65
2.8.11.23	UNIDAD DE CENTRADO	65
2.8.11.24	PATAS DE APOYO	65
2.8.11.25	PLACA PROTECTORA	66
2.8.11.26	REGLES	67
2.8.11.27	UNIDAD DE CIERRE	67
2.8.11.28	CASQUILLOS	68
2.8.11.29	TUBOS DE TRANSITO DE CALOR	69

2.8.11.30	DEFLECTORES	70
2.8.11.31	RETROCESOS	70
2.8.11.32	ELASTÓMEROS	70
2.9	PLANIFICACIÓN	71
2.10	PROBLEMAS COMUNES	72
2.10.1	RECHUPES	72
2.10.2	MATERIAL INYECTADO DEMASIADO FRIO	73
2.10.3	REBABA O EFECTO FLASH	73
2.10.4	EFECTO DIÉSEL	73
2.10.5	PIEL DE NARANJA	74
2.10.6	COLORACIÓN DEFICIENTE	74
2.10.7	LÍNEAS DE SOLDADURA	74
2.10.8	FRACTURAS O GRIETAS	75
2.10.9	DELAMINACIÓN DE CAPAS	76
2.10.10	MARCAS O DEFORMACIONES GENERADAS POR LOS EXPULSORES	76
2.10.11	MARCAS HUNDIDAS Y HUECOS	76
2.10.12	INYECTADAS CORTAS	77
2.10.13	ATRAPAMIENTOS DE AIRE	77
2.10.14	EFECTO JETTING	78
2.10.15	DEFORMACIONES	79
2.10.16	WARPING O PANDEO	79

LISTA DE ILUSTRACIONES

1.	Figura. Mango plástico a fabricar.	8
2.	Figura. Cepillo eléctrico DEXTER DPP-650.	8
3.	Figura. Máquina de inyección.	10
4.	Figura. sistema de agarre de molde mediante placas magnéticas.	11
5.	Figura. Cierre del molde.	12
6.	Figura. Inyección del material fundido.	12
7.	Figura. Refrigeración de la cavidad.	13
8.	Figura. Fundición de resina.	13
9.	Figura. expulsión.	13
10.	Figura. Flujos de calor en un molde de inyección.	17
11.	Figura. Disposición macromolecular de los termoplásticos.	21
12.	Figura. Disposición macromolecular de los termoestables.	22
13.	Figura. Disposición macromolecular de los elastómeros.	22
14.	Figura. Ángulo de desmoldeo que facilita la extracción.	26
15.	Figura. Rediseño del molde para evitar contrasalidas en el desmoldeo.	26
16.	Figura. Líneas de soldadura debido a la unión de dos flujos (izquierda) y líneas de soldadura debido a un agujero (derecha).	27
17.	Figura. CAD de la pieza. Vista desde fuera (izquierda) y vista interior (derecha).	27
18.	Figura. Hendidura creada para que la boquilla haga contacto con un plano horizontal.	28
19.	Figura. Molde de cavidad única de una rejilla frontal de Renault.	31
20.	Figura. Molde multicavidad para la fabricación de cucharas de plástico.	32
21.	Figura. Molde con mordazas.	32
22.	Figura. Molde multicavidad de dos placas.	33
23.	Figura. Molde de tres placas.	33
24.	Figura. Molde sándwich.	34
25.	Figura. Diferentes tipos de distribución.	35
26.	Figura. Deshechos obtenidos debido a la colada en frío.	36
27.	Figura. Ejemplos de ataque de corte no automático.	37
28.	Figura. Entrada submarina (izquierda) y entrada de aguja (derecha).	37
29.	Figura. Perfiles de canal.	38
30.	Figura. Sistema de cámara caliente.	39
31.	Figura. Boquilla de entrada directa.	39
32.	Figura. Boquilla de entrada controlada mediante válvula.	40
33.	Figura. Sistema de colada mixta.	40
34.	Figura. Producto a la venta sin haber retirado la estructura de canales	41
35.	Figura. Ejemplo de un sistema de expulsores.	42
36.	Figura. Expulsión mediante casquillos.	43
37.	Figura. Expulsión por aire comprimido.	43
38.	Figura. Sistema de retroceso por resorte (izquierda) e hidráulico (derecha).	45
39.	Figura. Deflector.	47
40.	Figura. Distribución de cavidades.	48
41.	Figura. Molde completo.	50
42.	Figura. Parte fija.	51
43.	Parte móvil.	52
44.	Figura. Zócalo fijo.	53

45.	Figura. Anilla de centraje fija.	53
46.	Figura. Zócalo móvil.	54
47.	Figura. Anilla de centraje móvil.	54
48.	Figura. Porta-cavidad.	55
49.	Figura. Porta-núcleo.	56
50.	Figura. Cavidad.	57
51.	Figura. Núcleo.	58
52.	Figura. Cámara caliente y caja de conexiones.	59
53.	Figura. Placa expulsora superior.	60
54.	Figura. Placa expulsora inferior.	60
55.	Figura. Placa expulsora fija.	61
56.	Figura. Placa aislante.	62
57.	Figura. Bulón y adaptador.	62
58.	Figura. Seccionado del molde para la visualización del posicionamiento del bulón.	62
59.	Figura. Posicionamiento de las sufrideras.	63
60.	Figura. Posicionamiento de las columnas guía de las placas expulsoras.	64
61.	Figura. Unidad de centrado.	65
62.	Superficie de apoyo del molde.	66
63.	Figura. Placa protectora.	66
64.	Figura. Regle.	67
65.	Figura. Cierre de seguridad.	68
66.	Imagen. Posicionamiento casquillo + expulsor.	69
67.	Figura. Expulsor fijo con función de macho.	69
68.	Figura. Proceso de refrigeración de un tubo de transito de calor.	70
69.	Figura. Posicionamiento de los elastómeros bajo los retrocesos.	71
70.	Figura. Rechupes.	72
71.	Figura. Rebaba en pieza moldeada.	73
72.	Figura. Efecto diésel.	73
73.	Figura. Piel de naranja.	74
74.	Figura. Coloración deficiente.	74
75.	Figura. Formación de una línea de soldadura (izquierda) y orientación molecular (derecha).	75
76.	Figura. Orientación molecular de una línea de unión.	75
77.	Figura. Delanimación.	76
78.	Figura. Marca habitual debido al uso de expulsores.	76
79.	Figura. Inyectada corta.	77
80.	Figura. Atrapamientos de aire.	78
81.	Figura. Efecto jetting.	78
82.	Figura. Warping.	79

LISTA DE TABLAS

1.	Tabla. Comparativa entre PA 6 y PA 6-GF30. _____	23
2.	Tabla. Propiedades de la materia prima DURETHAN BKV 30 H _____	24
3.	Tabla. Diferencia entre moldes de tres placas y moldes con cámara caliente. _____	34
4.	Tabla. Desarrollo del proyecto. _____	71

LISTA DE DIAGRAMAS

1.	Diagrama. Relación PVT para polímeros cristalinos y semi-cristalinos. _____	15
2.	Diagrama. Relación PVT para polímeros no cristalinos. _____	15
3.	Diagrama. Relación PVT para un proceso de inyección. _____	15
4.	Diagrama. Diagrama de la presión ejercida. _____	19
5.	Diagrama. Desglosamiento del tiempo de ciclo. _____	20
6.	Diagrama. Influencia de las contracciones. _____	25
7.	Diagrama. Diagrama Gantt sobre el desarrollo del proyecto. _____	71

2 DOCUMENTO: MEMORIA

2.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es la fabricación en serie de mangos plásticos para una cepilladora eléctrica. Para ello, existen diferentes métodos de fabricación, pero debido a la complejidad de la geometría y la cantidad de piezas a fabricar el moldeo por inyección será el proceso de fabricación adecuado.



1. *Figura. Mango plástico a fabricar.*

El proceso de moldeo por inyección consiste en inyectar material fundido en las cavidades del molde para la posterior extracción de la pieza solidificada. En dicho proceso se hará uso de sistemas de atemperamiento, expulsión, cierre, inyección etc., accionados por una máquina de inyección u otro sistema externo.

2.2 CONTEXTO

Se pide una alta producción de mangos plásticos por parte del cliente. La pieza es parte del mango de una cepilladora eléctrica, modelo DEXTER DPP-650. Para satisfacer dicha demanda se decide la fabricación mediante un molde de inyección debido a su alta productividad.



2. *Figura. Cepillo eléctrico DEXTER DPP-650.*

Se diseñará el molde de inyección partiendo de una geometría similar a la pieza física facilitada por el cliente. El diseño se llevará a cabo en el módulo MoldWizard del software Siemens PLM-NX 10. Por otro lado, para llevar a cabo las simulaciones de inyección y atemperamiento se hará uso del software Autodesk Moldflow Adviser 2017.

2.3 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO

Partiendo de una geometría similar a la facilitada por el cliente se realizará la viabilidad del proyecto, y en caso de necesitar realizar algún cambio en la geometría habría que comunicárselo al cliente y obtener su visto bueno.

Mediante Autodesk Moldflow Adviser 2017 se analizará la viabilidad de la pieza, haciendo un análisis de llenado, desmoldeo, líneas de soldadura, atrapamientos de aire, rechupes, calidad de la pieza, tiempo de llenado etc. Una vez definida la distribución de las cavidades, sistema de inyección y el sistema de atemperamiento óptimo se procederá a el diseño del molde mediante Siemens PLM-NX10.

El proyecto se llevará adelante basado en los criterios generales de la UNE 157001-2014. Constará de siete documentos los cuales serán suficientes para definir el proyecto por completo.

El molde se ha diseñado para fabricar piezas de unas dimensiones específicas y para una máquina de inyección específica. Además, habrá que respetar los elementos definidos, fuerzas y tiempos establecidos, caudales etc.; para un correcto funcionamiento del molde.

En este proyecto se tendrá en cuenta la transferencia de calor, mecánica de fluidos, sistemas mecánicos, resultados obtenidos mediante FEM etc. Dejando fuera del proyecto el análisis de sistemas eléctricos y electrónicos.

Tampoco se tratarán los proyectos de fabricación y producción.

2.4 ANTECEDENTES

2.4.1 HISTORIA

Jons Jacob Berzelius produce, en 1847, por primera vez un polímero mediante el proceso polimerización por condensación, creando así el poliéster.

En 1868, John W. Hyatt patenta un proceso mediante el cual se producirá celuloide. Unos años más tarde se convertirá en la primera persona en inyectar celuloide en un molde. Junto a su hermano patentó una máquina de moldeo por inyección mediante un émbolo.

A principios del siglo XX. Leo Hendrik Baekeland descubrió un fenoplástico, también conocida como baquelita, siendo éste el primer plástico completamente sintético.

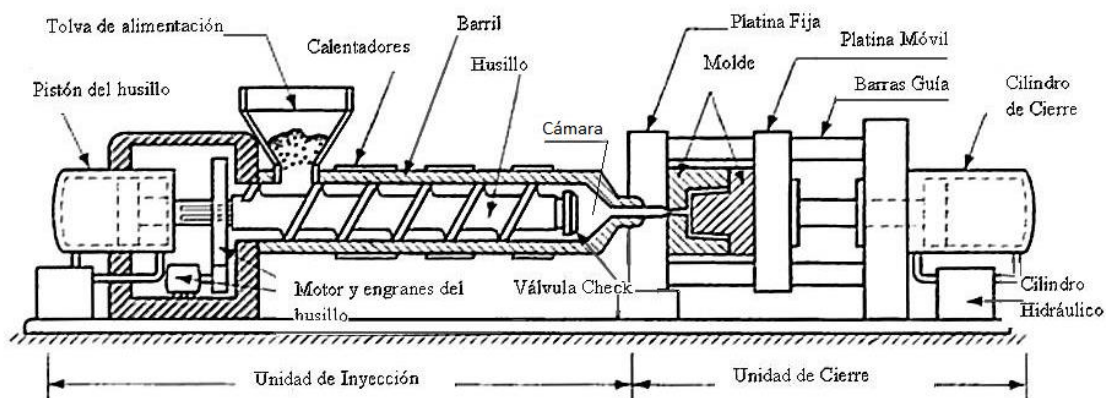
La máquina de moldeo de inyección pasó desapercibida hasta la segunda guerra mundial, que disparó la demanda de productos de bajo coste. James Hendry construyó la primera máquina de inyección mediante un tornillo, revolucionando así la industria del plástico.

2.4.2 MÁQUINAS DE INYECCIÓN

Una máquina de inyección se encarga de fundir el material e inyectarlo en el molde, además también ejercerá una presión en el molde durante el proceso de inyección y refrigeración. una vez solidifique la pieza abrirá el molde para la posterior extracción de ésta.

Consta de dos unidades principales:

- Unidad de inyección: Esta unidad será la encargada de fundir e inyectar el material con una presión específica. Se añadirán los gránulos de material mediante la tolva de alimentación los cuales serán empujados a la cámara de fundición mediante la rotación del husillo; para así fundirlos gracias a los calentadores y la fricción e inyectar el material fundido en el molde mediante un movimiento axial del husillo.
- Unidad de cierre: El molde se alojará en esta unidad y de ésta dependerá la apertura y el cierre del molde y la presión ejercida sobre él, para ello se utilizarán sistemas hidráulicos.



3. Figura. Máquina de inyección.

Existe una amplia variedad de máquinas de inyección, están definidas principalmente por tres características distintivas:

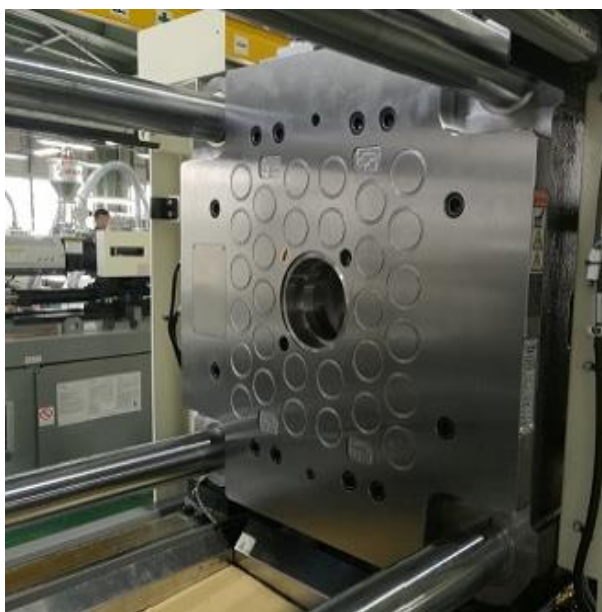
- Capacidad de inyección: La capacidad de inyección viene definida por el volumen máximo de material que es capaz de inyectar la máquina por ciclo.

- Fuerza de cierre: La fuerza de cierre viene definida por la fuerza máxima que es capaz de ejercer el sistema de cierre para mantener el núcleo y la cavidad unidos evitando así fugas del material inyectado.
- Capacidad de plastificación: La capacidad de plastificación viene definida por el número de kilogramos por hora que es capaz de plastificar de un material determinado.

También se pueden clasificar por su sistema de accionamiento:

- Máquinas de inyección hidráulicas: Tanto la máquina como sus recambios son baratos, además de ser máquinas resistentes y de gran potencia.
- Máquinas de inyección eléctricas: Son consideradas máquinas eléctricamente eficientes y con procesos más rápidos. Además, debido al no uso de aceite, son máquinas muy recomendables para la fabricación de productos médicos. Tienen un menor mantenimiento, reduciendo así su tiempo de inactividad.
- Máquinas de inyección híbridas: Ofrecen gran diversidad, partiendo de las ventajas tanto de más máquinas de inyección hidráulicas como las eléctricas. Su mantenimiento también es mejor, ofreciendo así un tiempo de inactividad menor.

Hoy en día, también podemos encontrar máquinas de inyección que ofrecen un sistema de sujeción del molde magnético, facilitando y reduciendo el tiempo de montaje en la máquina de inyección o máquinas con más de una boquilla de inyección, ofreciendo así diferentes posibilidades, entre ellas la de inyectar diferentes materiales.

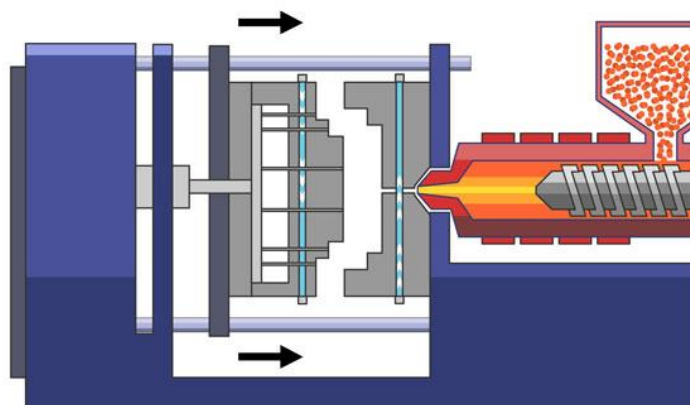


4. *Figura. Máquina de inyección con un sistema de agarre de molde mediante placas magnéticas.*

2.4.3 PROCESO DE MOLDEADO

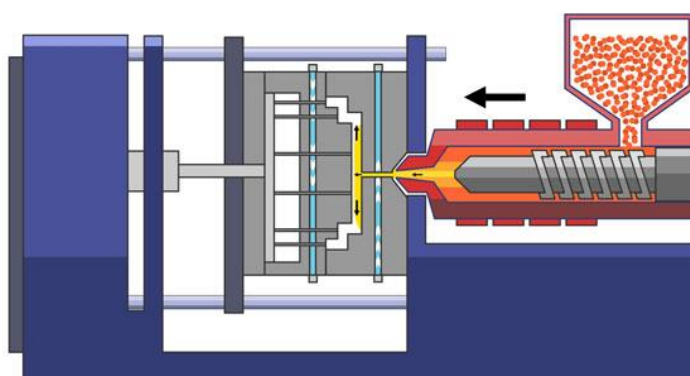
En un proceso de moldeo de inyección común se darán las siguientes etapas:

- Primera etapa: La máquina de inyección se encarga de cerrar el molde, para ello, se empezará a cerrarlo con una alta velocidad hasta que las matrices estén cercanas unas de otras. entonces se terminará de cerrar el molde a baja velocidad y por último se aplicará la presión necesaria para evitar fugas y/o aperturas del molde en el proceso de inyección y enfriamiento.



5. Figura. Cierre del molde.

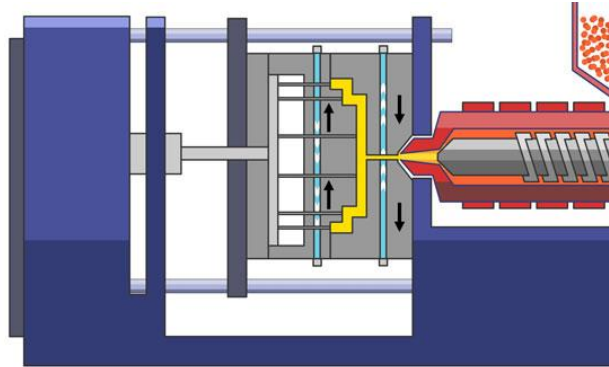
- Segunda etapa: Una vez se haya cerrado el molde y se haya ejercido la presión necesaria se procederá a inyectar el material fundido. El aire atrapado en el interior de la cavidad escapará por la línea de partición, expulsores, machos etc.



6. Figura. Inyección del material fundido.

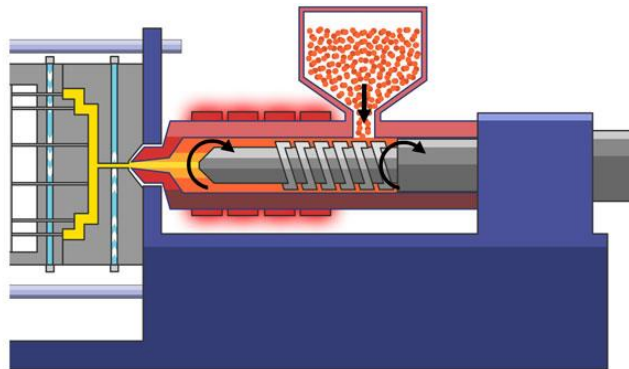
- Tercera etapa: Una vez finalizada la inyección se procede a refrigerar la pieza por un tiempo limitado. El tiempo de refrigeración estará definido principalmente por el grosor de la pieza y el material inyectado. El husillo

seguirá ejerciendo una presión para contrarrestar las contracciones dadas debido a la solidificación. La refrigeración es una etapa crucial con gran impacto en la calidad de la pieza.



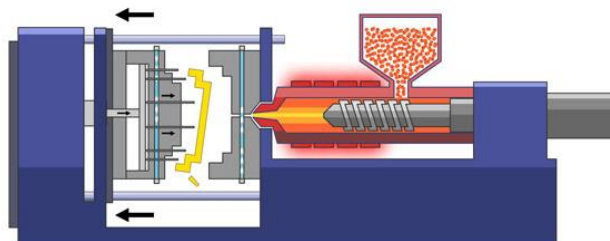
7. Figura. Refrigeración de la cavidad.

- Cuarta etapa: Una vez la pieza se ha solidificado parcialmente y las contracciones dejan de tener gran impacto, el husillo rotará volviendo a la posición de inicio y empujando así los granos de resina solidificados a la cámara de fundición.



8. Figura. Fundición de resina.

- Quinta etapa: Una vez la pieza se ha solidificado, se puede considerar solidificada la pieza cuando obtiene la rigidez suficiente para no deformarse al extraerla, se abre el molde y mediante el sistema de expulsión se extrae la pieza.



9. Figura. expulsión.

- Etapa final: En esta etapa se procederá a separar la pieza del sistema de canales y pasará a recibir los procesos necesarios (mecanizado, pintura, cromado etc.) en caso de necesitarlos. Una vez finalizados dichos procesos, se dará por finalizada la pieza y pasará a ser embalada y empaquetada. Es una etapa ajena a la máquina de inyección.

2.4.4 SISTEMAS EN UN MOLDE DE INYECCIÓN

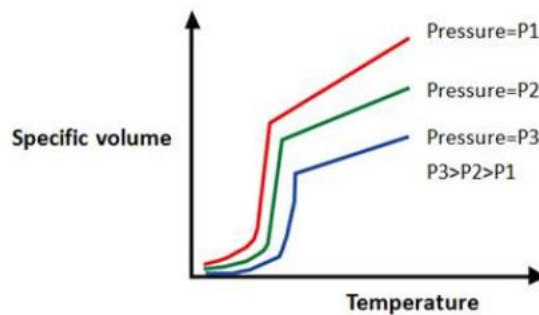
Un molde de inyección consta de cuatro sistemas principales:

- Sistema de inyección: El objetivo del sistema de inyección es fundir homogéneamente el material e inyectarlo en la cavidad manteniendo una presión específica.
- Sistema de atemperamiento: El sistema de atemperamiento tratará de mantener una temperatura estable durante la solidificación de la pieza para obtener buenos resultados en la pieza. Para ello se hará uso de un sistema de refrigeración/calefacción.
- Sistema de cierre: El sistema de cierre será el encargado de abrir y cerrar el molde. Debe mantener la parte móvil y la parte fija unidas cuando se da el proceso de inyección y solidificación; por lo tanto, deberá hacer frente a la presión generada al inyectar el material y a la presión ejercida mientras la pieza se solidifica. Una vez solidificada la pieza se abrirán los platos permitiendo la extracción de la pieza.
- Sistema de extracción: Por último, el sistema de extracción será el encargado de retirar las piezas solidificadas del molde. Dicho sistema puede ser realizado por un operario o bien un sistema automatizado.

2.4.5 DIAGRAMA TERMODINÁMICO

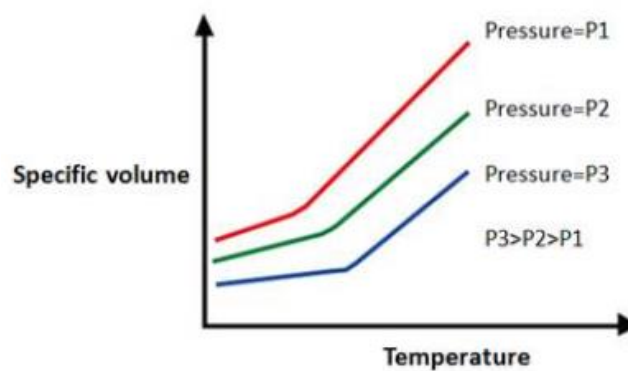
En el moldeo de inyección se dan varios estados termodinámicos en el material inyectado. Los gránulos entran a la tolva a temperatura y presión atmosférica en estado sólido, siendo fundidos para ser inyectados a presión en la cavidad. Una vez inyectado se mantiene una presión estable mientras el material fundido cede calor al exterior perdiendo así temperatura y llegando a solidificar para finalmente ser expulsado del molde.

El diagrama PVT relaciona el volumen específico con la temperatura y la presión. El volumen específico de polímeros cristalinos y semi-cristalinos tiende a aumentar cuando se dan subidas de temperatura a presión constante. Por otro lado, cuando la presión aumenta con temperatura constante, el volumen específico tenderá a disminuir.



1. Diagrama. Relación PVT para polímeros cristalinos y semi-cristalinos.

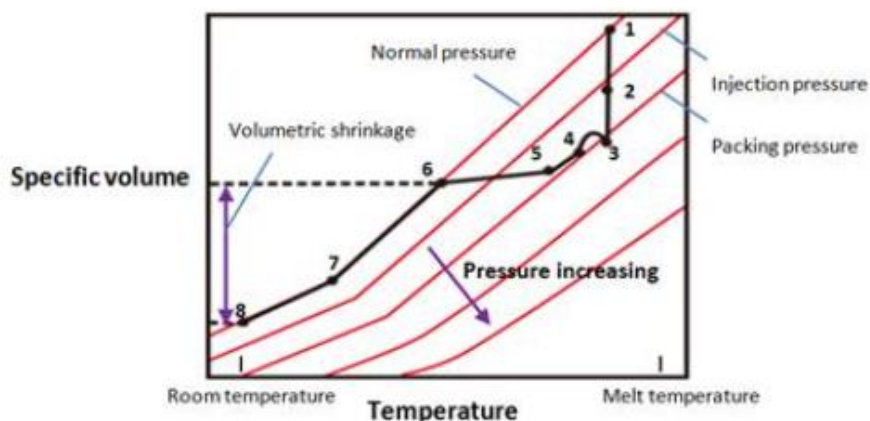
Por otro lado, en los polímeros no cristalinos el volumen específico tiende a aumentar con subidas de temperatura a presión constante, y a disminuir con subidas de presión a temperatura constante. A pesar de comportarse como los polímeros cristalinos el diagrama PVT será diferente.



2. Diagrama. Relación PVT para polímeros no cristalinos.

Si se comparan las contracciones dadas en polímeros cristalinos y no cristalinos, se puede observar como los cristalinos tienden a sufrir contracciones mayores.

Si se analiza el diagrama PVT de un proceso de inyección con polímeros no cristalinos, se obtiene el siguiente resultado.



3. Diagrama. Relación PVT para un proceso de inyección.

El proceso constará de 8 puntos y etapas diferentes.

- Punto 1: El polímero comienza a llenar la cavidad
- Etapas 1-2: Estado de llenado de la cavidad, la presión en la cavidad comienza a aumentar gradualmente. Etapa isoterma.
- Punto 2: Se completa el llenado de la cavidad y se aplica una presión de mantenimiento/contrapresión para hacer frente a contracciones.
- Etapas 2-3: Aumenta la presión de la cavidad hasta alcanzar la presión de mantenimiento/contrapresión establecida. Etapa isoterma.
- Punto 3: La cavidad alcanza la presión máxima.
- Etapas 3-4: Estado de empaque. Cierta material fundido fluye de la cavidad a la boquilla dando lugar a una pequeña caída de presión.
- Punto 4: Comienza el estado de mantenimiento.
- Etapas 4-5: La presión cae debido al enfriamiento, se crea una capa solidificada que avanza desde las paredes de las cavidades hacia el interior.
- Punto 5: La entrada de ataque solidifica finalizando el estado de mantenimiento.
- Etapas 5-6: El material continúa enfriando y contrayéndose. La presión cae gradualmente.
- Punto 6: Se alcanza la presión atmosférica. El volumen de la cavidad y el material es el mismo, dando comienzo a contracciones.
- Etapas 6-7: Etapa de enfriamiento isobárica, el material continúa contrayéndose.
- Punto 7: Las piezas son extraídas del molde.
- Etapas 7-8: Enfriamiento isobárico fuera del molde.
- Punto 8: La pieza alcanza temperatura ambiente.

La diferencia de volumen específico entre el punto 6 y 8 representa el volumen de contracción.

2.4.6 INTERCAMBIADOR DE CALOR

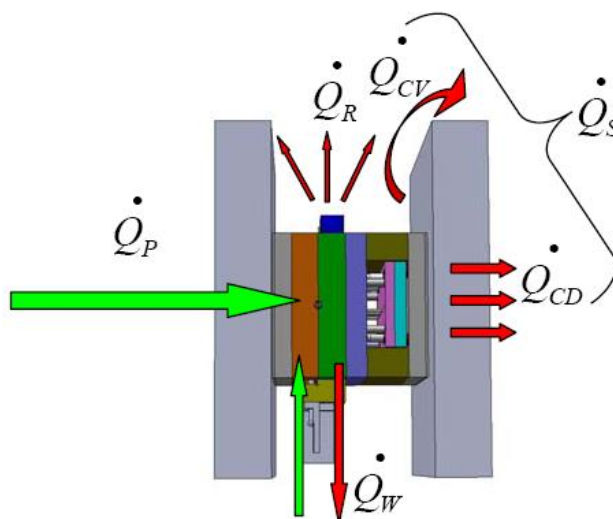
Uno de los aspectos principales en un molde de inyección es la transmisión de calor que se genera. En un molde de inyección hay diferentes fuentes de calor, y, por tanto, se dan varios flujos.

Si se analiza el molde como un sistema de intercambio de calor se obtienen los siguientes flujos de calor:

- 1) Flujo de calor transmitido del material fundido al molde (\dot{Q}_P).
- 2) Flujo de calor extraído por el sistema de refrigeración (\dot{Q}_W).
- 3) Flujo de calor extraído por el aire mediante convección (\dot{Q}_{CV}).
- 4) Flujo de calor transmitido entre los platos del molde por conducción (\dot{Q}_{CD}).
- 5) Flujo de calor transmitido por radiación (\dot{Q}_R).
- 6) Flujo de calor generado por cámaras calientes, en caso de usarlas (\dot{Q}_H).

Sumando todos los flujos de calor comentados se obtiene un equilibrio.

$$\dot{Q}_P + \dot{Q}_W + \dot{Q}_{CV} + \dot{Q}_{CD} + \dot{Q}_R + \dot{Q}_H = 0$$



10. Figura. Flujos de calor en un molde de inyección.

Las flechas verdes representan las entradas de flujo de calor al sistema, y las flechas rojas las salidas de flujo de calor del sistema. \dot{Q}_S será el calor transferido por parte de la conducción, convección y radiación al ambiente.

2.4.7 VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE INYECCIÓN

Existen cientos de variables influyentes en un molde de inyección. En este apartado se tratarán las variables con mayor impacto. Son variables dependientes unas de otras, por lo que no es sencillo controlarlas completamente.

Estas variables se pueden dividir en tres grandes grupos:

- Variables definidas por el material a inyectar (Viscosidad, fluidez...).
- Variables del proceso (Velocidades, presiones, temperaturas, tiempos...).
- Variables de máquinas y moldes (Fuerza de cierre, capacidad de inyección...).

2.4.7.1 TEMPERATURA DE INYECCIÓN

La temperatura de inyección indica la temperatura a la que se calienta el material antes de ser inyectado. De este parámetro depende principalmente la viscosidad. En los materiales termoplásticos la viscosidad se mantiene constante si la temperatura no varía, pero en el caso de los termoestables, también dependerá del tiempo.

La temperatura de inyección dependerá de los calefactores y de la velocidad del husillo, velocidad de inyección y contrapresión, ya que estos también generan calor debido a la fricción. Por lo tanto, será necesario coordinar todas estas variables si se quiere mantener una temperatura constante.

La temperatura no podrá sobrepasar el límite superior en el que empieza a descomponerse ni ser demasiado baja, ya que se extenderían demasiado los ciclos.

Es habitual controlar, mediante termopares, la temperatura en varios puntos del camino que recorre el material, para así poder mantener en el rango establecido.

2.4.7.2 VISCOSIDAD

La viscosidad es una de las propiedades intrínsecas del material, y representa la dificultad para fluir. La viscosidad depende principalmente de la temperatura y del gradiente de velocidad, teniendo gran impacto en el llenado.

2.4.7.3 TEMPERATURA DEL MOLDE

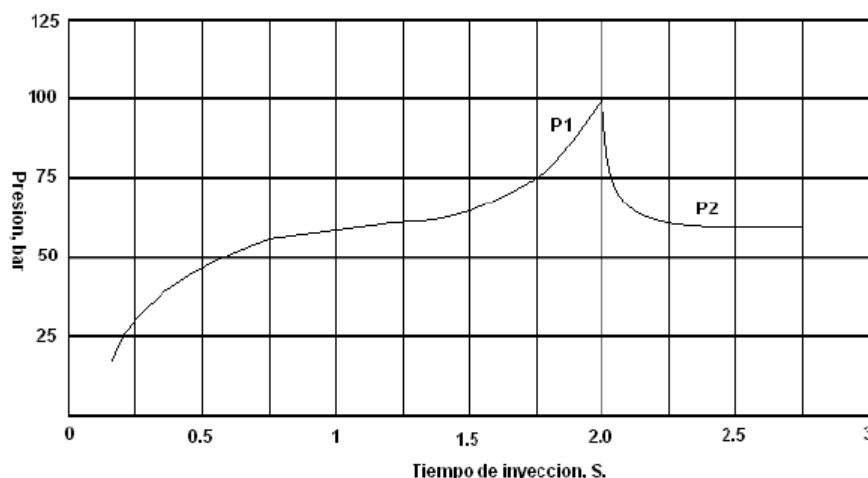
La temperatura del molde representa la temperatura en la superficie de las cavidades. Debe ser lo suficientemente baja para que el material fundido pierda el calor necesario para solidificar. El tiempo de solidificación tendrá un gran impacto en las propiedades de las piezas finales.

2.4.7.4 PRESION DE INYECCIÓN

Es la presión aplicada por el husillo al iniciar el proceso de inyección. Gracias a esta presión el material fundido será capaz de superar las resistencias generadas por las reducciones de sección, la longitud de los canales y cavidad y la oposición ejercida por el material que progresivamente va solidificando.

2.4.7.5 CONTRAPRESIÓN

También conocida como presión secundaria o presión de mantenimiento, es la presión que se ejerce una vez se ha llenado las cavidades. Mediante la contrapresión se completa el llenado. El material solidifica progresivamente, debido a la solidificación se darán contracciones, disminuyendo así el volumen de la pieza. Para hacer frente a las contracciones se sigue inyectando el material necesario.



4. Diagrama. Diagrama de la presión ejercida.

En el diagrama mostrado en la 19. Imagen se puede observar cómo se aplica inicialmente una presión P1, la cual corresponde a la presión de inyección y después se mantiene una presión P2, la cual corresponde a la contrapresión.

2.4.7.6 VELOCIDAD ANGULAR DEL HUSILLO

La velocidad angular del husillo determina la capacidad de plastificación de la máquina. Además, también tiene gran impacto en la temperatura y homogeneidad del material ya que al girar genera calor debido a la fricción.

2.4.7.7 TIEMPO DE INYECCIÓN

El tiempo de inyección hace referencia al tiempo necesario para que el husillo empuje el material dentro de las cavidades. Depende principalmente de la viscosidad, complejidad del molde y presión de inyección.

2.4.7.8 TIEMPO DE MANTENIMIENTO

Hace referencia al tiempo necesario desde que se aplica la contrapresión hasta que la entrada a la cavidad solidifica y se deja de ejercer la contrapresión. Una vez la entrada a la cavidad ha solidificado no hay necesidad de mantener la contrapresión y la pieza continúa enfriándose progresivamente.

2.4.7.9 TIEMPO DE ENFRIAMIENTO

El tiempo de enfriamiento hace referencia al tiempo necesario desde que la entrada a la cavidad solidifica hasta que la pieza pueda ser expulsada. Es un parámetro con un gran impacto en la calidad de la pieza y en el tiempo de moldeo. Se considera que la pieza puede ser expulsada cuando tiene rigidez suficiente para no deformarse en el proceso de extracción.

Este parámetro depende en gran parte de la capacidad de extracción de calor, tanto por el molde como por el sistema de refrigeración.

2.4.7.10 TIEMPO DE CICLO

El tiempo de ciclo refleja el tiempo necesario para realizar un ciclo completo. Es un parámetro importante, ya que refleja el tiempo necesario para crear una pieza por cavidad.

El tiempo de ciclo está compuesto por el tiempo de cierre, inyección, mantenimiento, enfriamiento, apertura y expulsión. El tiempo de enfriamiento será el parámetro con mayor impacto.

Un menor tiempo de ciclo supone una mayor producción, por lo que es recomendable recortar los tiempos de ciclo lo máximo posible, siempre y cuando no se pierda calidad en la pieza.



5. Diagrama. Desglosamiento del tiempo de ciclo.

2.4.8 POLIMEROS

Los polímeros se descubrieron en 1860 en USA, provenientes de la destilación del petróleo. También se pueden obtener a partir de carbón de hulla, gas natural y de otros elementos orgánicos en los que aparezca el carbono. Son materiales orgánicos compuestos principalmente por carbono y en menor medida elementos como el hidrógeno, oxígeno, nitrógeno o azufre. También conocidos como plásticos, son de los materiales más usados hoy en día, y es posible encontrarlos en casi cualquier producto.

Se les conoce también como plásticos ya que esta es una de sus principales características. Tienen una gran capacidad de deformarse y adoptar casi cualquier geometría.

Las características principales de los polímeros son las siguientes:

- Plasticidad: como ya se ha comentado, los plásticos son muy deformables, facilitando la industrialización y por tanto abaratando el precio del producto a fabricar.
- Conductividad eléctrica: Buenos aislantes eléctricos.
- Conductividad térmica: Buenos aislantes térmicos.
- Resistencia química y atmosférica: Son muy resistentes a condiciones atmosféricas y también al ataque de ácidos.
- Resistencia mecánica: tienden a no resistir bien las torsiones y flexiones. En cambio, hay polímeros que resisten muy bien la compresión.
- Materiales poco densos.
- Materiales de gran elasticidad.
- Resistencia al desgaste y dureza: generalmente son fáciles de rayar y desgastar.
- Variedad de color, textura, forma, apariencia: los plásticos ofrecen miles de variaciones diferentes.
- Reciclado: generalmente se pueden reciclar fácilmente.

Los plásticos están formados por macromoléculas, creadas a partir de otras más pequeñas mediante un proceso conocido como polimerización. Los polímeros se pueden clasificar en tres grandes grupos en función de su estructura molecular: termoplásticos, termoestables y elastómeros.

2.4.8.1 TERMOPLÁSTICOS

Gran parte de los polímeros utilizados pertenecen a este grupo. Debido a que sus macromoléculas están dispuestas libremente sin entrelazarse se reblandecen con el calor. Permitiendo calentar, moldear y enfriar indefinidamente.



11. Figura. Disposición macromolecular de los termoplásticos.

Los termoplásticos más conocidos son los siguientes: Nailon, Poliestireno, Polivinilo, Polietileno, Polipropileno y poliéster.

2.4.8.2 TERMOESTABLES

Sus macromoléculas se cruzan formando una red cerrada. Debido a esta disposición se pueden deformar cuando se calientan, pero una vez se enfrían quedarán con esta forma permanentemente. Si se vuelven a calentar para darles forma se degrada destruyendo los enlaces moleculares.



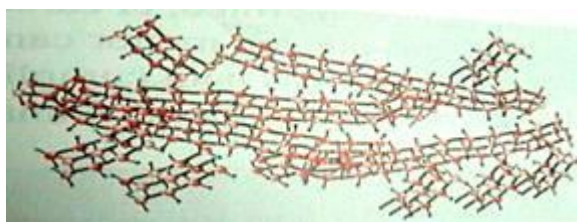
12. Figura. Disposición macromolecular de los termoestables.

La baquelita, resina de poliéster y melanina son los principales plásticos termoestables.

2.4.8.3 ELASTOMEROS

Sus macromoléculas de entrelazan formando una red de malla de pocos enlaces. Debido a dicha disposición son polímeros de gran elasticidad y muy adherentes que recuperan su forma y forma cuando dejan de actuar sobre ellos una fuerza.

El caucho, la silicona y el neopreno son los elastómeros principales.



13. Figura. Disposición macromolecular de los elastómeros.

2.4.9 MATERIAL

Entre los 85.000 tipos de materiales plásticos para inyección las variantes más utilizadas son el polipropileno (PP), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), polietileno de alta densidad (HDPE), poliamida (Nylon) y el policarbonato (PC).

A la hora de realizar la elección habrá que tener en cuenta varios factores como el acabado de la pieza, fuerzas, vibraciones, temperatura de trabajo, coste del material, dificultad de inyectado etc.

La pieza a fabricar es el mango plástico de un cepillo eléctrico, por lo que ésta estará sometido a fuerzas ejercidas por una persona contra la superficie a cepillar y vibraciones generadas por el motor eléctrico. Tendrá que disipar el calor generado por el motor no permitiendo alcanzar altas temperaturas ya que debe permitir el manejo de la máquina. Además, al ser un mango, la pieza deberá ofrecer una buena superficie de adherencia.

Se ha decidido aplicar un recubrimiento en la superficie de agarre de la pieza para mejorar su adherencia. El estudio de la aplicación de dicho recubrimiento no se llevará a cabo en este proyecto, pero habrá que ofrecer una buena calidad superficial para minimizar el mecanizado en la pieza a la hora de aplicar el recubrimiento.

Debido a las características anteriormente comentadas se ha decidido utilizar PA6-GF 30; es decir, el termoplástico semi-cristalino poliamida 6 (también conocida comercialmente como nylon 6), con un 30% de fibras de vidrio, ya que éstas aumentan la resistencia, rigidez y principalmente la resistencia a la fluencia y estabilidad dimensional.

1. *Tabla. Comparativa entre PA 6 y PA 6-GF30.*

Material	Resistencia a tracción	Resistencia a flexión	Resistencia al impacto	Densidad
PA6	58 MPa	65 MPa	111 J/m	1,14 g/cc
PA6-GF30	125 MPa	200 MPa	133 J/m	1,38 g/cc

El nylon 6 tiene características muy parecidas al nylon 66. Ambas ofrecen ciclos de moldeo cortos, bajo peso, buena calidad superficial, resistencia a la suciedad y principalmente propiedades excepcionales a fatiga, impactos y resistencia mecánica, además de una coloración sencilla.

Comparado con el nylon 66 ofrece un coste menor y un mejor envejecimiento. Por el contrario, sus propiedades empiezan a perder fuerza a partir de los 180°C.

Se ha decidido añadir un colorante azul oscuro a la materia prima para así lograr piezas de dicho color. Las proporciones y la mezcla quedan a cargo del proveedor Lanxess.

Las propiedades principales de la materia prima ofrecida, con nombre comercial DURETHAN BKV 30 H, serán las siguientes:

2. Tabla. Propiedades de la materia prima DURETHAN BKV 30 H

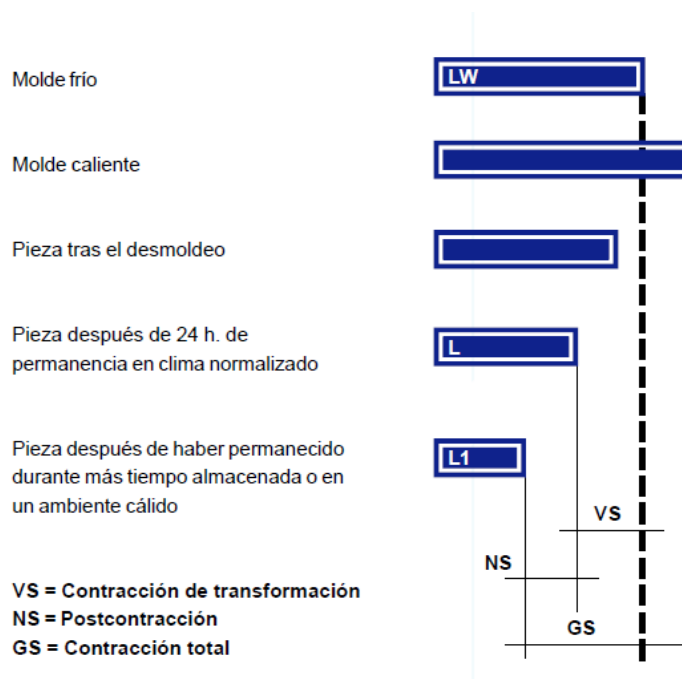
Typical Properties* for Natural Resin	ASTM Test Method (Other)	Units U.S. Conventional (SI Metric)	Durethan® BKV 30 H Resin	
			Dry as Molded	Conditioned
General				
Specific Gravity	D 792		1.36	
Density	D 792	lb/in ³ (g/cm ³)	0.049 (1.36)	
Specific Volume	D 792	in ³ /lb (cm ³ /g)	20.4 (0.74)	
Mold Shrinkage:	(LANXESS)	%	1.08	
Flow Direction		in/in (mm/mm)	0.003	
Cross-Flow Direction		in/in (mm/mm)	0.009	
Water Absorption (0.125-in [3.2-mm] Thickness):				
24-Hour Immersion	D 570	%	1.0	
Equilibrium (73°F [23°C])	(DIN 53495)			
In Air (50% RH)		%	2.1	
In Water		%	7.0	
Mechanical				
Tensile Stress at Break	D 638	lb/in ² (MPa)	26,100 (180)	14,500 (100)
Tensile Elongation at Break	D 638	%	3	6
Tensile Modulus	D 638	lb/in ² (GPa)	1,334,000 (9.2)	812,000 (5.6)
Flexural Strength	D 790	lb/in ² (MPa)	40,600 (280)	24,600 (170)
Flexural Modulus	D 790	lb/in ² (GPa)	1,204,000 (8.3)	725,000 (5.0)
Impact Strength, Notched Izod:	D 256			
0.125-in (3.2-mm) Thickness		ft·lb/in (J/m)	2.2 (120)	2.8 (150)
73°F (23°C)		ft·lb/in (J/m)	1.9 (100)	1.9 (100)
-40°F (-40°C)				
Thermal				
Deflection Temperature, Unannealed:	D 648			
0.157-in (4.0-mm) Thickness				
264-psi (1.82-MPa) Load		°F (°C)	392 (200)	
66-psi (0.46-MPa) Load		°F (°C)	419 (215)	
Relative Temperature Index:	(UL746B)			
0.059-in (1.5-mm) Thickness				
Electrical		°F (°C)	248 (120)	
Mechanical with Impact		°F (°C)	203 (95)	
Mechanical without Impact		°F (°C)	266 (130)	
Flammability**				
UL94 Flame Class:	(UL94)			
0.030-in (0.75-mm) Thickness		Rating		HB
0.059-in (1.5-mm) Thickness		Rating		HB
0.118-in (3.0-mm) Thickness		Rating		HB
Weatherability				
UV Light Exposure and Hot Water	(UL746C)			
Immersion Tests		Rating		f2 ^a
Electrical				
Volume Resistivity (Tinfoil Electrodes)	(IEC 93)	ohm·cm	1.0 E+15	1.0 E+12
Surface Resistivity	(IEC 93)	ohm	1.0 E+14	1.0 E+12
Dielectric Strength:	(IEC 243)			
0.118-in (3.0-mm) Thickness		V/mil (kV/mm)	1,016 (40)	889 (35)
Dielectric Constant (Tinfoil Electrodes): 50 Hz	(IEC 250)		4	15
1 MHz			4	5
Dissipation Factor (Tinfoil Electrodes): 50 Hz	(IEC 250)		0.005	0.50
1 MHz			0.015	0.16
Arc Resistance (Tungsten Electrodes)	D 495	s		76
Comparative Tracking Index	D 3638	V		400

2.4.10 ASPECTOS A TENER EN CUENTA

A la hora de diseñar la pieza habrá que tener en cuenta posibles fallos que se pueden dar en el moldeo para así evitarlos parcial o completamente. Los aspectos clave que habrá que tener en cuenta serán los siguientes:

2.4.10.1 CONTRACCIONES

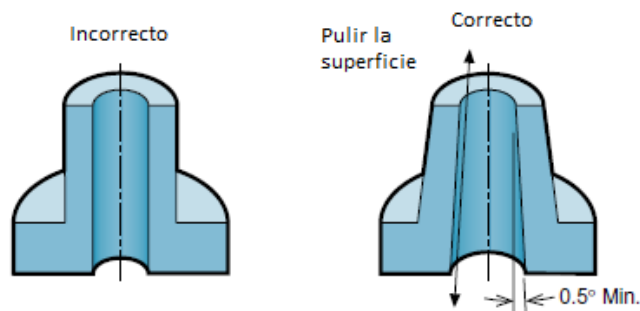
Debido a la solidificación del material se darán contracciones en la pieza, por lo que será necesario sobredimensionar la cavidad para así lograr la pieza con las dimensiones deseadas. Para ello, se utilizan los factores de contracción los cuales son dependientes del material. Multiplicando las dimensiones de la pieza por el factor de contracción se obtendrán las dimensiones de la cavidad. En caso de no aplicar o aplicar un factor erróneo las dimensiones de la pieza no serán las correctas, por lo que es de gran importancia la elección del factor de corrección.



6. Diagrama. Influencia de las contracciones.

2.4.10.2 ÁNGULO DE DESMOLDEO

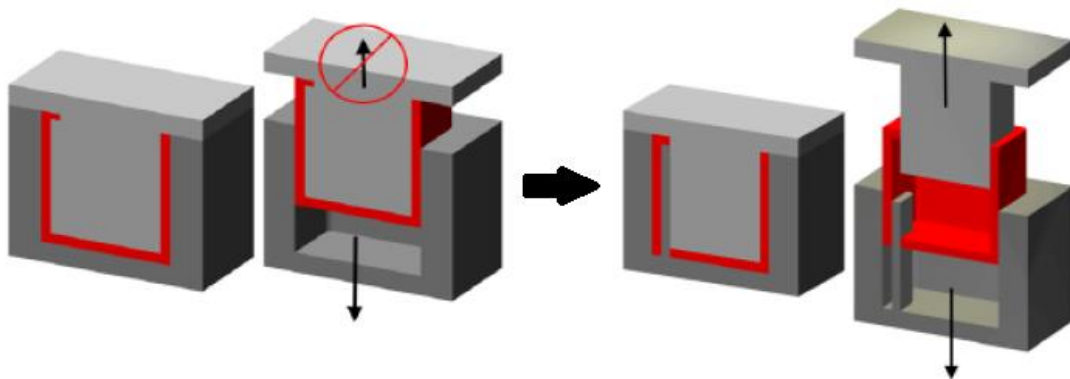
El molde tiende a abrirse en una dirección, haciendo frente a la fricción ejercida por las paredes de la pieza con las de la cavidad. Para disminuir las fuerzas de fricción se recomienda aplicar ángulos de desmoldeo a las paredes que compartan dirección con el eje de desmoldeo.



14. Figura. Ángulo de desmoldeo que facilita la extracción.

2.4.10.3 CONTRASALIDAS

Las contrasalidas son aquellas figuras que impiden la apertura del molde en la dirección de desmoldeo. En estos casos será necesario implantar desplazables para así liberar dichas figuras en otra dirección y poder llevar a cabo el desmoldeo.



15. Figura. Rediseño del molde para evitar contrasalidas en el desmoldeo.

2.4.10.4 ARISTAS VIVAS

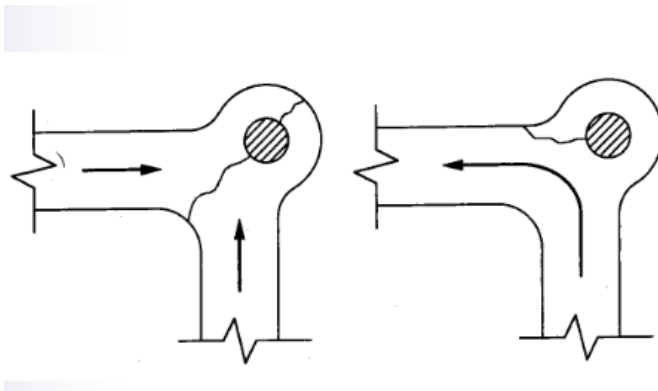
Para una mejor fluidez del material fundido en la cavidad se recomienda evitar aristas vivas y ángulos pequeños, evitando así tensiones internas.

2.4.10.5 ACUMULACIÓN DE TENSIONES

Se recomienda evitar zonas con acumulación de tensiones ya que éstas pueden generar deformaciones.

2.4.10.6 LÍNEAS DE SOLDADURA

Las líneas de soldadura se dan donde se juntan dos flujos. Estas líneas crean puntos débiles en la pieza, por lo que se recomienda evitar líneas que atraviesen gran parte de la pieza. Estas líneas se dan en zonas donde el flujo se divide en dos.



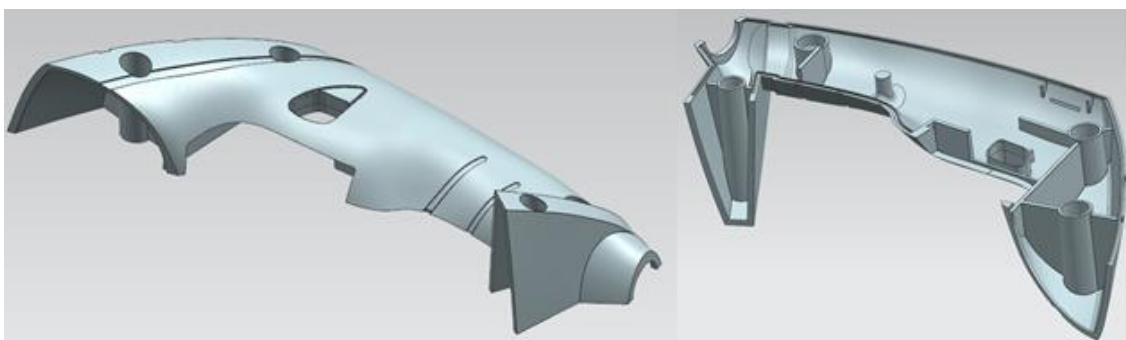
16. Figura. Líneas de soldadura debido a la unión de dos flujos (izquierda) y líneas de soldadura debido a un agujero (derecha).

2.4.10.7 ATRAPAMIENTOS DE AIRE

El aire que está dentro de la cavidad tiende a escapar por la línea de partición, se recomienda evitar figuras que generen atrapamientos de aire. En caso de no ser posible habrá que diseñar fugas en el molde para evitar dichos atrapamientos.

2.5 DATOS DE LA PIEZA

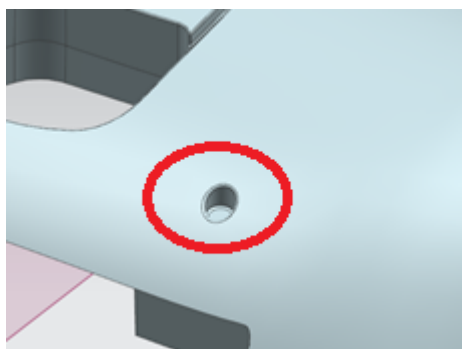
Como ya se ha comentado anteriormente, el mango plástico a fabricar pertenece a un cepillo eléctrico modelo DEXTER DPP-650.



17. Figura. CAD de la pieza. Vista desde fuera (izquierda) y vista interior (derecha).

Para un mejor moldeo se ha decidido realizar las siguientes modificaciones, las cuales deben ser comunicadas y aceptadas por parte del cliente:

- Se han añadido ángulos de desmoldeo.
- Se ha añadido una hendidura para realizar la inyección.



18. Figura. Hendidura creada para que la boquilla haga contacto con un plano horizontal.

El material utilizado para la fabricación de la pieza será una poliamida 6 con un 30% de fibra de vidrio, es decir PA6-GF30. La fibra de vidrio y la termoplástica poliamida 6 son materiales reciclables, por lo que se logra un menor impacto ambiental.

Se ha medido el volumen de la pieza mediante el software Siemens PLM-NX10 obteniendo un valor de 31,36 cm³. Mediante Siemens PLM-NX10 no es posible calcular el peso exacto ya que no está disponible el material.

Partiendo del volumen obtenido y la densidad proporcionada por el proveedor del material se ha calculado el peso, obteniendo una masa total de 42,65 g, sin tener en cuenta recubrimiento alguno.

Las propiedades del material se encuentran clasificadas en la 2. Tabla.

También se calcula el área proyectada de una pieza, logrando un valor de 78,19 cm². A la hora de calcular la fuerza de cierre habrá que tener en cuenta el área proyectada de todas las cavidades y los canales.

2.6 NORMATIVA Y REFERENCIAS

2.6.1 NORMATIVA GENERAL

- UNE 157001: 2014 (Criterios generales para la elaboración de un proyecto).
- DIN 16750: 1991 (Moldes de inyección para materiales plásticos).
- UNE-EN 10020: 2001 (Definición y clasificación de aceros).

2.6.2 NORMATIVA DE SEGURIDAD

- UNE-EN 201:2010 Maquinaria de plásticos y caucho. Máquinas de moldeo por inyección. Requisitos de seguridad.
- Ley de industria 21/1992- Seguridad y calidad industrial.
- Real decreto 1435/1992- Maquinas, componentes de seguridad. Mercado CE
- Ley 31/1995 de 8 de noviembre: Prevención de riesgos laborales.

- Real decreto 39/1997 de 17 de enero: Reglamento de los servicios de prevención.
- Real decreto 485/1997 de 14 de abril: señalización de seguridad en el trabajo.
- Real decreto 486/1997 de 14 de abril: seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real decreto 773/1997 de 30 de mayo: Utilización de equipos de protección individual.
- Real decreto 1215/1997 de 18 de julio: Utilización de equipos de trabajo.
- Real decreto 1644/2008- Normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.
- Norma de UNE-EN ISO 12100:2012: Seguridad de máquinas. Bases para la evaluación de riesgos.

2.6.3 NORMATIVA DE PLANOS

- UNE-EN 1027: 2017 (Plegado de planos).
- UNE 1035: 1995 (Cuadro de rotulación).
- UNE 1039: 1994 (Acotación).
- UNE 1135: 1989 (Lista de elementos).
- UNE-EN ISO 5455: 1996 (Escalas).
- UNE-EN ISO 5457: 2000 (Formatos y presentación).
- ISO 2768-1: 1989 (Tolerancias generales).
- UNE-EN ISO 286-1:2011 (Base de tolerancias, desviaciones y ajustes).
- UNE-EN ISO 6433: 2012 (Referencia de los elementos).

2.6.4 NORMATIVA DE ELEMENTOS

- DIN 906 (Tapones de sellado).
- DIN 1530 (Expulsores).
- DIN 16756 (Casquillos expulsos).
- DIN ISO 10069 (Elastómeros).
- DIN 6325 (pasadores).
- DIN 912 (Tornillo de cabeza Allen).
- DIN 7991 (Tornillo de cabeza avellanada Allen).

2.6.5 BIBLIOGRAFÍA

- Guías proporcionadas por empresas:
 - The Rodon Group, "Plastic injection molding 101".
 - Mitsubishi Engineering-Plastics Corporation, "Injection Molding".
 - LanExx, "Part and molding design".

- Libros:
 - Maribel Beltrán y Antonio Marcilla, “Tecnología de polímeros”, 2012.
 - Vanessa Goodship, “Practical guide to injection moulding”, 2004.
 - Rainer Dangel, “Injection Molds for beginners”, 2016.
 - Hans Gastrow, “Moldes de inyección para plásticos”, 2ª edición española.
- Manuales:
 - Manual de ayuda MoldWizard.
- Páginas web:
 - <http://www.scielo.br/>
 - <https://polymerdatabase.com/>
 - <http://www.mhs-hotrunners.com/>
 - <https://www.roechling.com/es/>
 - <https://knowledge.autodesk.com/>
 - <http://www.moldex3d.com/en/moldex3d-help/>
 - <https://www.milacron.com/>

2.6.6 PROGRAMAS DE CÁLCULO

- Siemens PLM-NX10 (Utilizado para crear el cad de la pieza y diseñar en molde mediante el asistente MoldWizard).
- Autodesk Moldflow Adviser 2017 (Utilizado para simular el llenado del molde, sistema de refrigeración, atrapamientos de aire, rechupes, calidad de la pieza etc.).
- Herramienta de cálculo Milacron (Utilizado para decidir el tipo de colado, esta herramienta está disponible en la página web de la empresa Milacron).
- Herramienta de cálculo CADHOC (Utilizado para el dimensionado de la cámara caliente, esta herramienta está disponible en la página web de la empresa Günther).

2.6.7 REFERENCIAS

2.6.7.1 PLANOS

- CONJUNTO..... M-01-MI-M01
- ZÓCALO FIJO..... M-03-MI-P01
- ZÓCALO MÓVIL..... M-03-MI-P02
- PORTA-CAVIDAD..... M-03-MI-P03
- PORTA-NÚCLEO..... M-01-MI-P04
- CAVIDAD..... M-03-MI-P05
- NÚCLEO..... M-01-MI-P06
- REGLA..... M-04-MI-P07
- PLACA EXPULSORA SUPERIOR..... M-02-MI-P08

- PLACA EXPULSORA INFERIOR..... M-02-MI-P09
- PLACA EXPULSORA FIJA..... M-02-MI-P10
- PLACA AISLANTE..... M-03-MI-P11
- PATA DE APOYO..... M-04-MI-P12
- PLACA PROTECTORA..... M-04-MI-P13
- ANILLA DE CENTRAJE FIJA..... M-04-MI-P14
- ANILLA DE CENTRAJE MÓVIL..... M-04-MI-P15

2.6.7.2 CATÁLOGOS

- <https://www.dme.net/>
- <http://dmscomponents.com/>
- <https://www.meusbarger.com/>
- <https://us.misumi-ec.com/>
- <https://www.hasco.com/>
- <https://www.guenther-hotrunner.com/>

2.7 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

En este apartado se analizarán las alternativas viables en el proyecto para una correcta elección. Partiendo de la geometría obtenida por el cliente y unas condiciones mínimas demandadas se analizarán todas las alternativas que se ajusten al proyecto, analizando ventajas y desventajas, para así decidir una solución.

2.7.1 TIPOS DE MOLDE SEGÚN EL NÚMERO DE CAVIDADES

2.7.1.1 MOLDES DE UNA SOLA CAVIDAD

Los moldes de única cavidad son capaces de realizar una sola pieza por ciclo de inyección. Son recomendables en tiradas cortas o piezas de gran tamaño. Generalmente son moldes de dos placas y no es necesario el uso de canales ya que se puede inyectar directamente del bebedero.

Comparados con los moldes multicavidad son menos productivos.



19. Figura. Molde de cavidad única de una rejilla frontal de Renault.

2.7.1.2 MOLDES MULTICAVIDAD

Son moldes con dos o más cavidades. Pueden ser cavidades idénticas, logrando así una pieza por cavidad en cada ciclado, o pueden ser cavidades con geometrías diferentes logrando así diferentes piezas por ciclado.

Son recomendables para grandes tiradas o piezas pequeñas.



20. Figura. Molde multicavidad para la fabricación de cucharas de plástico.

2.7.2 TIPOS DE MOLDE SEGÚN EL DESMOLDEO

2.7.2.1 MOLDE COMÚN

No es necesario el colocar correderas para extraer la pieza. Núcleo y cavidad se separan en el eje de desmoldeo para la posterior expulsión de la pieza moldeada. La necesidad de correderas depende completamente de la geometría de la pieza. Si esta presenta contrasalidas no será posible el desmoldeo sin uso de desplazables.

2.7.2.2 MOLDE CON MORDAZAS

Cuando la pieza tiene contrasalidas el desmoldeo común no es posible y es necesario incluir correderas en el molde para así liberar dichas contrasalidas y poder llevar a cabo el desmoldeo.



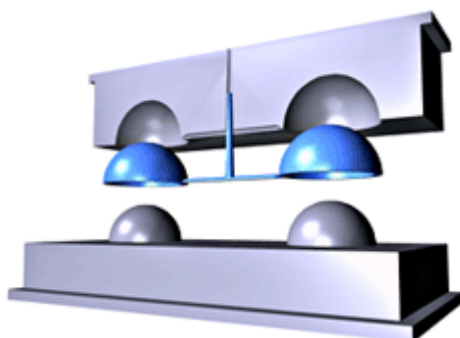
21. Figura. Molde con mordazas.

2.7.3 TIPOS DE MOLDE SEGÚN EL NÚMERO DE PLACAS

2.7.3.1 MOLDE DE DOS PLACAS

Los moldes de dos placas son los más comunes debido a su sencillez y precio además de tener un mejor tiempo de ciclado comparado con moldes de tres o más placas. Los canales en los moldes de dos placas comparten plano con el punto de inyección.

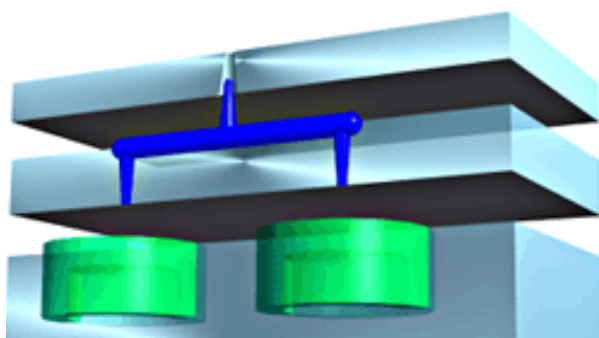
En los moldes multicavidad se recomienda diseñar un molde que equilibre el flujo entre las cavidades dependiendo el volumen de estas. De no ser posible se recomienda pasar a moldes de tres o más placas o el uso de cámaras calientes.



22. Figura. Molde multicavidad de dos placas.

2.7.3.2 MOLDE DE TRES PLACAS

Los moldes de tres placas son útiles cuando se desee utilizar un sistema de canales que no comparta plano con el punto de inyección.



23. Figura. Molde de tres placas.

El sistema de canales se puede colocar en otro plano al punto de inyección en moldes con varias cavidades, cavidades complejas que requieran varios puntos de inyección, el punto de inyección se encuentre en una posición compleja etc.

Al ubicar la estructura de colado en otro plano, es posible expulsar por separado las piezas y el colado, evitando así operaciones secundarias de separación.

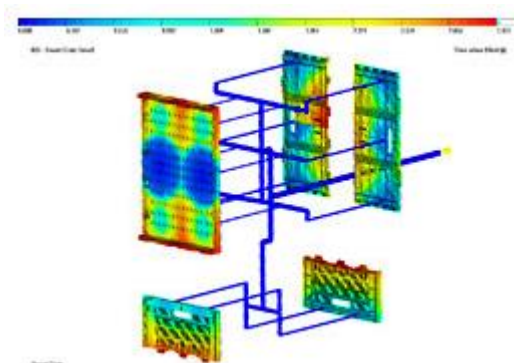
Una alternativa a los moldes de tres placas son los sistemas de cámara caliente. Las diferencias entre los sistemas de cámara caliente y los moldes de tres placas son las siguientes:

3. Tabla. Diferencia entre moldes de tres placas y moldes con cámara caliente.

Ventajas del molde de tres placas	Desventajas del molde de tres placas
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Más baratos que los moldes de cámara caliente. ➤ Menor tendencia a romperse o dar fallos que los moldes de cámara caliente. ➤ Menor probabilidad de degradación con materiales sensibles térmicamente. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mayor tiempo de ciclo. ➤ Mayor desperdicio de material debido a los canales fríos. ➤ Se necesita una mayor precisión de inyección. ➤ Necesidad de moler y reciclar el material sobrante.

2.7.3.3 MOLDE SANDWICH

Los moldes sándwich son moldes complejos de dos o más líneas de partición, ofreciendo una mayor producción por ciclo. Son moldes de cuatro o más placas. Se superponen las cavidades una encima de otra logrando un área proyectada menor que el área proyectada en un molde convencional para el mismo número de cavidades.



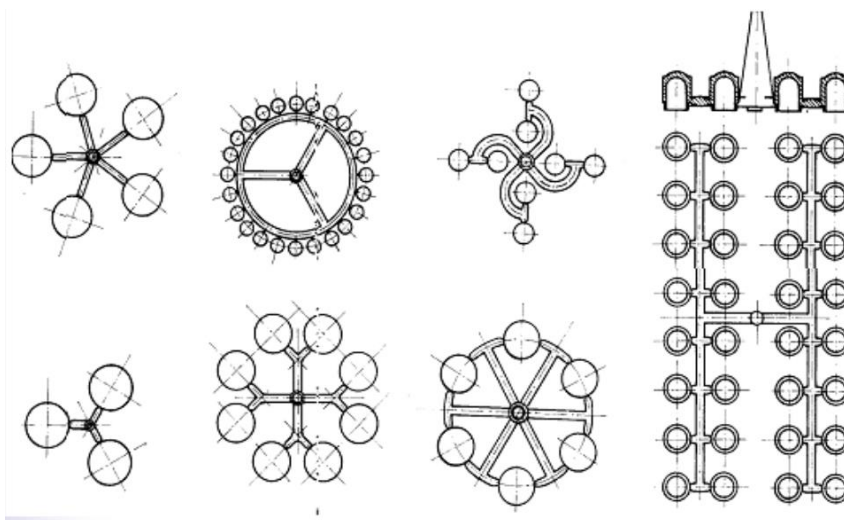
24. Figura. Molde sándwich.

2.7.4 DISTRIBUCIÓN DE LAS CAVIDADES

En un molde de varias cavidades es de gran importancia la distribución que se utiliza para ordenarlas. Por un lado, se busca hacer uso del menor espacio posible logrando así un molde más pequeño y de menor valor. Pero será necesario mantener un mínimo de distancia entre cavidades ya que de lo contrario la presión ejercida contra las paredes podría romperlas y la transmisión de calor en esas zonas no sería correcta. Además, se recomienda que todas las cavidades se llenen al mismo tiempo y por la misma zona, en caso de ser la misma pieza.

La distribución de las cavidades dependerá principalmente de la geometría de la pieza. De la distribución dependerán también los sistemas de refrigeración y expulsión, por lo que habrá que tenerlos en cuenta a la hora de decidir.

Existen todo tipo de distribuciones y habrá que buscar la que mejor se adapte a nuestra pieza.



25. Figura. Diferentes tipos de distribución.

2.7.5 PUNTOS DE INYECCIÓN

Cada cavidad puede tener uno o más puntos de inyección. La cantidad de puntos de inyección depende del volumen de material a inyectar, complejidad de la geometría, tiempo de llenado, confianza de llenado, calidad de la pieza, tipo de entrada...

Tener dos o más puntos de inyección supone generar diferentes flujos dentro de la cavidad. Cuando estos flujos chocan se crean líneas de soldadura creando puntos débiles en la pieza.

Se recomienda usar el mínimo número de puntos de inyección con el cual se obtengan buenos resultados.

Los puntos de inyección se deben colocar estratégicamente. En piezas simétricas se buscará crear un flujo simétrico llenando la pieza equilibradamente. Por otro lado, en piezas no simétricas, no será posible crear flujos totalmente equilibrados, por lo que es recomendable buscar el punto de inyección más equilibrado. Para ello se hará uso de Autodesk Moldflow Adviser 2017.

Como ya se ha comentado anteriormente, el punto de inyección definirá el tipo de molde elegido.

2.7.6 TIPOS DE COLADA

A la hora de decidir si utilizar un colado frío o un colado caliente hay varios factores a tener en cuenta:

- Material de la pieza: Los materiales inyectados tienen gran influencia, ya que algunos son reciclables, reduciendo así considerablemente el coste. Aun así, habrá que moler y reciclar los desechos y por tanto será necesario realizar un gasto en maquinaria y personal.
- Costes por molido y reciclado: En caso de elegir un colado en frío, será necesario moler y reciclar la estructura de canales, por lo que será necesario un gasto energético y la contratación de operarios.
- Volumen de producción: el volumen de producción representa la cantidad total de piezas que se quieren fabricar. Es un factor clave, ya que de ello dependerá el número de ciclos necesarios, y, por tanto, el número de colados.
- Cavidades por ciclo: Cuanto mayor sea el número de cavidades por ciclo menor será el desecho de colado en frío por cavidad.
- Gastos de fabricación: El hecho de la instalación de un colado en frío o caliente supondrá unos gastos fijos y variables.

2.7.6.1 COLADA EN FRÍO

Se denomina colada camino que debe recorrer el material fundido para llegar a la cavidad. La colada en frío denomina que los canales solidificarán y serán expulsados también. En los moldes de dos placas la estructura de la colada y la cavidad se expulsan unidad, y posteriormente será necesario separarlas. Por otro lado, en los moldes de tres placas la estructura de la colada se expulsa separada de la cavidad logrando así las cavidades sin necesidad de separación.

Todo el desecho generado por el colado en frío muele y se recicla. El uso de coladas frías ofrece un bajo coste y mantenimiento y la opción de cambiar de color con facilidad.

Por el contrario, es un sistema con ciclos lentos y existe la posibilidad de residuos plásticos en caso de no poder reciclar o si el desecho es de gran volumen.

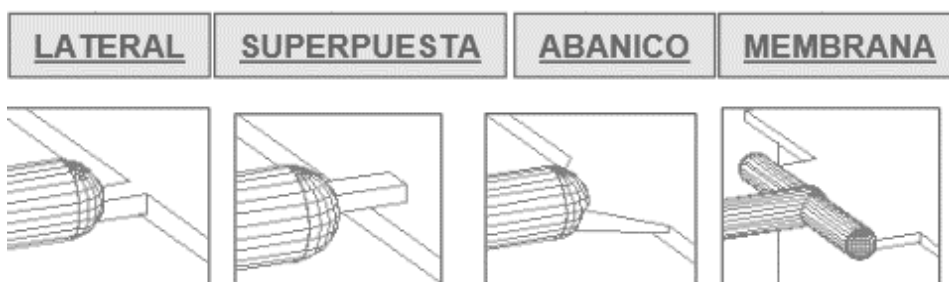


26. Figura. Desechos obtenidos debido a la colada en frío.

2.7.6.1.1 TIPOS DE ATAQUE

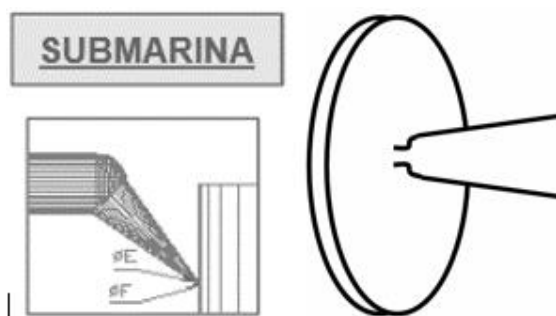
Se define como ataque o entrada a la unión entre la cavidad y el canal. Existe una gran variedad de ataques con diferentes propiedades.

- Por un lado, están los ataques de corte manual. Una vez se expulsan del molde, el sistema de canales queda pegado a las cavidades, siendo necesario separarlos manualmente o por un robot; lo que supone un mayor gasto. Tienden a dejar una marca en la zona de la entrada, por lo que no son recomendables usarlos en zonas visibles. Ofrecen llenados rápidos.



27. Figura. Ejemplos de ataque de corte no automático.

- Por otro lado, están los ataques de corte automático. Tienden a separarse por sí solos una vez se expulsan del molde. Dejan una pequeña marca en la pieza por lo que se pueden utilizar en zonas visibles. Por el contrario, algunas de las entradas como la submarina ofrecen tiempos de llenado lentos. Otra de las variantes es la entrada de aguja, muy utilizada en moldes de tres placas.

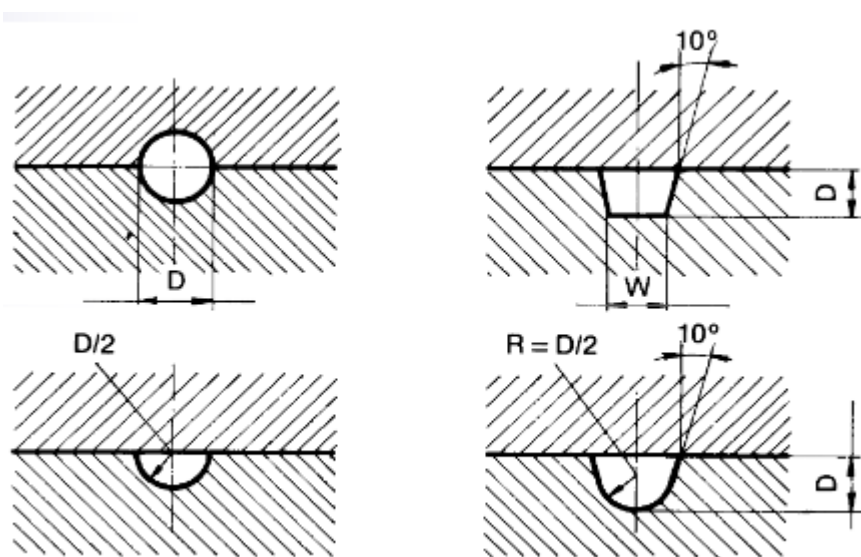


28. Figura. Entrada submarina (izquierda) y entrada de aguja (derecha).

2.7.6.1.2 TIPOS DE CANAL

Para conectar el bebedero y los ataques se hace uso de canales. Se recomienda usar canales circulares ya que ofrecen poca pérdida de calor por rozamiento y buena presión de mantenimiento, por el contrario, suponen un mayor gasto ya que es necesario mecanizarlos en ambas placas.

En caso de tener un presupuesto ajustado se recomienda el uso de canales parabólicos o trapezoidales. Tienen un menor coste ya que solo se mecanizan en una placa, pero tienen pérdidas de calor y presión superiores a los canales circulares.



29. Figura. Perfiles de canal.

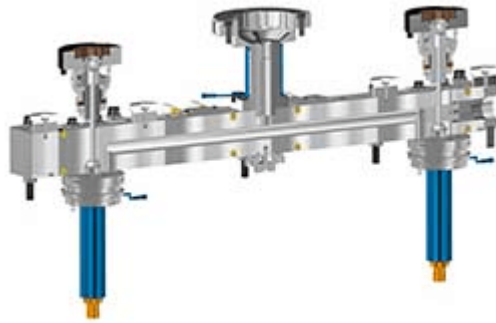
2.7.6.2 COLADA CALIENTE

Este tipo de sistema sustituye la estructura de colada fría por un circuito por el que fluye el material y lo mantiene fundido, inyectándolo en la cavidad mediante una boquilla. El sistema de colada caliente puede ser calentado externa o internamente. El calentado interno ofrece la posibilidad de controlar el flujo de material; en cambio, el calentado externo es recomendable con resinas sensibles térmicamente.

Al mantener la colada caliente el desperdicio es nulo y se ahorra el tener que molerlos y reciclarlos. Además, se consiguen ciclos de menor tiempo ya que el material fundido está listo para ser inyectado en las boquillas de la cámara caliente y no en la máquina de inyección. Es recomendable para altas demandas y piezas grandes. Ofrece un mayor control sobre el adecuado llenado y el corte es automático, reduciendo así gastos.

Por el contrario, Es un sistema caro y más complejo de implementar en los moldes y tiene un mantenimiento alto y de mayor costo, creando así mayores tiempos de inactividad.

Por lo general tiende a haber una boquilla por cavidad, o incluso más de una en cavidades de gran tamaño.



30. Figura. Sistema de cámara caliente.

2.7.6.2.1 TIPOS DE BOQUILLA

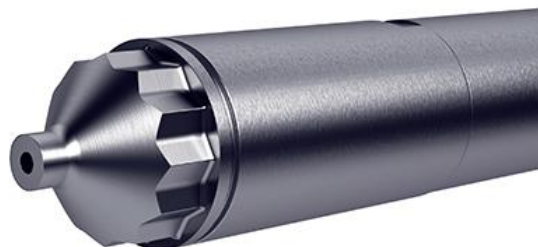
Una de las partes con mayor importancia en la cámara caliente es el tipo de boquilla. Existen diferentes tipos, ofreciendo una diversidad de propiedades. Se analizarán los dos principales tipos.

Boquilla de entrada directa:

La boquilla de entrada directa se abre bajo una presión mínima, dejando así pasar el fluido.

El plástico de la entrada solidifica actuando como tapón. Este tapón permanece en la boquilla durante el proceso de expulsión evitando así el goteo, aunque es habitual que estas boquillas tiendan a gotear. En el siguiente ciclo el tapón es empujado por el fluido hacia dentro de la cavidad donde se derretirá y pasará a ser parte del fluido.

Son boquillas simples, por lo que son más baratas. Además, al no llevar sistemas de cierre internos, transmiten el calor de forma más homogénea. Por el contrario, dejan un pequeño residuo en el punto de inyección.

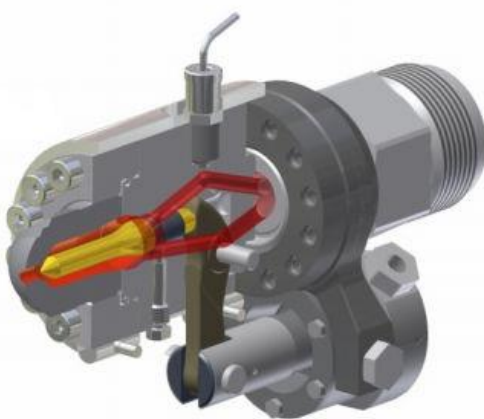


31. Figura. Boquilla de entrada directa.

Boquilla de entrada controlada mediante válvula:

Son boquillas con una válvula en el extremo. Hay dos tipos de boquillas con válvulas, las accionadas mediante sistemas neumáticos o hidráulicos y las accionadas por subidas y bajadas de presión. Gracias a esta válvula es posible abrir y cerrar la boquilla siendo posible dejar pasar el fluido en determinadas ocasiones. Además, gracias que la válvula esté cerrada en el proceso de expulsión, se evitará el goteo.

No dejan marcas en la pieza, por lo que son recomendables para puntos de inyección en zonas visibles. Por otro lado, son boquillas más caras y complejas; y en algunas de ellas es necesario un sistema que las accione.



32. Figura. Boquilla de entrada controlada mediante válvula.

2.7.6.3 COLADA MIXTA

Este tipo de colada combina ambos sistemas, logrando así combinar sus ventajas y desventajas. Se ahorrará parte de la estructura de colado. Son útiles cuando por diversas razones no es posible una estructura total de cámara caliente o cuando se desea mantener parte del sistema de canales.



33. Figura. Sistema de colada mixta.

Por ejemplo, puede ser interesante mantener la estructura parcial de colado en frío cuando se fabrican piezas pequeñas, ya que estos canales pueden facilitar su embalaje y distribución manteniéndolas de forma organizada.



34. Figura. Producto a la venta sin haber retirado la estructura de canales para un mejor manejo en el embalaje de las piezas.

2.7.7 SISTEMA DE EXPULSIÓN

Una vez se ha realizado la inyección y el material ha solidificado lo suficiente se procederá a retirar las piezas del molde. Para ello, el sistema de cierre abrirá el molde y mediante un sistema de expulsión se retirarán las piezas, dejando libre las cavidades para la próxima inyección. Para poder liberar piezas con contrasalidas será necesario hacer uso de correderas o desplazables. La pieza de este proyecto no tiene contrasalida alguna, por lo que no será necesario realizar un análisis de los diferentes tipos de correderas y desplazables.

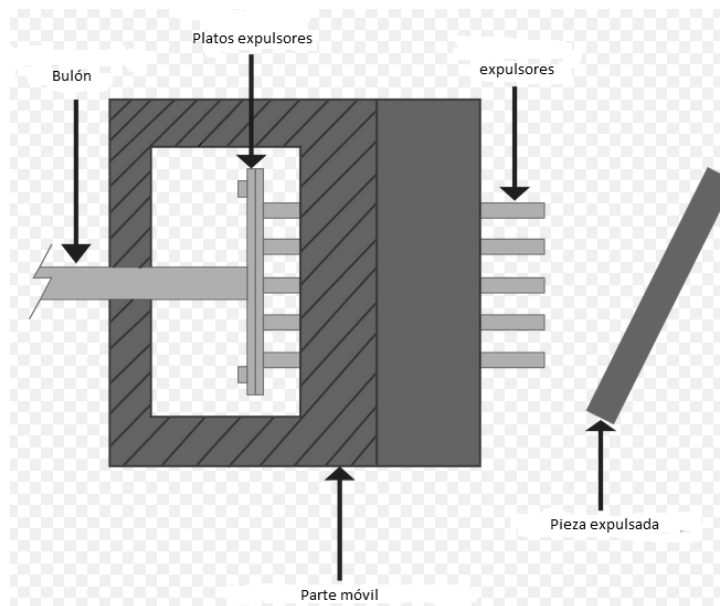
Por otro lado, será necesario analizar los métodos de expulsión viables ya que será necesario expulsar la pieza.

2.7.7.1 MÉTODOS DE EXPULSIÓN

2.7.7.1.1 EXTRACCIÓN MEDIANTE EXPULSORES

La expulsión mediante expulsores consiste en un conjunto de barras o alfileres, conocidas como expulsores, colocadas estratégicamente. Estos expulsores serán accionados por un sistema realizando así un movimiento axial y expulsando las piezas del molde. Generalmente, se realiza en una sola etapa, pero existen casos en los que es necesario expulsar la pieza en más de una etapa mediante el uso de varios platos expulsores.

Se recomienda ubicar los expulsores cerca de las zonas más verticales, es decir, en las zonas que opongan mayor resistencia.



35. Figura. Ejemplo de un sistema de expulsores.

El sistema de expulsores es uno de los métodos más utilizados, siendo también uno de los más baratos. Debido a su pequeña área son fáciles de ubicar en el molde, facilitando así el sistema de refrigeración. Por otro lado, al tener un área pequeña ejercen altas presiones en la pieza a expulsar, causando daños en las zonas de los expulsores. Tienden a dejar una marca circular por lo que no son recomendables usar en zonas visibles. No son recomendables en piezas con tolerancias ajustadas.

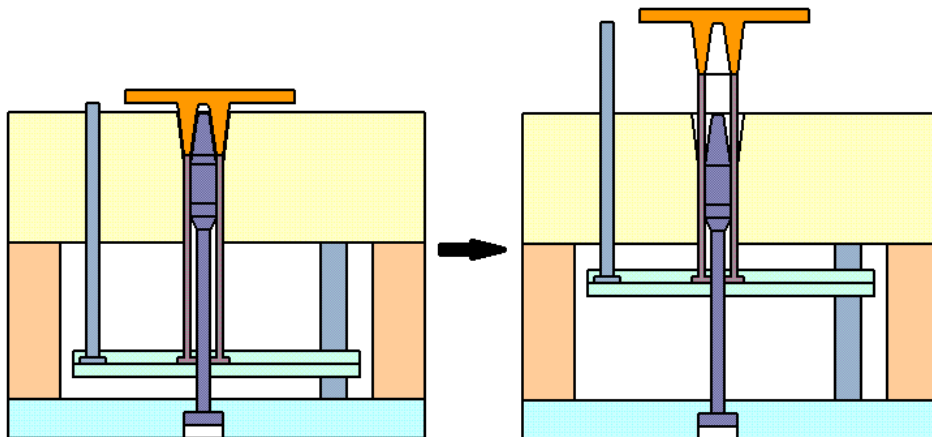
Existe una gran variedad de expulsores, los hay de diferentes áreas y geometrías. Es recomendable utilizar expulsores de grandes áreas, ya que así la presión ejercida en la pieza será menor dejando un rastro menor. Por lo general, tienen la cabeza nitrurada para así evitar un desgaste excesivo.

Por el contrario, el uso de expulsores de grandes áreas dificulta el diseño del molde, ya que no es posible que el sistema de refrigeración del núcleo y los expulsores coincidan.

2.7.7.1.2 EXPULSIÓN MEDIANTE MANGUITOS

Consiste en un manguito o casquillo el cual tiene un orificio a lo largo de su eje y está ubicado en un expulsor fijo que le sirve de guía. Las placas expulsoras accionan estos casquillos expulsando la pieza. Estos manguitos tienen una mayor área, por lo que las presiones aplicadas serán menores. Ofrecen una mejor ventilación de la cavidad ya que tienen una línea de partición mayor.

Son sistemas más complejos de usar ya que ocupan mayor área, pero son recomendables para piezas con tolerancias ajustadas o partes visibles.



36. Figura. Expulsión mediante casquillos.

2.7.7.1.3 EXPULSORES DE VÁLVULA

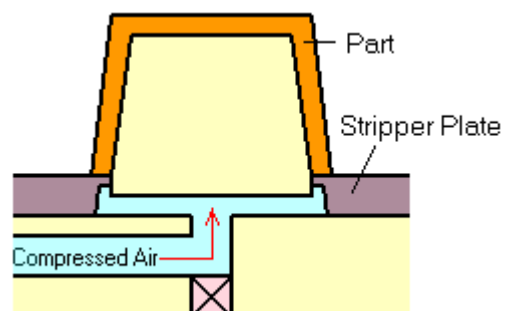
Los expulsores de válvula tienen diversas aplicaciones y pueden emplearse por muchas razones diferentes. Ofrecen grandes áreas proyectadas, por lo que no ejercen grandes presiones. Son útiles en piezas con paredes delgadas ya que son capaces de expulsar la pieza sin crear distorsiones.

2.7.7.1.4 ANILLOS SEPARADORES Y PLACAS EXPULSORAS

Estos componentes ofrecen grandes áreas proyectadas, generalmente ejercen fuerza en todo el perímetro de la pieza logrando expulsarla sin dejar marcas ni crear distorsiones. A pesar de ser muy beneficiosos, tienden a desgastarse rápido y dificultan el diseño del sistema de refrigeración.

2.7.7.1.5 EXPULSIÓN POR AIRE COMPRIMIDO

Ofrecen grandes áreas proyectadas, logrando expulsar las piezas sin daño alguno. Por el contrario, es un método caro ya que necesita un sistema neumático.



37. Figura. Expulsión por aire comprimido.

2.7.7.2 TIPOS DE ACCIONAMIENTO MECÁNICO

2.7.7.2.1 ACCIONAMIENTO POR BULONES

El sistema de accionamiento por bulones es un sistema mecánico que acciona la placa expulsora, empujando así los expulsores y extrayendo la pieza. Un bulón une la máquina de inyección, generalmente de poco tonelaje, y la placa expulsora.

El sistema de expulsión es accionado por la máquina de inyección mecánicamente, por lo que, al tratarse de máquinas de bajo tonelaje, no ofrecen una gran capacidad de extracción. A pesar de no ofrecer gran capacidad de extracción, es un sistema muy utilizado en moldes pequeños ya que es un sistema barato y simple.

2.7.7.2.2 ACCIONAMIENTO POR PISTONES

Para moldes de mayor tonelaje, y por tanto moldes con cavidades mayores, es habitual utilizar un sistema de pistones. El accionamiento por pistones ofrece una mayor capacidad de expulsión que el accionamiento por bulones.

Son sistemas accionados hidráulicamente desde el exterior, y no desde la máquina de inyección. Los pistones irán unidos al zócalo y a la placa expulsora. Al ser accionados se abrirán moviendo la placa expulsora, ya que el zócalo está fijado a la máquina de inyección.

Para piezas de tamaño estándar se recomienda utilizar un mínimo de dos pistones, logrando así un movimiento equilibrado. En caso de necesitar una mayor fuerza de extracción, es posible aumentar el número de pistones, siendo recomendable mantener una cantidad de pistones par.

Por otro lado, son sistemas complejos con su propio circuito hidráulico y un sistema electrónico que les marque los recorridos. Es habitual el uso de microrruptores que marquen los límites del recorrido del pistón. Debido a la necesidad de uso sistemas hidráulico y electrónico es un método de accionamiento caro y complejo, el cual eso sí, ofrece gran fuerza de extracción.

2.7.7.3 RETROCESOS

Los retrocesos, también conocidos como sistemas de retorno, son sistemas de seguridad los cuales se encargan de hacer retroceder el sistema de expulsión en caso de fallar el cierre normal. Son utilizados para evitar daños en el sistema de expulsión o en el molde.

Existe una gran variedad de métodos de retorno: mecánicos, mediante resortes, neumáticos, hidráulicos...

La elección correcta del sistema de retrocesos dependerá principalmente del tamaño del molde. El uso de resortes es uno de los métodos más comunes. Es un sistema barato y de fácil instalación. Por el contrario, si es necesario aplicar grandes fuerzas, será necesario instalar un sistema neumático o hidráulico.



38. Figura. Sistema de retroceso por resorte (izquierda) y sistema de retroceso hidráulico (derecha).

2.7.8 SISTEMA DE ATEMPERAMIENTO

Los sistemas de atemperamiento son sistemas de refrigeración/calefacción con el objetivo de mantener una temperatura estable en toda la pieza. La temperatura final del refrigerante depende completamente del calor transmitido por las piezas y por la velocidad del flujo, por tanto, para mantener una transmisión de calor efectiva los factores principales serán la distribución del sistema y la velocidad del flujo.

Se recomienda el uso de flujos turbulentos ya que estos mejoran capacidad de transferencia de calor. Para obtener un flujo turbulento se ha de lograr un número de Reynolds superior a 4.000, aunque se recomienda el uso de flujos con números de Reynolds cercanos a los 10.000 ya que así se logra un flujo completamente turbulento. El número de Reynolds depende del caudal, diámetro del canal y tipo de refrigerante.

Su distribución depende completamente de la pieza. Además, habrá que tener en cuenta el sistema de expulsión y el de colado, ya que estos no pueden coincidir.

2.7.8.1 TIPO DE DISTRIBUCIÓN

2.7.8.1.1 DISTRIBUCIÓN EN SERIE

La distribución en serie es la más común ya que tienen un diseño sencillo. Si el canal conserva un perfil uniforme será sencillo lograr un flujo turbulento a lo largo del canal.

Se recomienda no superar una diferencia de 5°C en el refrigerante entre la entrada y la salida, y de 3°C en moldes de precisión. En moldes grandes es recomendable utilizar más de un circuito para poder realizar una refrigeración uniforme.

Es recomendable usar distribuciones en serie ya que las distribuciones en paralelo tienden a extraer calor de forma no uniforme. Por el contrario, no se recomienda el uso de circuitos en serie en los siguientes casos:

- Debido a la longitud del circuito en serie la pérdida de presión es demasiado elevada para la capacidad de bombeo disponible.
- Debido al diseño del molde no es posible realizar una refrigeración eficiente con un circuito en serie.

2.7.8.1.2 DISTRIBUCIÓN EN PARALELO

Un sistema paralelo tendrá diferentes velocidades de flujo ya que cada canal tendrá una resistencia diferente. Debido a una diferencia de velocidades la eficiencia de transmisión de calor será diferente a lo largo del sistema. Logrando así un sistema de refrigeración no uniforme.

Generalmente, cavidad y núcleo tienen circuitos diferentes, siendo dependientes de la complejidad del molde.

Se recomienda utilizar distribuciones paralelas cuando:

- La caída de presión es demasiado elevada en un circuito en serie.
- No es posible la refrigeración de una zona del molde con un circuito en serie.

Al diseñar un circuito paralelo cada canal deberá de ser capaz de extraer calor eficientemente. Por lo tanto, se diseñará el diámetro y longitud de cada canal para obtener un caudal regulado.

El diseño de un circuito paralelo es complejo, pero un sistema equilibrado es capaz de extraer calor de forma uniforme. Por otro lado, los circuitos paralelos tienen las siguientes desventajas:

- Al añadir nuevos canales la velocidad del flujo se verá reducido en el resto, reduciendo así la capacidad de extracción de calor, a no ser que se aumente la velocidad en la entrada.
- Si el diseño no es correcto, el sistema no extrae calor de forma uniforme.

2.7.8.2 DEFLECTORES

Se pueden dar ciertas zonas en las que la refrigeración no es eficiente y pueden requerir el uso de deflectores. Mediante el uso de deflectores es posible desviar el flujo hacia zonas más alejadas del sistema de refrigeración.

Un deflector consiste en insertar una placa de metal transversal al canal logrando así que el flujo tenga que rodear la placa metálica.



39. Figura. Deflector.

A pesar de que los deflectores generen pérdidas de presión también tienden a interrumpir el flujo creando así turbulencias y mejorando la transferencia de calor.

2.8 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.

2.8.1 MOLDE MULTICAVIDAD

Debido al moderado volumen del mango se ha decidido diseñar un molde multicavidad para una mayor producción de piezas por ciclo.

2.8.2 MOLDE COMÚN

La pieza a fabricar no tiene contrasalidas por lo que no será necesario el uso de mordazas que permitan el desmoldeo. Por tanto, se diseñará un molde común sin mordazas.

2.8.3 MOLDE DE DOS PLACAS

Previo al diseño del molde, se ha decidido el uso de cámara caliente en los análisis realizados en Autodesk Moldflow Adviser 2017, ya que además de reducir costes para grandes series de producción, también ofrece un mejor punto de inyección en el caso de esta pieza. Por lo tanto, se hará uso de un molde de dos placas junto a la cámara caliente.

2.8.4 DISTRIBUCIÓN

Se ha decidido utilizar una distribución cuadrada girando cada cavidad 90º respecto a la anterior para un molde de tamaño reducido, logrando así un menor costo y una manipulación más sencilla. Será necesario respetar una distancia mínima entre cavidades la cual asegure la resistencia de la sección a las presiones ejercidas por los flujos y que asegure una buena transmisión de calor de cada cavidad, evitando así zonas mal refrigeradas.



40. Figura. Distribución de cavidades.

La distribución elegida ahorra espacio y por tanto material, pero dificulta ciertas distribuciones como el sistema de refrigeración o expulsión. A pesar de todo, es posible lograr distribuciones adecuadas que ofrecen un resultado de calidad, por lo que se prioriza reducir costes en material, transporte, minimizar el volumen etc.

2.8.5 PUNTO DE INYECCIÓN

Para conocer la zona de inyección óptima se realiza un análisis en Autodesk Moldflow Adviser 2017 tratado en el 3.2.4. *Punto de inyección óptimo.*

Se decide utilizar como punto de inyección aquel con mayor idoneidad de entrada. Para ello es necesario el uso de un molde de tres placas o cámara caliente.

2.8.6 COLADA EN CALIENTE

Se ha realizado un estudio sobre costos entre colada en frío y caliente en el apartado 3.1.3. *Análisis de tipo de colado* mediante una herramienta de cálculo proporcionada por Milacron. Los resultados obtenidos recomiendan el uso de colada en caliente para series mayores a 40.000.

2.8.6.1 BOQUILLA DE ENTRADA DIRECTA

Al diseñar un molde con cámara caliente, los canales quedarán fundidos dentro de esta y un componente esencial del sistema será el tipo de entrada. Se ha decidido utilizar una boquilla de entrada directa ya que ofrece una transmisión de calor homogénea y un sistema de inyección no tan complejo. Además, el residuo que tiende a dejar será tapado a posteriori por un recubrimiento, por lo que no tendrá importancia alguna dejar ese pequeño residuo en una zona vista.

2.8.7 CANAL CIRCULAR

Al añadir una cámara caliente se simplifica el mecanizado del canal circular ya que consiste en un único bloque a mecanizar. Por lo que, en este caso, es lógico el uso de un canal circular, ya que ofrece una mejor transición del flujo y un coste de mecanización barato.

2.8.8 SISTEMA DE EXPULSIÓN

2.8.8.1 EXPULSIÓN MEDIANTE MANGUITOS

Se ha decidido utilizar un método de expulsión por manguitos, ya que estos ofrecen mejores tolerancias en la pieza y no dejan rastro. La razón principal que ha decantado esta elección es que mediante el uso de manguitos se facilita la distribución de expulsión y refrigeración, la cual, debido a la distribución de cavidades se había convertido en una tarea dificultosa.

Se hará uso de cuatro manguitos por cavidad, los cuales estarán ubicados en los agujeros destinados a alojar tornillos.

2.8.8.2 ACCIONAMIENTO POR BULONES

Al tratarse de un molde pequeño, la superficie proyectada será de tamaño reducido, por lo que la fuerza de cierre no superará las 200 toneladas. Al utilizar máquinas de inyección de tonelaje menor a las 200 toneladas se recomienda el uso de un sistema de accionamiento por bulones. Por lo que se añadirá un bulón el cual irá conectado a la máquina de inyección y será el encargado de arrastrar el sistema de expulsión.

2.8.9 RETROCESOS

Se hará uso de cuatro retrocesos mecánicos, los cuales serán los encargados de hacer retroceder al sistema de expulsión. Además, se ha añadido un elastómero bajo los retrocesos para reducir el impacto al cerrar el molde, aumentando así la vida útil de los retrocesos y las placas con las que entra en contacto.

2.8.10 SISTEMA DE ATEMPERAMIENTO

2.8.10.1 DISTRIBUCIÓN EN SERIE

Se hará uso de un sistema de atemperamiento con distribución en serie ya que ofrece mejores resultados en la calidad de refrigeración y mayor facilidad para controlar parámetros como el caudal.

Debido a la distribución de las cavidades será un sistema complejo, con necesidad de realizar diferentes taladrados, algunos de ellos en ángulo. A pesar de ello, el coste no aumenta considerablemente por lo que se mantiene la decisión de utilizar un circuito en serie para una mayor calidad de la pieza.

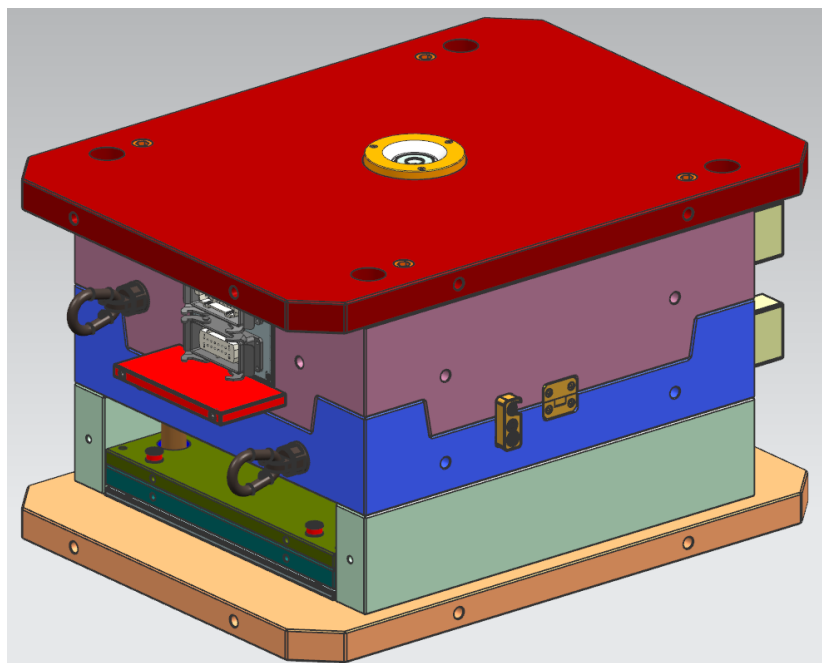
2.8.10.2 DEFLECTORES

Se ha decidido utilizar deflectores para mejorar la refrigeración de caras internas. Además, también se hará uso de tubos de tránsito de calor, ya que los deflectores tradicionales no ofrecen diámetros reducidos e imposibilitan la refrigeración interna de algunas zonas.

2.8.11 ELEMENTOS DEL MOLDE

2.8.11.1 MOLDE

Una vez completado el diseño de todos los elementos del molde y su ensamble, se obtiene el siguiente resultado.



41. Figura. Molde completo.

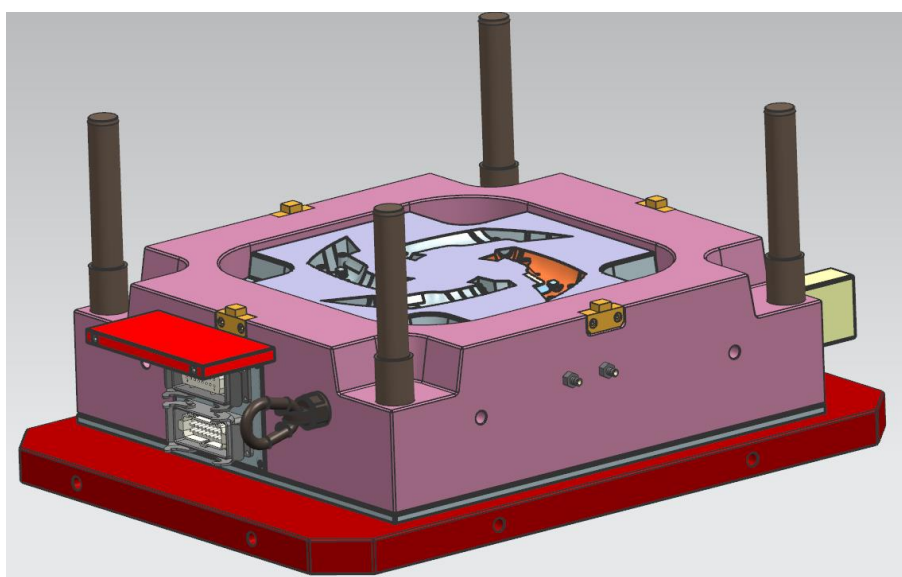
El molde estará formado por un sistema de cámara caliente, un sistema de expulsión de casquillos accionados mediante un bulón y un sistema de refrigeración en serie.

Constará de un total de doce placas, entre ellas núcleo, cavidad. Además, también se han añadido cuatro patas de apoyo y una placa protectora de conexiones.

Para el transporte del molde mediante cáncamos se han mecanizado diversos agujeros roscados en diferentes placas, además, se ha añadido un cierre de seguridad, para evitar la apertura del molde durante su transporte.

Para el guiado de las placas se hará uso de un sistema de columnas guía y casquillos y un sistema de cuatro centradores ubicados en las cuatro caras laterales.

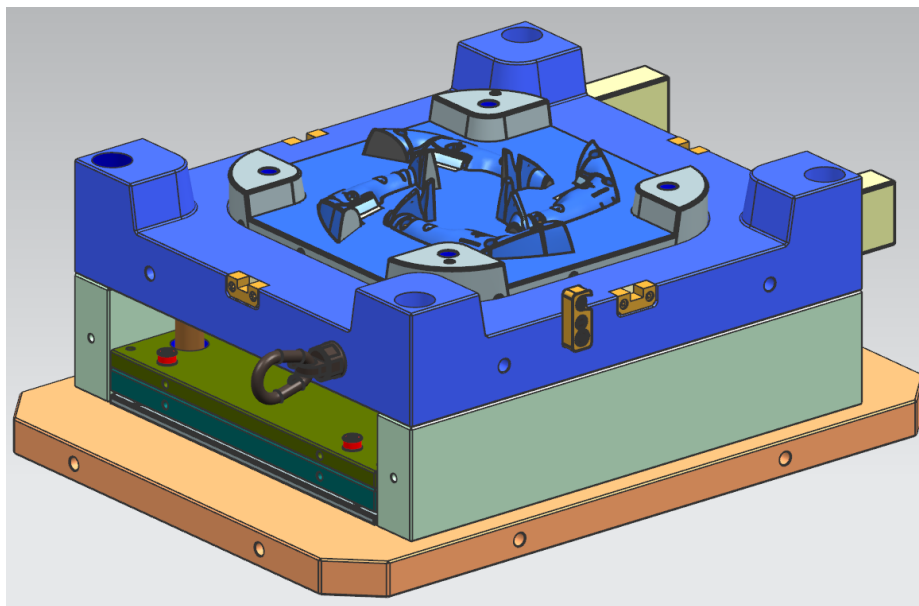
El molde pesará en torno a una tonelada y sus dimensiones serán 796 x 596 x 460 mm. El conjunto del molde queda recogido en el plano M-01-MI-M01.



42. Figura. Parte fija.

La parte fija se unirá al plato de la máquina de inyección en el que está ubicada la boquilla. Este plato permanecerá inmóvil durante toda la operación de inyección mientras la boquilla de la máquina de inyección se abre y se cierra controlando así el flujo del material fundido.

La parte fija constará principalmente del zócalo fijo, porta-cavidad, cavidad, cámara caliente, sistema de refrigeración y columnas de guiado. Estos elementos irán unidos por ajuste y/o tornillos, formando así un bloque rígido.



43. Parte móvil.

La parte móvil se unirá al plato de la máquina de inyección que habilita un movimiento. Este plato se moverá solamente en el eje de desmoldeo, permitiendo así la apertura del molde para la extracción de las piezas. El bulón de las placas expulsoras será accionado por la máquina de inyección.

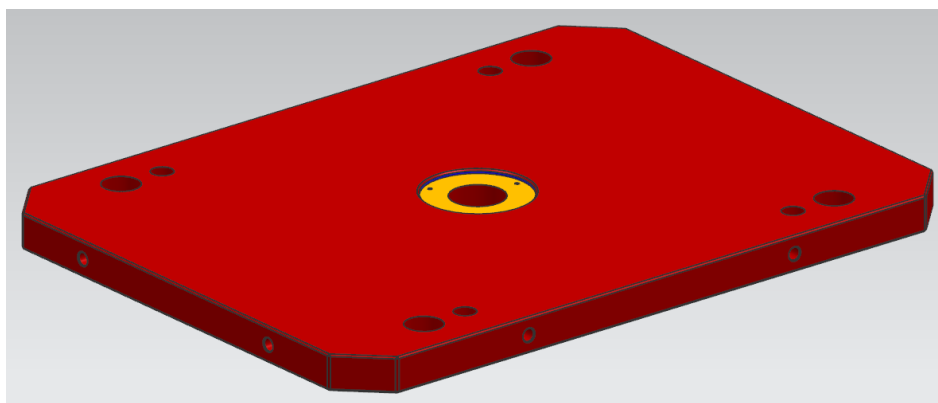
La parte móvil constará principalmente del zócalo móvil, porta-núcleo, núcleo, sistema de expulsión, sistema de refrigeración y casquillos para el guiado. Estos elementos irán unidos por ajuste y/o tornillos formando así un bloque rígido.

2.8.11.2 ZÓCALO FIJO

El zócalo fijo será parte del subconjunto de la cavidad. Mediante este, se realizará la unión de la parte fija a uno de los platos de la máquina de inyección. Llevará alojados el bebedero de la cámara caliente y una anilla de centraje unida mediante tres tornillos de M5 distribuidos a 120°. Se mecanizarán agujeros para el alojamiento de columnas guía y tornillos para la unión de la porta-cavidad.

Se aplicarán chaflanes en todas las aristas vivas para evitar cortes. Además, se añadirán un total de 8 agujeros roscados de M16 en las caras laterales para facilitar el transporte mediante cáncamos, ya su peso es de 143,2 Kg, superando el límite de los 25 kg.

El zócalo será construido partiendo de una placa rectangular de material 1.2842. Tendrá un acabado superficial general de $R_a=6,3\mu m$. Las dimensiones del zócalo fijo quedan representadas en el plano M-03-MI-P01.



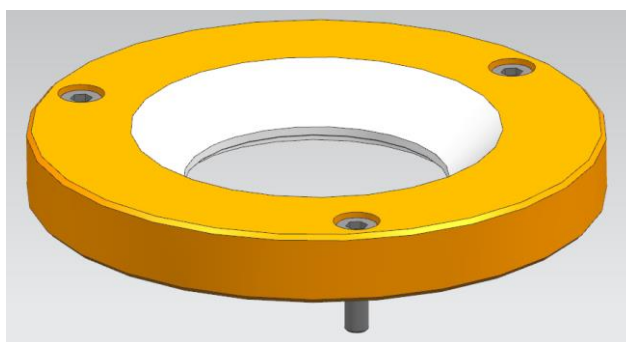
44. Figura. Zócalo fijo.

2.8.11.3 ANILLA DE CENTRAJE FIJA

La anilla de centraje fija irá unida al zócalo fijo mediante tres tornillos a 120° de M5 y un ajuste deslizante para un correcto posicionamiento. Se mecanizará un agujero cónico en está para el correcto contacto entre boquilla y bebedero.

Mediante está anilla se realizará el centrado de la parte fija del molde a uno de los platos de la máquina de inyección.

La anilla de centraje seleccionada pertenece al catálogo HASCO, con referencia K506/120X12 de material 1.1730. Será necesario mecanizar la anilla para el correcto ajuste del bebedero, por lo que el dimensionamiento de esta quedará recogido en el plano M-04-MI-P14. Tendrá un acabado superficial general de $R_a=6,3\mu m$.



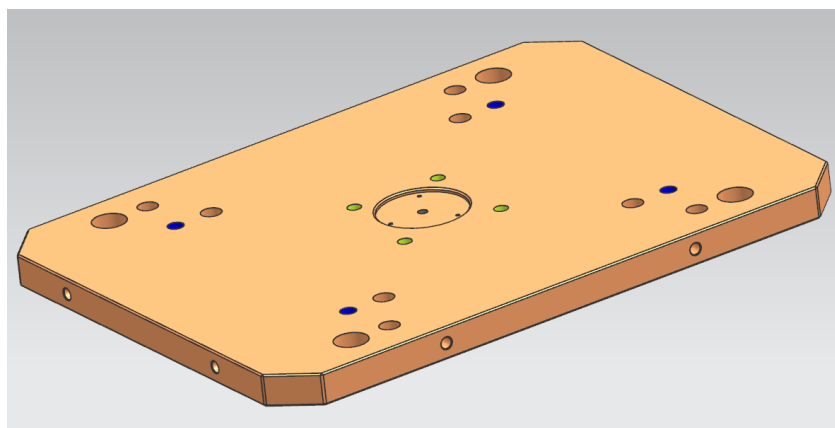
45. Figura. Anilla de centraje fija.

2.8.11.4 ZÓCALO MÓVIL

El zócalo fijo será parte del subconjunto del núcleo. Mediante este, se realizará la unión de la parte móvil a uno de los platos de la máquina de inyección. Llevará alojados una anilla de centraje unida mediante tres tornillos de M5 distribuidos a 120°, además de alojamientos para las columnas guía de las placas expulsoras, casquillos de las columnas guía del subconjunto fijo y tornillos para la unión de sufrideras, placas expulsoras, reglas y el porta-núcleo.

Se aplicarán chaflanes en todas las aristas vivas para evitar cortes. Además, se añadirán un total de 8 agujeros roscados de M16 en las caras laterales para facilitar el transporte mediante cáncamos, ya su peso es de 143 Kg, superando el límite de los 25 kg.

El zócalo será construido partiendo de una placa rectangular de material 1.2842. Tendrá un acabado superficial general de $R_a=6,3\mu m$. Las dimensiones del zócalo móvil quedan representadas en el plano M-03-MI-P02.



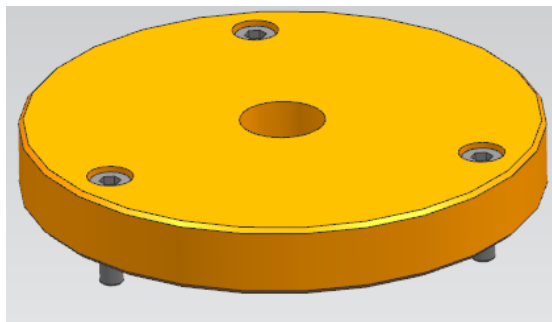
46. Figura. Zócalo móvil.

2.8.11.5 ANILLA DE CENTRAJE MÓVIL

La anilla de centraje móvil irá unida al zócalo móvil mediante tres tornillos a 120° de M5 y un ajuste deslizante para un correcto posicionamiento. Se mecanizará un agujero en el centro, para el paso del bulón a través de esta.

Mediante esta anilla se realizará el centrado de la parte móvil del molde a uno de los platos de la máquina de inyección.

La anilla de centraje seleccionada pertenece al catálogo HASCO, con referencia K506/110X12 de material 1.1730. Será necesario mecanizar la anilla para el correcto ajuste del bebedero, por lo que el dimensionamiento de esta quedará recogido en el plano M-04-MI-P15. Tendrá un acabado superficial general de $R_a=6,3\mu m$.



47. Figura. Anilla de centraje móvil.

2.8.11.6 PORTA-CAVIDAD

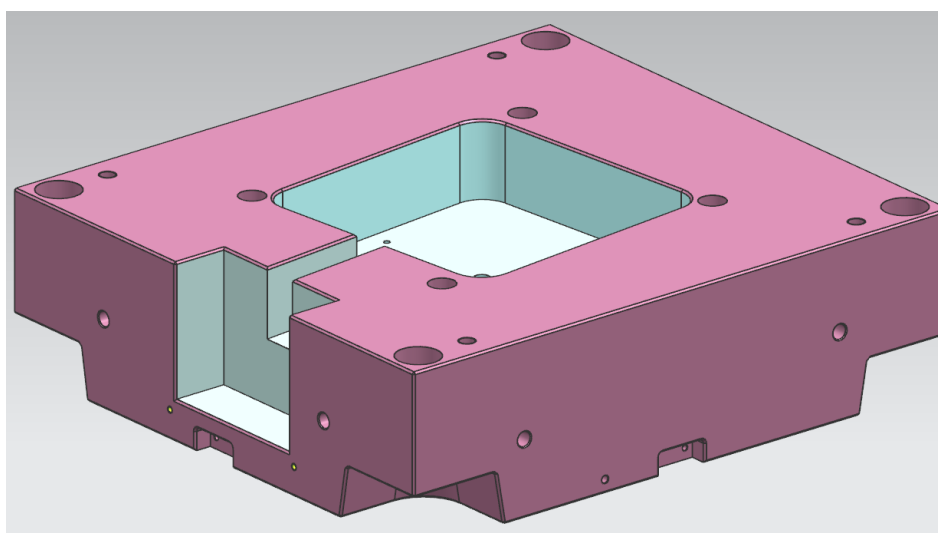
La porta-cavidad será la encargada de alojar la cavidad, además de la cámara caliente. Irá unida a el zócalo fijo mediante cuatro tornillos de M16. La cavidad irá unida a la porta-cavidad mediante un ajuste deslizante y otros cuatro tornillos de M16. Por otro lado, la cámara caliente se apoyará en la porta-cavidad y se ajustará mediante algunos elementos de centraje. Además, la porta-cavidad, alojará agujeros y cajas para las columnas guía, la caja de conexiones y los cuatro centradores.

Tendrá diferentes agujeros roscados para la unión mediante tornillos de la placa de protección de la caja de conexiones, patas de apoyo, centradores y cierre de seguridad. Además, será necesario taladrar los canales de refrigeración y mecanizar un alojamiento para las juntas de estos canales.

Se mecanizarán las cuatro esquinas que entran en contacto con el porta-núcleo mediante cajas con un ángulo de 10° para un mejor encaje entre estos.

Se aplicarán chaflanes en todas las aristas vivas para evitar cortes. Además, se añadirán un total de 8 agujeros roscados de M16 en las caras laterales para facilitar el transporte mediante cáncamos, ya su peso es de 254 Kg, superando el límite de los 25 kg.

La porta-cavidad será construida partiendo de una placa rectangular de material 1.2312. Tendrá un acabado superficial general de $R_a=6,3 \mu m$ y la superficie de partición se mecanizará con un acabado de $R_a=1,6 \mu m$ para el posterior pulido a mano, logrando un acabado superficial de $R_a=0,5 \mu m$. Las dimensiones de la porta-cavidad quedan representadas en el plano M-03-MI-P03.



48. Figura. Porta-cavidad.

2.8.11.7 PORTA-NÚCLEO

El porta-núcleo será el encargado de alojar el núcleo. Estará unido al zócalo móvil mediante cuatro tornillos de M16, además, la unión entre el porta-núcleo y el núcleo se realizará mediante un ajuste deslizante y otros cuatro tornillos de M16.

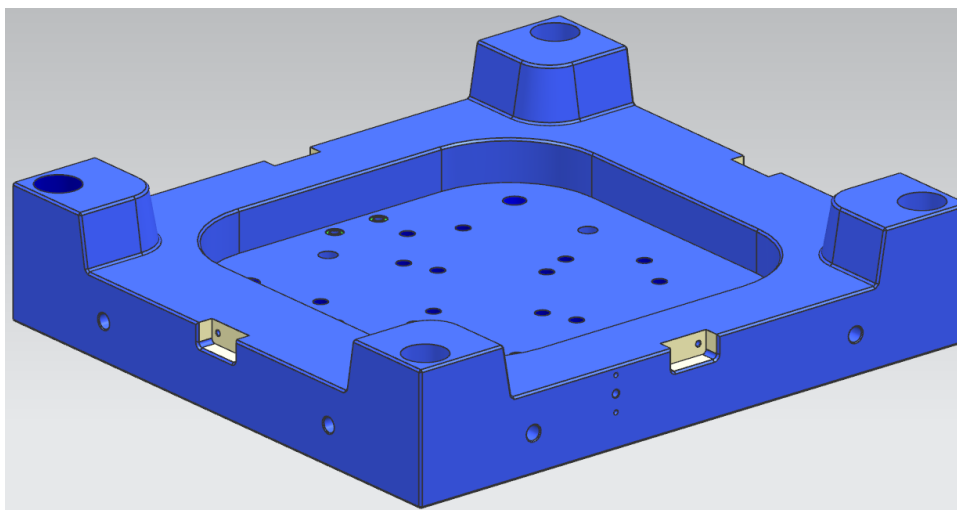
El porta-núcleo alojara agujeros y cajeras para los casquillos de las columnas guía, centradores, columnas guía del sistema de expulsión, casquillos expulsores, sufrideras y retrocesos.

Además, tendrá agujeros roscados para la unión de centradores, patas de apoyo y el cierre de seguridad. Por otro lado, será necesario taladrar los canales de refrigeración y mecanizar un alojamiento para las juntas de estos canales.

Se mecanizarán la placa manteniendo cuatro resaltes con un ángulo de 10° en cada esquina que entra en contacto con la porta-cavidad para un mejor encaje entre estos.

Se aplicarán chaflanes en todas las aristas vivas para evitar cortes. Además, se añadirán un total de 8 agujeros roscados de M16 en las caras laterales para facilitar el transporte mediante cáncamos, ya su peso es de 150,9 Kg, superando el límite de los 25 kg.

El porta-núcleo será construido partiendo de una placa rectangular de material 1.2312. Tendrá un acabado superficial general de $R_a=6,3 \mu m$ y la superficie de partición se mecanizará con un acabado de $R_a=1,6 \mu m$ para el posterior pulido a mano, logrando un acabado superficial de $R_a=0,5 \mu m$. Las dimensiones de la porta-núcleo quedan representadas en el plano M-03-MI-P04.



49. Figura. Porta-núcleo.

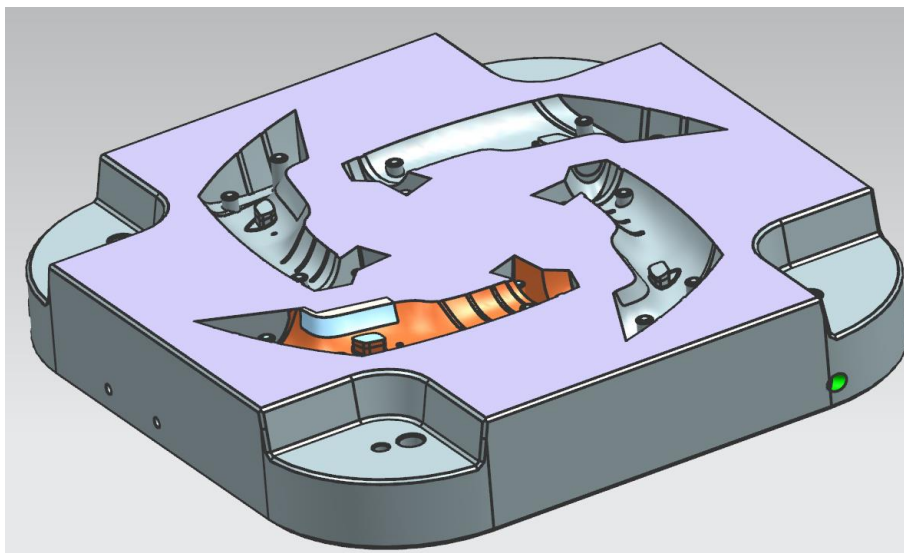
2.8.11.8 CAVIDAD

La cavidad tendrá grabadas las cuatro superficies positivas de la pieza a fabricar. Irá unida a la porta-cavidad mediante un ajuste deslizante y cuatro tornillos M16. Será necesario mecanizar un alojamiento para cada boquilla de la cámara caliente; además de taladrar los canales de refrigeración, alojamientos de los deflectores y mecanizar las respectivas roscas cónicas para los tapones.

Se mecanizarán las cuatro esquinas que entran en contacto con el núcleo mediante cajeras con un ángulo de 10° para un mejor encaje entre estos.

Se aplicarán chaflanes en todas las aristas vivas para evitar cortes. Además, se añadirán un total de dos agujeros roscados de M8 en dos de las esquinas para facilitar el transporte mediante cáncamos, ya su peso es de 73,9 Kg, superando el límite de los 25 kg.

La cavidad será construida partiendo de una placa rectangular de material 1.2738. Tendrá un acabado superficial general de $R_a=6,3 \mu m$ y la superficie de partición se mecanizará con un acabado de $R_a=1,6 \mu m$ para el posterior pulido a mano, logrando un acabado superficial de $R_a=0,5 \mu m$. Será necesario realizar un pulido por separado, logrando una rugosidad media de $0,08 \mu m$ en la superficie de las cuatro cavidades. Las dimensiones de la cavidad quedan representadas en el plano M-03-MI-P04.



50. Figura. Cavidad.

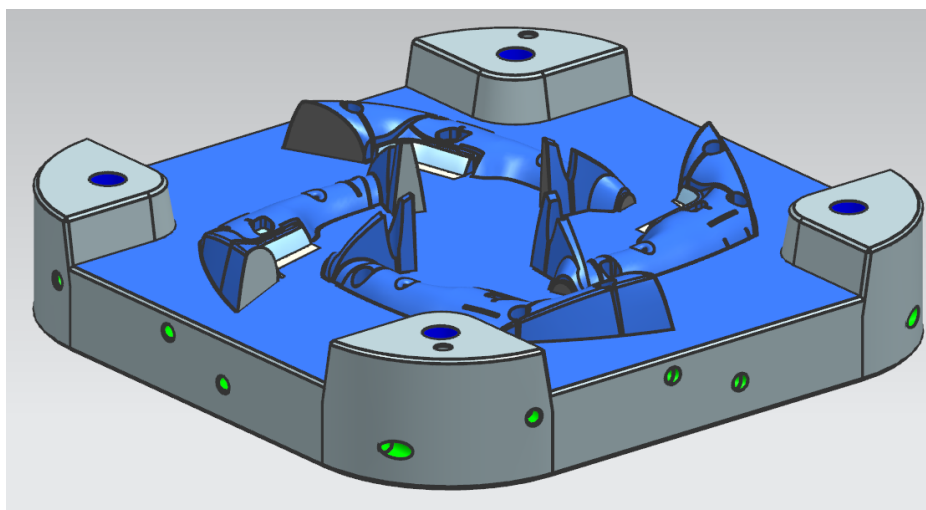
2.8.11.9 NÚCLEO

El núcleo tendrá grabadas las cuatro superficies negativas de la pieza a fabricar. Irá unido a la porta-núcleo mediante un ajuste deslizante y cuatro tornillos M16. Será necesario mecanizar el alojamiento de cada casquillo expulsor y retroceso. Además, será necesario taladrar los canales de refrigeración, algunos de ellos con un ángulo respecto a la superficie de la placa. Por otro lado, se taladrarán los alojamientos de los deflectores y se mecanizarán con roscas cónicas los alojamientos de los tapones.

Se mecanizarán la placa manteniendo cuatro resaltes con un ángulo de 10° en cada esquina que entra en contacto con la cavidad para un mejor encaje entre estos.

Se aplicarán chaflanes en todas las aristas vivas para evitar cortes. Además, se añadirán un total de dos agujeros roscados de M8 en dos de las esquinas para facilitar el transporte mediante cáncamos, ya su peso es de 64,2 Kg, superando el límite de los 25 kg.

El núcleo será construido partiendo de una placa rectangular de material 1.2738. Tendrá un acabado superficial general de $R_a=6,3 \mu m$ y la superficie de partición se mecanizará con un acabado de $R_a=1,6 \mu m$ para el posterior pulido a mano, logrando un acabado superficial de $R_a=0,5 \mu m$. Será necesario realizar un pulido por separado, logrando una rugosidad media de $0,15 \mu m$ en la superficie de los cuatro núcleos. Las dimensiones de la cavidad quedan representadas en el plano M-03-MI-P05.

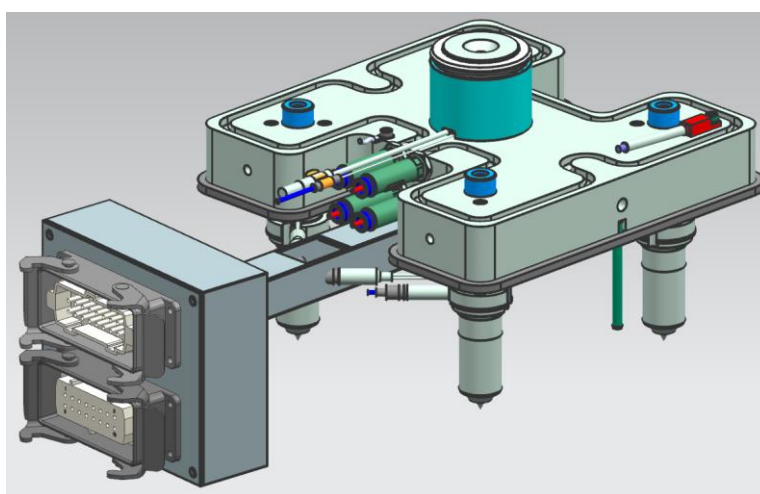


51. Figura. Núcleo.

2.8.11.10 CÁMARA CALIENTE

Para una inyección de colado en caliente se hará uso de la siguiente cámara caliente, dimensionada mediante una herramienta de cálculo de la empresa Günther. Constará de cuatro boquillas calefactadas de entrada directa con una distribución cuadrada, un bebedero calefactado, una toma de tierra y un controlador de temperatura, además de todas las conexiones necesarias para cada calefactor.

Irà ubicada en la porta-cavidad, centrada mediante tres pasadores. Además, tendrá topes tanto arriba como abajo, para mantener un espacio respecto al resto de placas transmitiendo así menos calor al molde. Tendrá un peso cercano a los 7 Kg y su referencia será la siguiente: GÜNTHER HCP4B-10/8/6/6.2-H155.0-155.0 6SHT60H.



52. Figura. Cámara caliente y caja de conexiones.

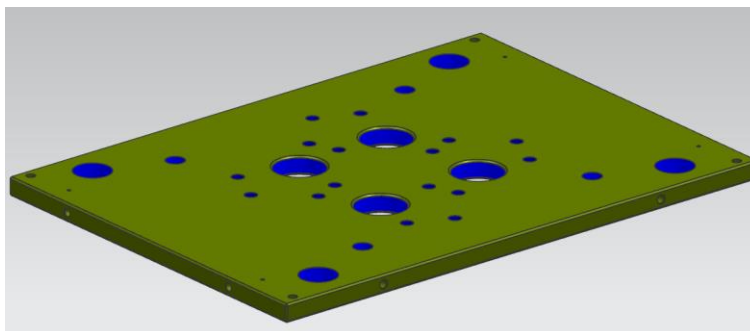
2.8.11.11 PLACA EXPULSORA SUPERIOR

La placa expulsora superior será parte del subconjunto de la parte móvil. La función principal de esta placa será la de inmovilizar los casquillos permitiéndoles simplemente el movimiento junto a la placa y hacer de tope para el bulón. Esta placa irá unida a la placa expulsora inferior mediante cuatro tornillos de M10.

Será necesario mecanizar agujeros para alojar la cabeza de los casquillos expulsores y casquillos guía. Además, también se mecanizarán agujeros permitiendo el paso de las sufrideras y los retrocesos y agujeros roscados para la unión de topes.

Se aplicarán chaflanes en todas las aristas vivas para evitar cortes. Además, se añadirán un total de 8 agujeros roscados de M16 en las caras laterales para facilitar el transporte mediante cáncamos, ya su peso es de 36,9 Kg, superando el límite de los 25 kg.

La placa expulsora superior será construida partiendo de una placa rectangular de material 1.1730. Tendrá un acabado superficial general de $R_a=6,3 \mu m$. Las dimensiones quedan representadas en el plano M-03-MI-P08.



53. Figura. Placa expulsora superior.

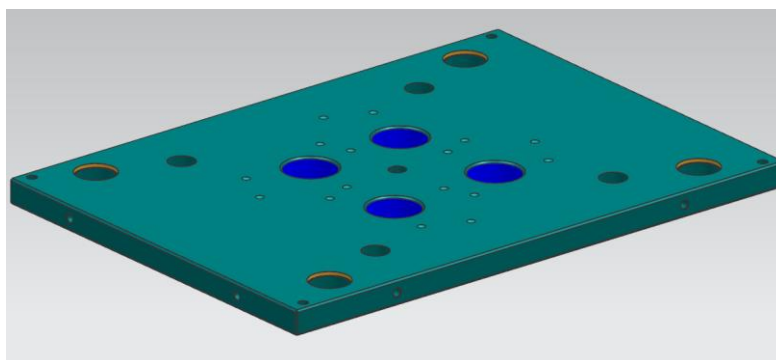
2.8.11.12 PLACA EXPULSORA INFERIOR

La placa expulsora inferior será parte del subconjunto de la parte móvil. La función principal de esta placa será la de hacer de tope para los casquillos permitiéndoles simplemente el movimiento junto a la placa y alojar la cabeza del bulón. Esta placa irá unida a la placa expulsora superior mediante cuatro tornillos de M10.

Será necesario mecanizar agujeros para alojar la cabeza del bulón, elastómeros y casquillos guía. Además, también se mecanizarán agujeros permitiendo el paso de las sufrideras y agujeros roscados para la unión de topes.

Se aplicarán chaflanes en todas las aristas vivas para evitar cortes. Además, se añadirán un total de 8 agujeros roscados de M16 en las caras laterales para facilitar el transporte mediante cáncamos, ya su peso es de 48,5 Kg, superando el límite de los 25 kg.

La placa expulsora inferior será construida partiendo de una placa rectangular de material 1.1730. Tendrá un acabado superficial general de $R_a=6,3 \mu m$. Las dimensiones quedan representadas en el plano M-03-MI-P09.



54. Figura. Placa expulsora inferior.

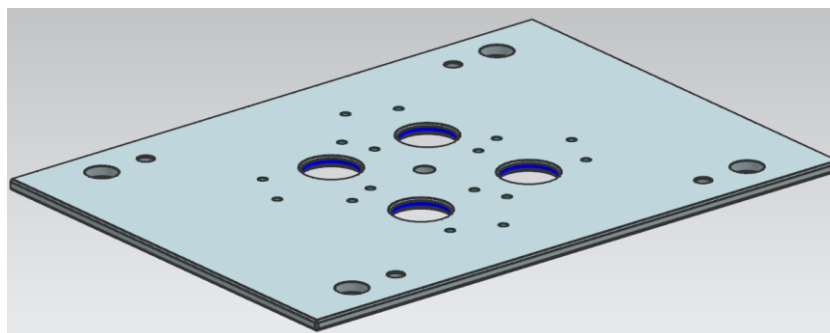
2.8.11.13 PLACA EXPULSORA FIJA

La placa expulsora fija será parte del subconjunto de la parte móvil. La función principal de esta placa será la de hacer de tope para los expulsores fijos inmovilizándolos completamente. Esta placa irá unida al zócalo móvil mediante cuatro tornillos de M16.

Será necesario mecanizar agujeros para alojar las cabezas de los expulsores fijos. Además, también se mecanizarán agujeros permitiendo el paso de las sufrideras y el bulón.

Se aplicarán chaflanes en todas las aristas vivas para evitar cortes. Además, al tener un peso de 18,8 Kg, inferior a los 25 kg, no será necesario el uso de cáncamos para su manipulación.

La placa expulsora fija será construida partiendo de una placa rectangular de material 1.1730. Tendrá un acabado superficial general de $R_a=6,3 \mu m$. Las dimensiones quedan representadas en el plano M-03-MI-P10.



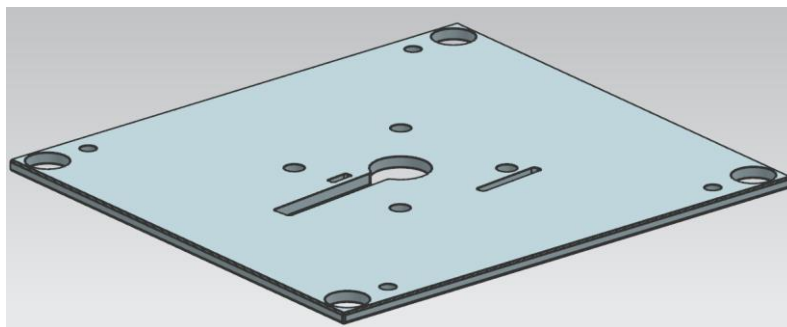
55. Figura. Placa expulsora fija.

2.8.11.14 PLACA AISLANTE

El objetivo de la placa aislante es evitar la transición de calor de la cámara caliente y molde hacia la máquina de inyección. Irá ubicada entre el zócalo fijo y la semi-cavidad. Se mecanizarán agujeros y cajeras para el alojamiento de los elementos que la atraviesen.

Se aplicarán chaflanes en todas las aristas vivas para evitar cortes. Además, al tener un peso de 4,3 Kg, inferior a los 25 kg, no será necesario el uso de cáncamos para su manipulación.

La placa aislante será construida partiendo de una placa rectangular de material Miolox PGX-595, ya que se necesita un material aislante. Las dimensiones quedan representadas en el plano M-03-MI-P11.



56. Figura. Placa aislante.

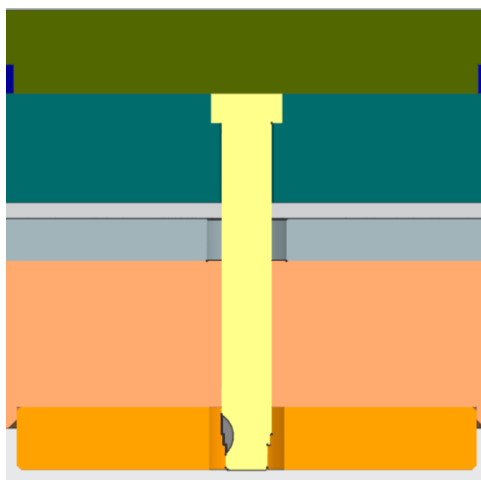
2.8.11.15 BULÓN EXPULSOR

El bulón expulsor irá unido a la máquina de inyección y a las placas expulsoras, por lo que la máquina de inyección será capaz de mover las placas expulsoras permitiendo así la expulsión de las piezas. La cabeza del bulón quedará bloqueada por las placas expulsoras y mediante un adaptador, el cual irá roscado al bulón, se hará la unión a la máquina de inyección.

El bulón pertenecerá al catálogo de HASCO, con referencia Z47_12x125 y será de un material 1.2516.



57. Figura. Bulón y adaptador.



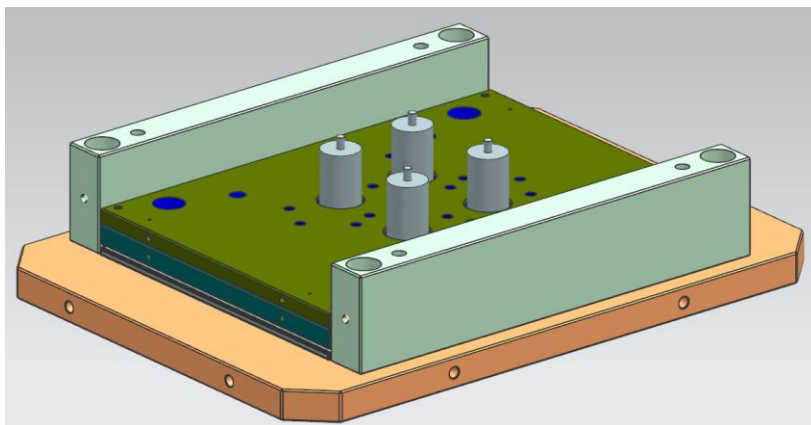
58. Figura. Seccionado del molde para la visualización del posicionamiento del bulón.

2.8.11.16 TOPES

Se hará uso de dos tipos de tope en las placas expulsoras. Estos dos topes irán alojados en las caras de las placas que tienden a moverse para expulsar las piezas. De esta forma, se evitará el golpeo entre placas, limitando la carrera de estas mediante los topes. Las referencias de estos serán DME SB3 26-4 y DME SB3 19-12 y su material 1.2312.

2.8.11.17 SUFRIDERAS

Se utilizarán cuatro sufrideras para evitar la flexión de la porta-núcleo. Las sufrideras irán alojadas en la parte móvil del molde, en contacto con el zócalo móvil y el porta-núcleo. Se fijará mediante tornillos y pasadores de ajuste apriete. La referencia de las sufrideras será DME FW29 50x126 y su material 1.1730.



59. Figura. Posicionamiento de las sufrideras.

2.8.11.18 SELLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Para evitar posibles fugas del material se hará uso de diferentes elementos. Por un lado, se mecanizarán roscas cónicas en los taladros para así taparlos mediante tapones de sellado en caso de ser necesario.

En caso de que el canal pase de una placa a otra, será necesario mecanizar un alojamiento y utilizar juntas.

Por último, se utilizarán adaptadores en las entradas/salidas del sistema de refrigeración.

Las referencias de los elementos serán las siguientes:

Tapones de sellado: DIN 906, material 1.4305.

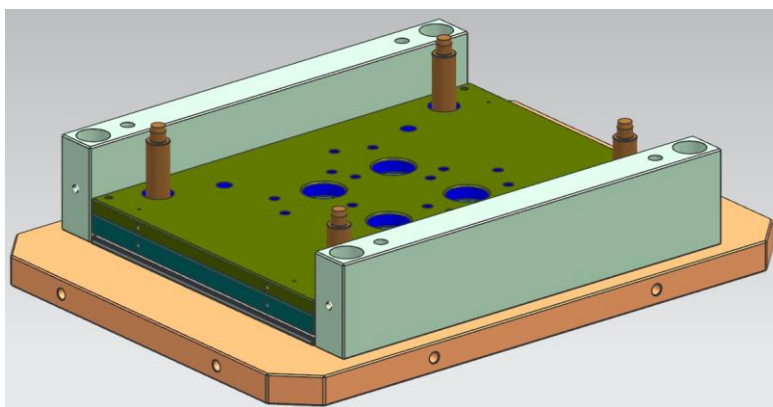
Racores: DMS H81-09-125, material 1.4305.

Juntas tóricas: MISUMI N0.10, material NBR.

2.8.11.19 COLUMNA GUÍA DEL SISTEMA DE EXPULSIÓN

El sistema de expulsión es accionado por un bulón mediante la máquina de inyección. Para un correcto guiado se hará uso de un sistema de cuatro columnas guía y casquillos. Las columnas irán alojadas mediante ajustes de apriete H7k6 en el porta-núcleo y en el zócalo móvil. Por otro lado, el ajuste entre el casquillo y la columna guía será un ajuste que permita el deslizamiento H7g6.

Pertenecerán al catálogo MISUMI, con referencia EGPD 30-20 y estarán compuestos por un material 1.2344.



60. Figura. Posicionamiento de las columnas guía de las placas expulsoras.

2.8.11.20 CASQUILLOS GUÍA DEL SISTEMA DE EXPULSIÓN

Para un correcto deslizamiento entre las placas expulsoras y las columnas guía se hará uso de cuatro casquillos alojados en las placas expulsoras. El ajuste entre los casquillos y las placas expulsoras serán ajustes de apriete H7k6, por otro lado, el ajuste entre casquillo y columna guía será H7g6, permitiendo un correcto deslizamiento.

Pertenecerán al catálogo MISUMI, con referencia EGBB3020 y estarán compuestos por un material 1.2344.

2.8.11.21 COLUMNAS GUÍA

Las columnas guía serán las encargadas de asegurar un ajuste correcto entre la parte fija y la parte móvil, habilitando la apertura y cierre del molde. Irán alojadas en la parte fija mediante un ajuste de apriete H7k6, y por estas se deslizarán los casquillos de la parte móvil, por lo que el ajuste con los casquillos será de H7g6.

Pertenecerán al catálogo DME, con referencia FSC 34-166-166 y estarán compuestos por un material 1.1731.

2.8.11.22 CASQUILLOS GUÍA

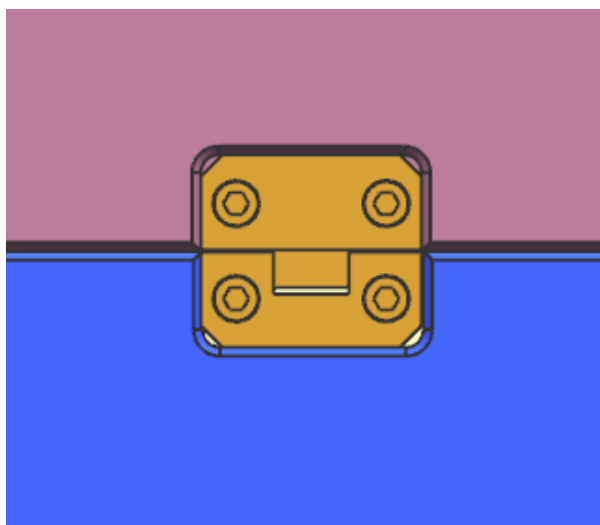
Los casquillos guía serán los encargados de habilitar el desplazamiento de la parte móvil respecto de la fija. Para ello, al abrir y cerrar el molde, estos casquillos se deslizarán por las columnas guía. Por un lado, los casquillos irán unidos a la parte móvil mediante ajuste de apriete H7k6; por otro lado, el ajuste entre columna y casquillo será de H7g6 habilitando así el deslizamiento.

Se hará uso de dos tipos de casquillos, unos de ellos ubicados en el porta-núcleo y los otros ubicados entre el regle y el zócalo móvil.

Ambos pertenecen al catálogo DME y estarán compuestos por el mismo material 1.1731. Pero las referencias de estos serán TD 42-130 y FBC 34-76.

2.8.11.23 UNIDAD DE CENTRADO

Se ubicarán cuatro centradores en las caras laterales de la porta-núcleo y la porta-cavidad. Irán atornillados a las placas mediante dos tornillos de M6. Por otro lado, se establecerá un ajuste deslizante entre los centradores y las placas, para certificar un correcto posicionamiento.



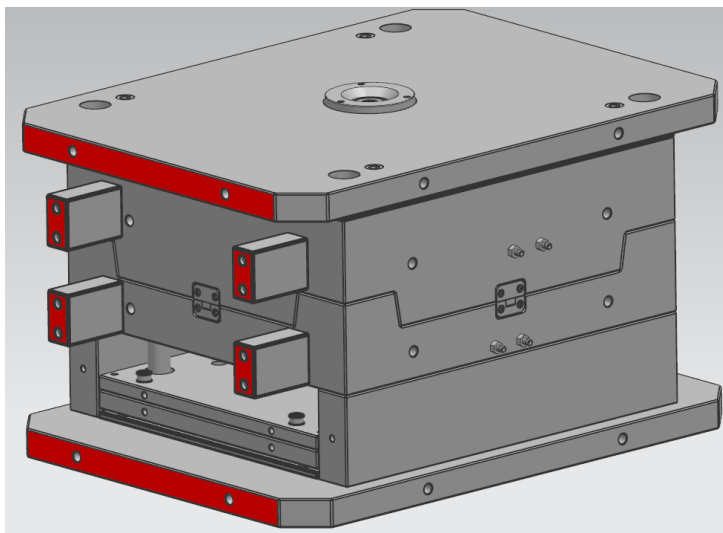
61. Figura. Unidad de centrado.

Pertenecerán al catálogo DME, con referencia BGS-50 y material 1.2379.

2.8.11.24 PATAS DE APOYO

Para evitar daños en diversos elementos del molde se hace uso de cuatro patas de apoyo, roscadas a la porta-cavidad y porta-núcleo mediante tornillos M8. El molde se apoyará sobre estas cuatro patas y los zócalos, logrando así una superficie de apoyo de 427,47 cm² el cual permite un apoyo equilibrado y evitando posibles daños.

Las patas de apoyo serán construidas partiendo de bloques rectangulares de material 1.1730. Tendrán un acabado superficial general de $R_a=6,3 \mu m$. Las dimensiones quedan representadas en el plano M-03-MI-P12.

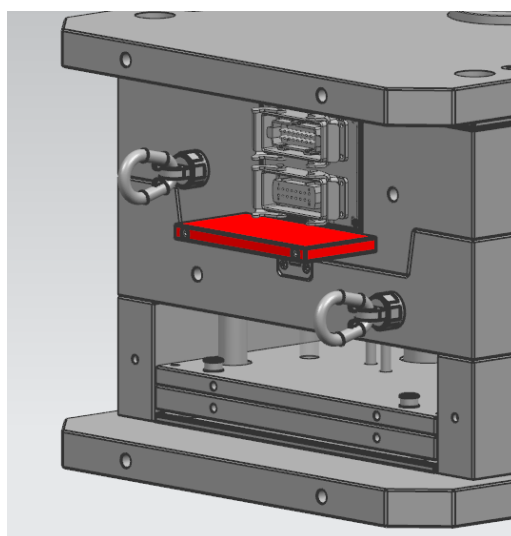


62. Superficie de apoyo del molde.

2.8.11.25 PLACA PROTECTORA

Se ha añadido una placa protectora para asegurar el conjunto de enchufes y conexiones de posibles golpes al transportar el molde. Para ello, se ha unido esta placa en la parte inferior de la caja de conexiones. La placa irá roscada a la portacavidad mediante dos tornillos M6.

La placa protectora será construida partiendo de una placa rectangular de material 1.1730. Tendrá un acabado superficial general de $R_a=6,3 \mu m$. Las dimensiones quedan representadas en el plano M-03-MI-P13.



63. Figura. Placa protectora.

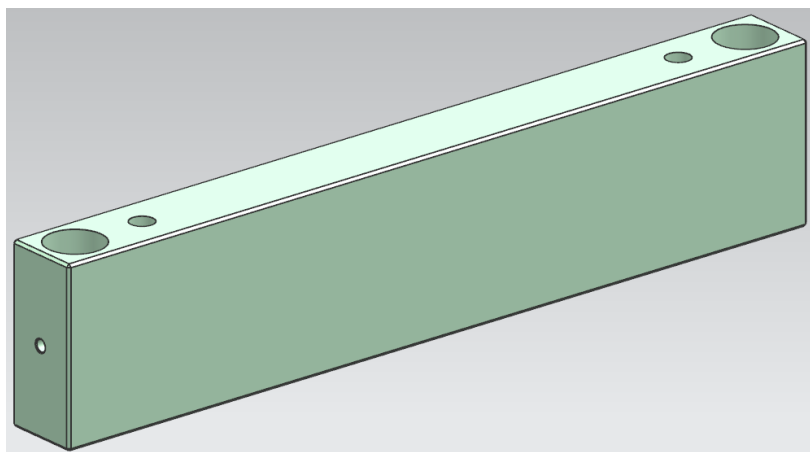
2.8.11.26 REGLAS

Los regles irán ubicados entre el zócalo móvil y el porta-núcleo. Su función será habilitar un espacio para la carrera de los expulsores, además de trabajar como sufridera y añadir rigidez al molde.

Llevará mecanizados agujeros para el alojamiento de los casquillos guía y también agujeros para el paso de tornillos que unirán el zócalo móvil, regles y el porta-núcleo.

Se aplicarán chaflanes en todas las aristas vivas para evitar cortes. Además, se añadirán un total de dos agujeros roscados de M10 en dos de las esquinas para facilitar el transporte mediante cáncamos, ya su peso unitario es de 29,6 Kg, superando el límite de los 25 kg.

Los regles fija serán construidos partiendo de una placa rectangular de material 1.2842. Tendrá un acabado superficial general de $R_a=6,3 \mu m$. Las dimensiones quedan representadas en el plano M-03-MI-P07.

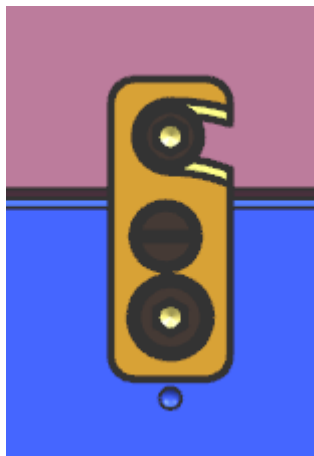


64. Figura. Regle.

2.8.11.27 UNIDAD DE CIERRE

Se ha añadido un cierre de seguridad para evitar que el molde se abra durante su transporte. El cierre irá unido a la porta-núcleo mediante un tornillo, en la porta-cavidad se alojará otro tornillo habilitando el cierre, y, por último, se hará uso de un pasador roscado para evitar movimientos indeseados.

Pertenecerá al catálogo HASCODME, con referencia Z73_16x25x63 y material 1.2312.



65. Figura. Cierre de seguridad.

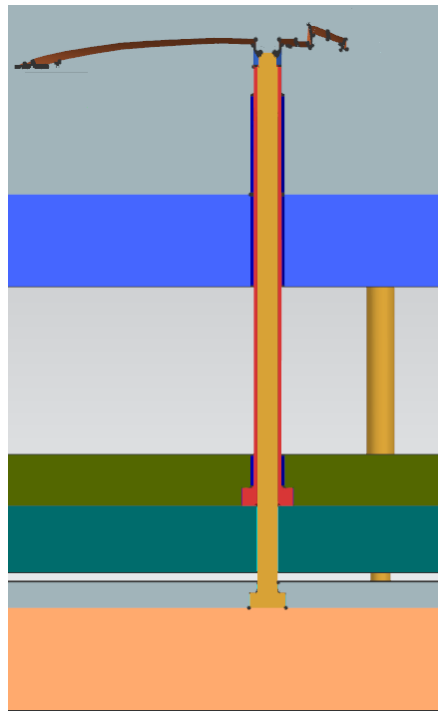
2.8.11.28 CASQUILLOS

Se hará uso de un sistema de casquillos para la expulsión de las piezas inyectadas. Estos casquillos constan de dos piezas, por un lado, el expulsor fijo que hará como guía para los casquillos, y por otro, los casquillos en sí.

Las cabezas de los expulsores fijos irán ubicadas entre el zócalo móvil y la placa de expulsores, inmovilizando completamente su movimiento. Además, harán de macho en los agujeros de la pieza.

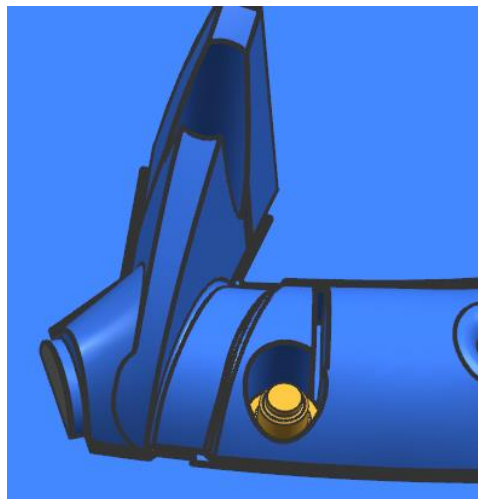
Por otro lado, las cabezas de los casquillos irán ubicadas entre la placa de casquillos y la placa tope de casquillos, permitiendo simplemente el movimiento que hagan las placas mencionadas. Los casquillos se deslizarán por los expulsores fijos expulsando las piezas inyectadas.

Estarán dimensionados por las normas DIN 16756 y DIN 1530. Los casquillos y los expulsores tendrán unas dimensiones de $\varnothing 8$ L200 y $\varnothing 8$ L250 respectivamente. Los casquillos serán de material 1.7131 y los expulsores de 1.2510. Además, ambos tendrán la superficie que entra en contacto con la pieza nitrurada, logrando mayor dureza y un aumento considerable en cuanto a resistencia a fatiga y desgaste.



66. Imagen. Posicionamiento casquillo + expulsor.

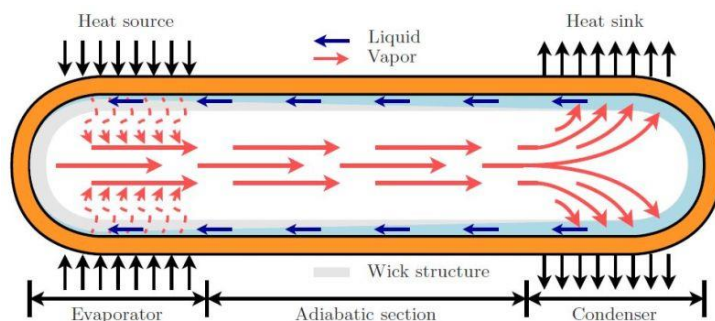
Los expulsores, además de ejercer como guía, también harán de macho en la cavidad.



67. Figura. Expulsor fijo con función de macho.

2.8.11.29 TUBOS DE TRANSITO DE CALOR

Ya que los tradicionales deflectores no permiten su uso en zonas de diámetros reducidos, se hará uso de tubos de transito de calor. Estos, se ubican igual que los deflectores tradicionales, pero en lugar de desviar el refrigerante, lo que hacen es transmitir el calor de las cavidades al sistema de refrigeración mediante un proceso de condensación y evaporación.



68. Figura. Proceso de refrigeración de un tubo de transito de calor.

Pertenece al catálogo MISUMI, y al usarse dos tubos de diferentes dimensiones se hará uso de las siguientes referencias, WPH 4-35 y WPH-3-35.

2.8.11.30 DEFLECTORES

Por otro lado, habrá ciertas zonas que serán posibles refrigerarlas mediante deflectores tradicionales.

Los deflectores atravesarán los canales de refrigeración transversalmente obligando al refrigerante a rodearlos, y, por tanto, acercando dicho refrigerante a la superficie de la pieza.

Será necesario taladrar el alojamiento para los deflectores, y al inicio de estos taladros mecanizar roscas cónicas para el correcto sellado del sistema de refrigeración. Tendrán una longitud de 100 mm y una rosca cónica de 1/8".

Serán de material 1.4305 y pertenecerán al catálogo DME con referencia BB-100-1/8.

2.8.11.31 RETROCESOS

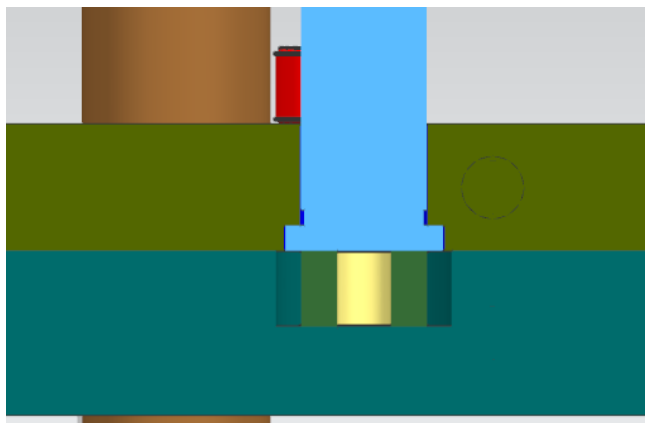
Se colocarán cuatro retrocesos para asegurar que los expulsores y sus placas vuelven a su posición al cerrar el molde, evitando así posibles daños en los expulsores y en el molde. Cuando el molde se cierre los retrocesos entrarán en contacto con la parte fija, haciendo retroceder las placas expulsoras.

Para aumentar la vida útil de los retrocesos y las placas con las que impacta se hará uso de elastómeros. Serán dimensionados según DIN 1530, y sus dimensiones serán Ø20 y L200. Su material será 1.2510 y tendrán el extremo nitrurado para una mayor dureza y un aumento considerable en la resistencia a fatiga y desgaste.

2.8.11.32 ELASTÓMEROS

Los elastómeros tienen como objetivo disminuir el impacto entre retrocesos y placas. Estos se ubicarán debajo de los retrocesos, por lo que será necesario mecanizar cajas cilíndricas para su alojamiento en la placa tope de casquillos.

Las dimensiones de estos serán Ø20 L20 y su material será NBR. Seguirán la norma DIN ISO 10069.



69. Figura. Posicionamiento de los elastómeros bajo los retrocesos.

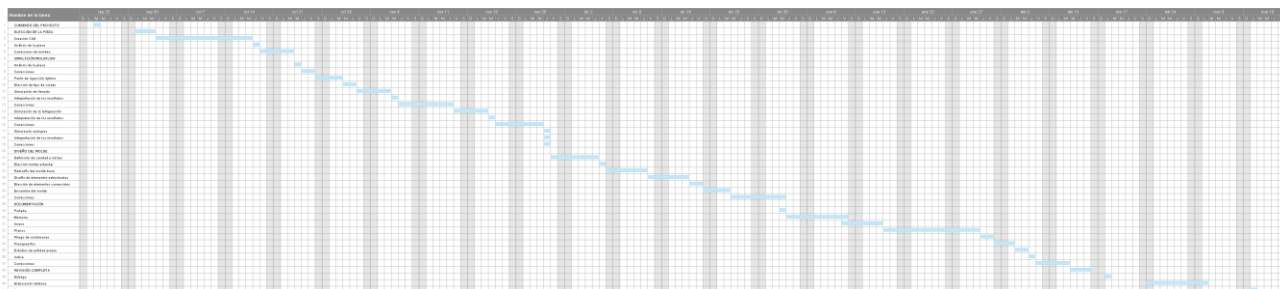
2.9 PLANIFICACIÓN

El desarrollo del proyecto se ha llevado a cabo siguiendo la planificación mostrada en la siguiente tabla.

4. Tabla. Desarrollo del proyecto.

TAREA DESARROLLADA	FECHA
Comienzo del proyecto	25/09/2018
Elección y desarrollo de la pieza	01/10/2018
Simulaciones y elaboración del sistema de refrigeración e inyección	24/10/2018
Diseño del molde	30/11/2018
Documentación	03/01/2019
Entrega	14/02/2019
Defensa	11/03/2019

Mediante un diagrama Gantt se muestra una planificación más detallada.



7. Diagrama. Diagrama Gantt sobre el desarrollo del proyecto.

A continuación, se adjunta una imagen del diagrama como objeto para facilitar la visualización.



2.10 PROBLEMAS COMUNES

En el proceso de fabricación se pueden dar diversos defectos por diferentes causas. A continuación, se trata cada defecto y sus posibles soluciones.

2.10.1 RECHUPES

Los rechupes son marcas visuales que aparecen en la superficie de la pieza. Las causas principales son la deficiencia de los gránulos, aumentos repentinos de espesor o un elevado gradiente térmico en el interior de la pieza. Las contracciones en el interior de la pieza crean tensiones, las cuales tiran de la capa superficial, creando así hendiduras.

Las soluciones principales son lograr un mayor flujo térmico y/o inyectar más material, además de modificar el CAD de la pieza con un espesor más uniforme en caso de ser posible. Para lograr un mayor flujo térmico se recomienda mejorar el sistema de refrigeración, mejorando así la transmisión de calor. Por otro lado, para compactar más plástico se recomienda incrementar la duración o el nivel de la presión ejercida una vez haber inyectado el material, o también, aumentar el canal de inyección o cambiar el punto de inyectado.



70. Figura. Rechupes.

2.10.2 MATERIAL INYECTADO DEMASIADO FRIO

Inyectar material demasiado frío puede generar marcas y líneas de soldadura. En estos casos se recomienda verificar la temperatura del molde.

2.10.3 REBABA O EFECTO FLASH

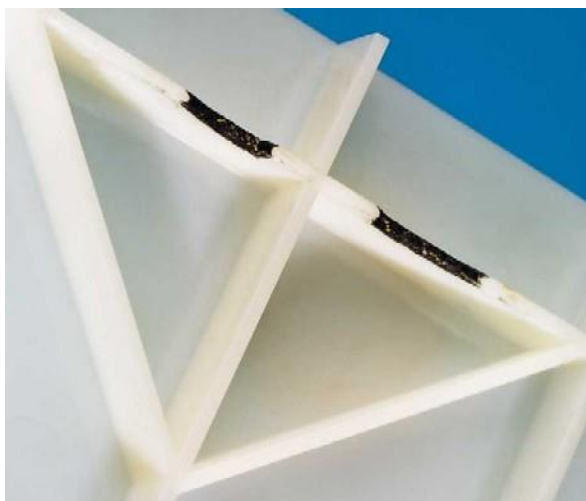
La rebaba aparece cuando el material inyectado entra por la línea de partición. Suele deberse a una alta presión de inyección, fuerza de cierre baja, desgaste o un mal sellado. Se recomienda disminuir la presión de inyección, aumentar la fuerza de cierre y aumentar la temperatura del molde.



71. Figura. Rebaba en pieza moldeada.

2.10.4 EFECTO DIÉSEL

El efecto diésel representa marcas negras o quemaduras en la pieza. Se debe generalmente a una mala ventilación o atrapamientos de aire. Estos atrapamientos generan altas temperaturas e incluso auto igniciones. Se recomienda colocar ventilas en zonas de atrapamientos de aire.



72. Figura. Efecto diésel.

2.10.5 PIEL DE NARANJA

La superficie de la pieza tiene una textura porosa. Se debe a un pulido deficiente de las cavidades. La solución es un pulido correcto o un material adecuado.



73. Figura. Piel de naranja.

2.10.6 COLORACIÓN DEFICIENTE

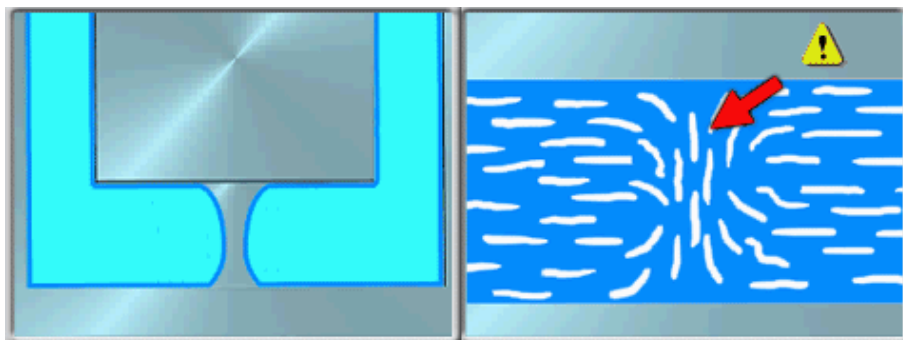
Debido a una elección deficiente de color y/o concentración se obtiene una coloración deficiente en la pieza. La única solución es elegir un material con concentraciones adecuadas.



74. Figura. Coloración deficiente.

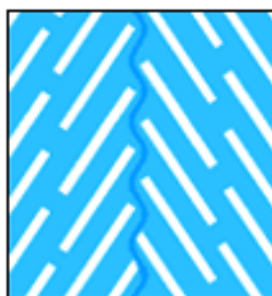
2.10.7 LÍNEAS DE SOLDADURA

Se da cuando se unen dos flujos diferentes. Si las líneas de convergencia de los flujos forman un ángulo inferior a los 135° se formarán líneas de soldadura. Las líneas de soldadura tienen características mecánicas peores que la pieza, además de suponer defectos visuales. Evitar las líneas de soldadura puede ser una tarea complicada ya que cuando hay agujeros u otro tipo de figuras que separen el flujo, estas líneas serán inevitables. Por otro lado, estas líneas se pueden desplazar moviendo el punto de inyección o modificando la pieza, logrando líneas de unión o líneas de soldadura no tan críticas. También se recomienda que estas líneas se formen con flujos de frente a temperaturas de inyección, ya que así se obtendrán líneas de soldadura de calidad y no supondrán grandes defectos.



75. Figura. Formación de una línea de soldadura (izquierda) y orientación molecular (derecha).

Por otro lado, cuando las líneas de convergencia de los flujos forman ángulos superiores a los 135° se obtienen líneas de unión. Estas líneas suelen ser menos frágiles y mucho menos visibles.



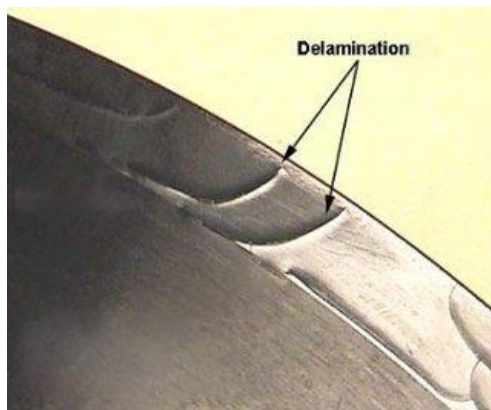
76. Figura. Orientación molecular de una línea de unión.

2.10.8 FRACTURAS O GRIETAS

Se dan debido a temperaturas del molde bajas, sistema de extracción inadecuado o un empaquetado excesivo. Se recomienda incrementar la temperatura, modificar los expulsores, utilizar un robot en la expulsión y disminuir la contrapresión.

2.10.9 DELAMINACIÓN DE CAPAS

La causa principal se debe a la contaminación de la resina, o la mezcla con otro material incompatible. Aunque también se da debido a bajas temperaturas, velocidad de inyección baja, baja contrapresión y baja temperatura del molde. Se recomienda usar una mezcla compatible y no contaminada, aumentar la temperatura, la velocidad de inyección y la contrapresión.



77. Figura. Delaminación.

2.10.10 MARCAS O DEFORMACIONES GENERADAS POR LOS EXPULSORES

Se dan debido a una presión excesiva generada por los expulsores. Se recomienda aumentar lo máximo posible la superficie de contacto de los expulsores y el número de estos.



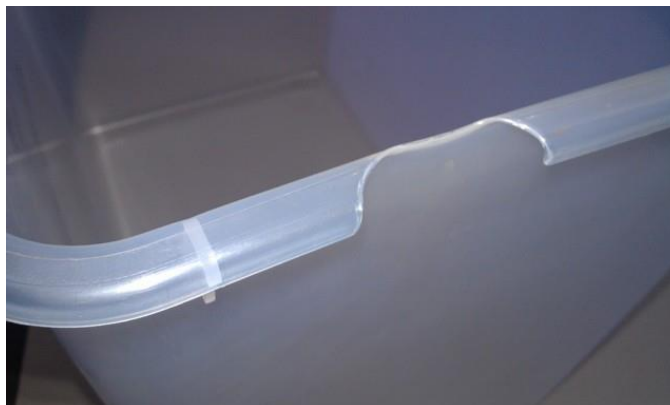
78. Figura. Marca habitual debido al uso de expulsores.

2.10.11 MARCAS HUNDIDAS Y HUECOS

Se da generalmente en piezas de gran espesor. La superficie solidifica antes que el interior generando tensiones internas. Estas tensiones tienden a hundir la superficie, creando así marcas hundidas y huecos. Se recomienda usar espesores uniformes y secciones delgadas.

2.10.12 INYECTADAS CORTAS

Las inyectadas cortas se dan cuando la pieza solidifica antes de ser completamente llenada. Por tanto, las piezas que se logran mediante el proceso de inyección serán piezas incompletas. Puede solucionarse aumentando la temperatura o la presión.



79. Figura. Inyectada corta.

2.10.13 ATRAPAMIENTOS DE AIRE

A la hora de cerrar el molde el aire tiende a quedarse atrapado dentro de la cavidad. Cuando el proceso de inyección comienza el aire intenta escapar de la cavidad dándose así atrapamientos de aire en sistemas con una ventilación deficiente. Es importante evitar atrapamientos de aire ya que estos darán problemas de llenado y/o defectos superficiales en la pieza.

El aire tiende a escapar por la línea de partición, expulsores y machos; pero cuando diferentes flujos rodean burbujas de aire es posible que se den atrapamientos. Por tanto, es necesario realizar un estudio sobre atrapamientos de aire y buscar una solución.

Las posibles causas de atrapamientos de aire son las siguientes:

- Efecto racetrack: Cuando el material fundido fluye con mayor facilidad por zonas gruesas que por regiones finas tiende a atrapar aire cuando ambos flujos vuelven a unirse.
- Indecisión: En piezas con varias rutas de flujo la velocidad disminuye y es posible que se den indecisiones en regiones finas.
- Rutas de flujo desequilibradas: Si las rutas de flujo están desequilibradas es común que se den atrapamientos de aire, incluso en piezas de espesor uniforme.
- Salidas de aire deficientes: Es común que se den atrapamientos de aire en las últimas áreas en ser llenadas si el tamaño de los escapes es reducido o no hay.

Se proponen las siguientes soluciones dependientes de cada caso:

- Equilibrado de las rutas de flujo.
- Evitar efectos racetrack e indecisiones.
- Modificar el punto de inyección para que las ultimas zonas en ser llenadas queden bien ventiladas.
- Añadir expulsores o salidas de gases en zonas que tienden a atrapar aire.



80. Figura. Atrapamientos de aire.

2.10.14 EFECTO JETTING

El efecto jetting hace referencia a un tipo de deformación que se da cuando un flujo inicial inyectado comienza a solidificar antes de tiempo. Tiende a generar ondulaciones en la superficie del componente final. Este tipo de patrones pueden generar zonas frágiles.



81. Figura. Efecto jetting.

2.10.15 DEFORMACIONES

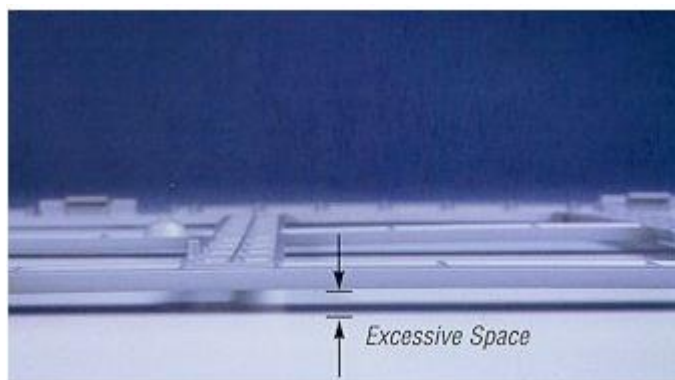
Las piezas tienden a sufrir deformaciones debido a las tensiones internas y contracciones que se dan en las piezas. Estas deformaciones pueden causar malos posicionamientos, mal funcionamiento del componente y todo tipo de circunstancias que puedan ser causadas por unas dimensiones incorrectas del componente.

Para evitar rechazos será necesario mantener estas deformaciones en un margen aceptable.

2.10.16 WARPING O PANDEO

El warping o pandeo es otro tipo de deformación que se da cuando las diferentes zonas de la pieza tienden a contraerse de manera diferente. Este efecto hace que la pieza tienda a girar o torcer.

Para evitar este efecto se recomienda asegurar un proceso equilibrado a lo largo del proceso, utilizar temperaturas de inyección inferiores, utilizar materiales con bajo coeficiente de contracción o rediseñar el molde con espesores uniformes y geometrías simétricas.



82. Figura. Warping.