



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

“Diseño del molde para la inyección de una pieza de plástico”

Alumno: Pablo Pérez Indurain

Tutor: Iñaki Puertas Arbizu

Pamplona, 14 de Septiembre de 2010

Índice	Pág.
I.- Introducción y objetivos	1
I.1- Introducción	2
I.2- Objetivos	3
II.- Aspectos fundamentales en los procesos de fabricación de materiales plásticos	4
II.1- Importancia de los plásticos	5
II.2- Reciclaje del plástico	7
II.2.1- Categorías de reciclaje	7
II.2.2- Métodos de reciclaje	11
II.3- Familias de plásticos	17
II.3.1- Termoplásticos	17
II.3.2- Termoestables	20
II.3.3- Elastómeros	21
II.4- Procesos de conformación de plásticos	23
II.4.1- Conformación de plásticos Termoestables	23
II.4.2- Conformación de Plásticos Termoplásticos	25
III.- Diseño del molde	36
III.1- Selección de la pieza	37
III.2- Selección del material de la pieza	40
III.2.1- Introducción	40
III.2.2- Contracción	40
III.2.3- Presión y viscosidad	42
III.2.4- Material seleccionado y características	43

III.3- Cavidades	46
III.3.1- Tiempo de producción / Necesidades / Cavidades	46
III.3.2- Elección del número de cavidades	47
III.4- Sistemas de alimentación	50
III.4.1- El bebedero	50
III.4.2- Sistema de canales de alimentación	51
III.4.3- Selección del sistema de alimentación	59
III.5- Puntos de inyección	60
III.5.1- Concepto	60
III.5.2- Tipos	62
III.5.3- Localización y tipo seleccionado	70
III.6- Vientos	72
III.6.1- Concepto de viento	72
III.6.2- Disposición de los vientos en nuestro molde	76
III.7- Refrigeración	78
III.7.1- Taladros de refrigeración	78
III.7.2- Localización de los taladros de refrigeración	78
III.7.3- Unidades de control y colectores	84
III.7.4- Flujo laminar y flujo turbulento	85
III.7.5- Aire de refrigeración	87
III.7.6- Metales de transferencia de calor	87
III.7.7- Refrigeración en nuestro molde	89
III.8- Componentes de alineamiento del molde	91
III.8.1- Pernos guía y casquillos	91
III.8.2- Componentes de accionamiento de cierre típicos	93
III.8.3- Alineamiento del molde a la máquina	98
III.8.4- Componentes de alineamiento en nuestro molde	100

III.9- Sistemas de expulsión	102
III.9.1- Tipos de sistemas de expulsión	102
III.9.2- Características del sistema de expulsión	106
III.10- Fabricación del molde	108
III.10.1- Mecanizado	108
III.10.2- Acabados	113
III.10.3- Materiales	116
III.10.4- Fabricación de nuestro molde	118
III.11- Equipo de inyección	120
III.11.1- Unidad de inyección	120
III.11.2- Unidad de cierre	121
III.11.3- Equipo de inyección seleccionado	121
III.12- Resolución de defectos del molde	123
III.12.1- Causas raíz	123
III.12.2- Defectos y soluciones comunes	124
III.12.3- Reparación, protección y almacenamiento de moldes	134
IV.- Simulación con programa de elementos finitos del proceso de inyección	135
IV.1- Presentación general de Moldflow	136
IV.2- Proceso de simulación de moldeo	138
IV.2.1- Modelado	138
IV.2.2- Análisis de localización del ataque	145
IV.2.3- Análisis de llenado	147
IV.2.4- Análisis de flujo	167
IV.2.5- Análisis de flexión	172

IV.2.6- Análisis de los sistemas de alimentación y refrigeración	173
V.- Resumen y conclusiones finales	183
VI.- Bibliografía	187
VII.- Anexos	
VII.1- Planos del molde	
VII.2- Catalogo de la máquina de inyección	
VII.3- Catalogo de la unidad de control de temperatura	
VII.4- Catalogo de la placa manifold	
VII.5- Catalogo de la boquilla de inyección	

Anexo

VII.1- Planos del molde

Anexo

VII.2- Catalogo de la máquina de inyección

Anexo

VII.3- Catalogo de la unidad de control de temperatura

Anexo

VII.4- Catalogo de la placa manifold

Anexo

VII.5- Catalogo de la boquilla de inyección



I. Introducción y objetivos



I. Introducción y objetivos

I.1- Introducción

Hoy en día no cabe duda de que los plásticos juegan un papel fundamental en nuestras vidas. Desde que se inventasen en el siglo XIX los primeros plásticos, estos se han desarrollado y convertido en un material con múltiples aplicaciones.

En nuestra vida cotidiana los podemos encontrar en la mayoría de objetos a nuestro alrededor. Tienen una gran variedad de tamaños, colores y texturas gracias a los cuales se convierten en el material más versátil para fabricar cualquier objeto que deseemos. Es quizás por su abundancia que muchas veces no nos paramos a pensar en los procesos que hacen que partiendo de polímeros, ya sea en forma de gránulos o polvo, obtengamos todo tipo de piezas y además a un alto nivel de producción.

La industria que da forma a los plásticos ha evolucionado enormemente y se han producido grandes avances en lo referente a la mejora de la calidad de los productos y a los tiempos de ciclo de producción. Esto último ha sido posible especialmente gracias al desarrollo de software de simulación de las condiciones que se producen en los moldes, dejando a un lado el sistema prueba-fallo-prueba tan costoso por el tiempo y dinero necesarios para obtener resultados óptimos. Mediante la simulación se pueden reproducir todos los estados desde que comienza la inyección hasta que las piezas se enfrían y están dispuestas a ser expulsadas del molde. De esta forma se pueden modificar los parámetros que entran en juego en el proceso hasta dar con las condiciones óptimas para reproducirlas en la realidad.



I.2.- Objetivos

El objetivo del presente proyecto es el diseño de un molde para inyección de plásticos cuyo fin sea la producción en serie de un obturador, pieza clave para las cámaras de fotos analógicas.

Debido a la complejidad geométrica de la pieza, se procederá al estudio en profundidad de la inyección y posterior enfriamiento del plástico en la cavidad por medio del programa de simulación por elementos finitos Moldflow.

Mediante la modificación de los diferentes parámetros que intervienen en todo el proceso de llenado y posterior enfriamiento procederemos a la optimización de los tiempos que suponen para que todo el proceso se desarrolle de la manera más rápida posible manteniendo unos resultados aceptables en términos de consistencia estructural, acabado superficial, precisión geométrica y aspecto visual.

Así, una vez optimizado todo el proceso, procederemos a definir por planos la geometría del molde así como el equipamiento a utilizar para que se pueda llevar a cabo su fabricación de cara a producir obturadores en serie en la industria.

También se realizará una descripción de las diferentes variantes que existen a la hora de diseñar moldes en lo relativo al sistema de alimentación, materiales, sistemas de refrigeración...etc. Asimismo se verá cuales son los defectos más comunes que podemos tener en las piezas que fabriquemos y sus soluciones más comunes.



II.- Aspectos fundamentales en los procesos de fabricación de materiales plásticos



II.- Aspectos fundamentales en los procesos de fabricación de materiales plásticos

II.1- Importancia de los plásticos

¿En que pensamos cuando decimos o escuchamos la palabra plástico? Hace cien años, al mencionar el término plástico, éste se podía entender como algo relativo a la reproducción de formas o las artes plásticas, la pintura, la escultura, el moldeado. En la actualidad, esta palabra se utiliza con mayor frecuencia y tiene un significado que implica no sólo arte, sino también tecnología y ciencia. La palabra “plásticos” deriva del griego "Plastikos" que significa "Capaz de ser Moldeado", sin embargo, esta definición no es suficiente para describir de forma clara a la gran variedad de materiales que así se denominan.

Técnicamente los plásticos son sustancias de origen orgánico formadas por largas cadenas macromoleculares que contienen en su estructura carbono e hidrógeno principalmente. Se obtienen mediante reacciones químicas entre diferentes materias primas de origen sintético o natural. Es posible moldearlos mediante procesos de transformación aplicando calor y presión.

Los plásticos son parte de la gran familia de los Polímeros. Polímeros es una palabra de origen latín que significa Poli = muchas y meros = partes, de los cuales se derivan también otros productos como los adhesivos, recubrimientos y pinturas.

En la época actual resultaría difícil imaginar que alguno de los sectores de nuestra vida diaria, de la economía o de la técnica, pudiera prescindir de los plásticos. Sólo basta con observar a nuestro alrededor y analizar cuántos objetos son de plástico para visualizar la importancia económica que tienen estos materiales. Dicha importancia se refleja en los índices de crecimiento que, mantenidos a lo largo de algunos años desde principios de siglo, superan a casi todas las demás actividades industriales y grupos de materiales. En 2000 la producción mundial de plásticos alcanzó los 100 millones de toneladas y para el año 2012 llegará a 160 millones de toneladas.

El consumo de plásticos sólo se encuentra por debajo del consumo del hierro y acero, pero debe tenerse en cuenta que estos tienen una densidad entre seis y siete veces mayor a la de los plásticos. Por esta razón, el volumen producido de plásticos fue mayor al del acero.

La denominación de los plásticos se basa en los monómeros que se utilizaron en su fabricación, es decir, en sus materias primas. En los homopolímeros termoplásticos se antepone el prefijo "poli" por ejemplo: Monómero Inicial - Metil Metacrilato; Nombre de Polímero -->Polimetil Metacrilato. Como se puede observar, los nombres químicos de los polímeros con frecuencia son muy largos y difíciles de utilizar. Para aligerar estos problemas se



introdujeron las "siglas" o acrónimos. Para el ejemplo citado, su acrónimo es: Nombre del Polímero --> Polimetil Metacrilato; Acrónimo --> PMMA.

A la par del descubrimiento y síntesis de los materiales plásticos, la creatividad del hombre ha ideado formas para moldearlos con el objeto de satisfacer sus necesidades. Por ejemplo: la sustitución de los materiales tradicionales como el vidrio, metal, madera o cerámica, por otros nuevos que permiten obtener una mejoría de propiedades, facilidad de obtención y, por las necesidades del presente siglo, la posibilidad de implementar producciones masivas de artículos de alto consumo a bajo costo.

El nacimiento de los procesos de moldeo de materiales plásticos, se remota a épocas bíblicas con el uso del bitúmen, para la confección de la canasta en la que se puso al patriarca hebreo Moisés en el río Nilo y en el uso de este material en vez de cemento para edificar Babilonia. Al seguir el curso de la historia, se detectan otros usos de resinas naturales como el ámbar en joyería en la antigua roma, la laca como recubrimiento en la India, pelotas de hule natural para juegos rituales en América Central, y otras. En 1839, Charles Goodyear descubrió el proceso de vulcanización del hule con azufre, pero aún no se puede hablar de procesos de moldeo comerciales o industriales. En 1868 Parkes, en Londres, idea el moldeo de nitrato de celulosa utilizando rodillo, una pequeña cantidad de solvente y calor para plastificar el compuesto. Los intentos para el desarrollo de productos y proceso para moldear continuaron, y en 1872 se patenta la primera máquina de inyección, para moldear nitrato de celulosa, pero debido a la flamabilidad de este material y peligrosidad de trabajar, el proceso no se desarrolló.

Al término del siglo XIX, los únicos materiales plásticos disponibles para usos prácticos eran el Shellac (laca), la Gutta Percha, la Ebonita y el Celuloide, el ámbar y el bitúmen, moldeados en formas artesanales. En 1926, la expansión de materiales poliméricos y las experiencias en el diseño de máquinas para procesarlos, estimulan la creación de máquinas con aplicación industrial, en la construcción y fabricación en serie de inyectores de émbolo impulsada por la Síntesis del Poliestireno (PS) y Acrílico (PMMA). En 1935 Paul Toroester, en Alemania, construye una máquina extrusora de termoplásticos, basada en diseños anteriores para el procesamiento de hules. A partir de estas fechas inicia el uso de electricidad para el calentamiento, que sustituye al vapor. En Italia se genera el concepto del uso de husillos gemelos. En 1938, se concibe la idea industrial de termoformado, y en 1940 el moldeo por soplado.

A día de hoy, se cuenta con la existencia de cientos de polímeros patentados; de ellos aproximadamente 30 son imprescindibles. Los productos manufacturados con plásticos, son obtenidos por más de 20 procesos de moldeo distintos y aproximadamente 10 gobiernan la mayor parte del volumen de plásticos transformados.



II.2- Reciclaje del plástico

II.2.1- Categorías de reciclaje

Según su reciclaje, el plástico se clasifica de la siguiente forma:

Plásticos derivados del petróleo

Permanente

Para productos sin posible reutilización. Aplicación en la medicina y campos afines; para productos en contacto con zonas orgánicas, tales como: elementos de implantes de cadera, carcasa de marcapasos, venas artificiales, bolsas de almacenamiento de sangre. Las características del material, así como su durabilidad son de importancia vital. Ejemplo: *nylon 66*.

Reutilizables

Productos que pueden ser utilizados continuamente sin variación, como por ejemplo cubos de plástico. Herramientas e instrumentos complejos que puedan ser reparados o modificados enteramente para reventa. Engloban a un gran número de objetos. Para este fin son preferibles tanto ecológica como estéticamente materiales como: Madera, hojalata, vidrio, cerámicos.

Reciclables

Termoplásticos y elastómeros funden a partir de una cierta temperatura del mismo modo que el vidrio y son fácilmente reciclables. Los *polímeros termoestables* por el contrario no se licuan y son muy difícilmente reciclables. Se están estudiando nuevos caminos con este fin.

Co-reciclables

Materiales compatibles que pueden ser reciclados conjuntamente.

Bio-desintegrables

Consiste en la disociación de los plásticos en elementos más reducidos y fácilmente atacables. Este proceso se realiza con grandes dificultades en el interior de los vertederos, debido a la falta de humedad. Se están llevando a cabo avances radicales en plásticos, hoy disponibles en el mercado, que se degradan al 100 % antes de dos meses de ser desechados. La investigación está profundizando en éste aspecto.

Biodegradables

El *PHA* (*polihidroxialcanoato*), un miembro de la familia de los poliésteres descubierto en 1925, es creado directamente a partir de microorganismos, y es, éste sí, totalmente biodegradable. Desde entonces han aparecido otros tipos de bacterias que también lo producen, así como el *PHB* (*polihidroxibutiratos*), uno de los primeros en ser comercializado. Los *PHA* pueden ser moldeados, fundidos y conformados como los plásticos derivados del



petróleo, y tienen la misma flexibilidad. Son manufacturados con el nombre de Biopol en Europa por el ICI y PHBV en los EE.UU. Hoy por hoy son demasiado caros para el empleo en botellas de bebidas refrescantes o en bolsas de plástico, pero la producción masiva abaratar los precios.

Bioregenerativos

Los científicos de la Union Carbide han producido un tipo de *policaprolactano* que se biodegrada completamente al cabo de tres meses sin dejar ningún tipo de residuos. Así mismo, las investigaciones en el campo del papel, han desembocado en la creación de un producto laminado mediante capas de celulosas derivadas del maíz que demuestran resistir al agua durante un periodo de 6 a 8 horas, y podrían servir como recipientes para comidas y bebidas rápidas.

Biopotenciadores

Llevar aditivos que incentivan el crecimiento de plantas o bien previenen la erosión en climas áridos, o bien semillas embebidas en estimulantes de crecimiento.

El problema de los plásticos en general radica en que siendo hoy por hoy la mayoría de ellos derivados de fueles fósiles, contribuyen al efecto invernadero. Aunque muchos plásticos pueden ser reciclados de un modo u otro, ha de existir una cantidad máxima que los limite. Por otro lado, muchos de los plásticos desechados no desaparecen del entorno. Se estima que una botella de plástico perdurará durante más o menos 200 años, y que suponiendo aproximadamente el 25 % de los residuos generados en los EE.UU., los vertederos no podrán acoger semejante cantidad por mucho tiempo. Es por esto que se están inventando nuevas e imaginativas soluciones.

En el caso del PVC y del PET, se esta llevando a cabo el reciclado de desechos para reconvertirlos en fibras textiles de aplicación en las prendas más comunes. En el caso de la ropa reciclada el proceso, aunque no es sencillo, no requiere de una tecnología excesivamente sofisticada, por lo cual, y debido a la nueva legislación comunitaria que se avecina, será una industria cada vez más importante, aunque todavía los precios de los productos así obtenidos son bastante elevados.

Otro aspecto representativo de la problemática habida en el entorno de los plásticos, son las ingentes cantidades de neumáticos almacenados por doquier. Solo en los EE.UU., hay actualmente más de tres mil millones de neumáticos en los vertederos, desguaces ilegales y pilas, creciendo a un ritmo de mil millones cada cuatro años. Además de proveer de un lugar de incubación perfecto para insectos portadores de enfermedades, los neumáticos son grandes contaminadores de la atmósfera si son quemados. Tan sólo el 20 % de los neumáticos es reciclado debido a la gran cantidad de elementos diferentes en cada tipo de ellos, además de la complicación que supone que sean vulcanizados (unión íntima de sulfuros y carbonos en el caucho), y del hecho de ser un material termoestable. Sin embargo se ha encontrado una solución temporal para este problema: se pueden convertir en un producto llamado "asfalto de caucho modificado", que por otro lado ha



resultado durar más del doble que los asfaltos normales utilizados en las autopistas americanas. De hecho, las legislaciones de este país obligan ahora que al menos el 20 % del asfalto empleado en los viales sea éste derivado de los neumáticos.

Plásticos no derivados del petróleo

Plásticos inorgánicos

Siempre se han conocido, y un caso representativo es el de las siliconas, las cuales se pueden obtener a partir de la simple sílice, contenida en la arena y muy abundante en la corteza terrestre. El problema en este caso es el proceso, en el cual se han de invertir enormes cantidades de energía. También se están generando polímeros que no poseen carbonos en su composición, y en que éste es sustituido por elementos como el boro. De todos modos esta industria es aún incipiente, pero muy prometedora.

Nuevos polímeros naturales

Hoy por hoy, la atención mundial se centra en el estudio de un tipo de poliésteres tales como el *Polihidroxialcanoato* (PHA), el *Polilactato* (PLA) y el *Policaprolactano* (PCL), que son absolutamente biodegradables. Mucha de la investigación mundial se ha focalizado en torno al PHA. Este es un polímero biodegradable obtenido por procesos naturales en ciertos microorganismos cuando estos experimentan ciertas peculiares condiciones ambientales. Por ejemplo la bacteria *Alcaligenes Eutrophus* crea gránulos internos de PHA al contacto con grandes concentraciones de carbono (azúcares) cuando carece de otros nutrientes esenciales como el nitrógeno. Dicho granulo ejerce de almacén energético para la célula, que lo puede reconvertir en material carbonado cuando las condiciones ambientales varían. El PHA existe en muy diversas maneras, cada una de las cuales tiene pequeñas diferencias. Su forma más simple es el *poli b-hidroxibutirato*, o PHB. El PHB fue descrito por vez primera por Lemoigne en el 1923. Más tarde Lemoigne caracterizó químicamente el PHB y observó que estaba involucrado en la esporulación de algunos bacilos. Por otro lado, el PHB resulta ser un termoplástico con características muy similares a las del polipropileno: es un polímero frágil con un alto punto de fusión, que a pesar de tener una menor resistencia a la disolución, tiene un comportamiento óptimo ante la luz ultravioleta. Se encontró que la bacteria podía generar otra variedad de copolímeros basados en el *3-hidroxipentanoato*, el cual posee todavía mejores propiedades. Además los conocimientos recientemente adquiridos con las tecnologías derivadas del estudio del ADN, debería llevar a el diseño sencillo de PHAs para objetivos específicos.

El PHB tiene grandes ventajas sobre los plásticos convencionales, principalmente porque se puede obtener de fuentes renovables como la glucosa. Otra ventaja es que se puede biodegradar en ambientes activamente microbianos tales como *pseudomonas*, *aspergillus*, *actinomicos* y *streptomicos* los cuales no son raros en entornos comunes.



Hasta el momento el PHB ha tenido un mercado muy reducido, y su demanda ha estado dirigida por la legislación medioambiental en otros países, siendo su gran atractivo su biodegradabilidad. Comúnmente denominado Biopol, es empleado por Wella, una empresa alemana de cuidado del cabello para el envase de sus champús. También ha sido probado reforzado mediante fibras celulósicas, resultando un composite que mantiene sus propiedades en condiciones normales pero que en contacto con el suelo se degrada después de 40 días. Además puede ser empleado con fines médicos, ya que su biocompatibilidad le permite ser implantado en el cuerpo sin causar rechazo ni inflamaciones, cosa que otros polímeros anteriores difícilmente conseguían.

Por otro lado, el PLA es una de las opciones más interesantes. Se conforma mediante la polimerización del ácido láctico, y nuevos métodos comercialmente atractivos para la polimerización directa están siendo recientemente investigados; de hecho se piensa que el ácido láctico se convertirá en la más importante materia prima en el entorno de los plásticos no derivados del petróleo. De este modo, el PLA y el PHBV son buenos candidatos para un polímero económicamente biodegradable: tienen propiedades similares a los polímeros no-degradables existentes y pueden ser tratados mediante los procesos habituales en el mundo de los plásticos.

Existen, además otras posibilidades con buenas perspectivas. La "National Starch and Chemical Company" de Australia esta comenzando a comercializar un producto llamado Eco-Foam. Este material se obtiene gracias al almidón, el cual se extrae de cereales como el maíz, trigo y arroz y de tubérculos como la patata y la tapioca. De hecho el Eco-Foam se compone en un 99 % de almidón y después de su disolución el producto de desecho acaba siendo una simple solución de almidón de maíz, la cual es perfectamente inofensiva tanto para plantas como para animales. El almidón está conformado por grandes uniones de moléculas de glucosa, las cuales son el alimento de muchos microorganismos residentes en entornos acuosos. De este modo, las colonias microbianas consumen las moléculas de almidón y liberan dióxido de carbono y agua durante el proceso. Al cabo de pocos días, la solución de almidón resulta casi totalmente consumida.

Este producto ofrece numerosas alternativas al poliestireno y al igual que muchos otros plásticos es fácilmente utilizable para el empaquetado de objetos. Así mismo, y al igual que dichos plásticos- puede ser reutilizado para nuevos empaquetamientos.



II.2.2- Métodos de reciclaje

Reciclaje mecánico

El reciclaje mecánico de los plásticos se considerará exclusivamente para aquellos productos procedentes del consumo, es decir, para aquellos que ya hayan tenido una primera utilización y no el de aquellos que son el resultado de una producción fallida o de restos de fabricación.

El procedimiento que se sigue para reciclar mecánicamente plásticos consiste en trocear el material e introducirlo en una extrusora para fabricar granza reciclada y después transformarla.

Los plásticos posconsumo a nivel mundial se reciclan en un porcentaje muy bajo, solamente el 2 % del total frente a cifras superiores de otros materiales como el 29 % del aluminio o el 60 % del papel. Dos son las causas fundamentales de este hecho. La primera es que solamente se pueden reciclar mecánicamente los plásticos termoplásticos no así los termofijos o los elastómeros. Los polímeros entrecruzados, al no poder fluir es imposible darles nuevas formas y usos. Estos pueden ser nuevamente utilizados si se les tritura aplicándolos como materiales de relleno para carreteras, pistas deportivas o para preparar tierras de cultivo.

En segundo lugar, un plástico que ha sido utilizado pierde en cierto grado sus propiedades bien debido a la degradación que haya podido sufrir durante su uso o bien por la presencia de sustancias ajenas de los productos que contuvo. Esta merma de propiedades hace que estos plásticos reciclados deban emplearse en la fabricación de productos diferentes a los del primer uso o en aplicaciones con menores exigencias.

Además, el plástico usado puede ocasionar problemas durante su transformación y no dar la calidad esperada en el nuevo producto debido a la falta de homogeneidad existen entre los mismos residuos, ya que, aun tratándose del mismo tipo de plástico, pudo tener aplicaciones diferentes, como por ejemplo un polietileno procedente de un film de agricultura, de un envase de aceite o de una botella de leche.

Mezcla de plásticos

Hay que hacer otra consideración previa al reciclado mecánico de los plásticos, y es la diferente naturaleza química que presentan. En los residuos de plásticos postconsumo se encuentran siempre mezclados los plásticos de diferente naturaleza.

Por regla general la mezcla de plásticos diferentes, en el caso de que se puedan transformar conjuntamente dado que no todos presentan la misma estabilidad térmica, da lugar una mezcla heterogénea que no presenta buenas propiedades mecánicas para ser utilizado como material. Solamente en algunos casos las mezclas de polímeros dan lugar a una masa homogénea originando una sola fase continua, por ser los polímeros miscibles entre sí.

Separación de plásticos



Separar cada plástico de los otros de diferente naturaleza que aparecen juntos en los RSU, es demasiado complicado y casi imposible ya que aparentemente todos son iguales como consecuencia de los aditivos y cargas que llevan incorporadas.

Se han desarrollado varias técnicas de separación basadas en métodos físicos de diferente naturaleza. Unas ofrecen una respuesta más rápida que otras, pero en todos los casos de una gran fiabilidad. Estas técnicas pueden clasificarse como:

1) *Técnica de flotación-hundimiento*: La densidad de los plásticos, presenta una diferencia que puede ser utilizada para separarlos por flotación en disolventes de diferente densidad.

El procedimiento a seguir consiste en trocear la mezcla de plásticos de manera homogénea e introducirla en agua que incorpora una pequeña cantidad de detergente para conseguir que el agua moje al plástico. Así, quedan nadando aquellos plásticos con densidad menor a la unidad, hundiéndose los que poseen una densidad mayor que uno.

2) *Separación basada en la utilización de disolventes*: El procedimiento de separación basado en la aplicación de disolventes fue desarrollado por Seymour y Stahl en la Universidad de Houston.

El procedimiento consiste en disolver la mezcla de plásticos en tolueno a temperatura ambiente. En este disolvente no se disuelven el PE ni el PVC, por lo que se separan por filtración.

3) *Utilización de técnicas electroscópicas*: Se basan en la diferente respuesta que tienen los plásticos a la radiación electromagnética en función de su estructura química. Son técnicas de respuesta muy rápida por lo que se han podido aplicar en separaciones en tiempo real y de manera automatizada. Citaremos como las más importantes: la fluorescencia de rayos X y la radiación infrarroja.

4) *Separación basada en técnicas electrostáticas*: A este grupo pertenece la separación triboeléctrica basada en la carga electrostática que se genera en pequeñas partículas de plástico provocada en la fricción con la pared del cilindro provocada por un molino de aire.

Una vez cargadas las partículas se proyectan a un campo electrostático creado entre unas placas metálicas a las que se aplica un potencial de 120.000 voltios.

5) *Utilización de marcadores químicos*: En este método de separación basado en la incorporación de marcadores químicos proporcionan al material una cierta propiedad física fácilmente identificable, como la respuesta fluorescente a la radiación ultravioleta, o la respuesta a la radiación infrarroja. El procedimiento consiste en la incorporación específica de un determinado marcador para cada polímero consiguiéndose una respuesta rápida y fiable fácilmente incorporable a una cadena de triaje automatizada.



6) *Técnicas basadas en la incorporación de códigos*: Este procedimiento consiste en marcar cada artículo de plástico con un triángulo de flechas curvas, en cuyo interior aparece un número identificativo de cada plástico.

Reciclaje químico

No todos los materiales plásticos están en condiciones de ser sometidos a un reciclaje mecánico, bien porque están muy degradados y no darían productos con buenas características, o porque se encuentren mezclados con todo tipo de sustancias que su separación y limpieza no resultaría rentable. Existen otras opciones para alargar la vida de estos materiales a través de diferentes tipos de reacciones químicas.

El reciclaje químico, denominado también reciclaje terciario es un proceso por el que a partir de materiales de posconsumo se llega a la obtención de los monómeros de partida u otros productos, como gas de síntesis y corrientes hidrocarbonadas, que serán transformados posteriormente en plásticos o bien en otros derivados.

El reciclaje químico puede ser definido ampliamente como la reacción reversible de la polimerización hacia la recuperación de las materias primas.

El proceso químico seguido es diferente según haya sido el tipo de reacción de polimerización. Así los polímeros hidrocarbonados que se obtuvieron por reacciones de adición, son sometidos a procesos térmicos o catalíticos dando lugar a una mezcla compleja de productos hidrocarbonados y también a gas de síntesis.

Si los polímeros se formaron por reacciones de condensación, los tratamientos químicos a los que se someten son de tipo hidrolítico-hidrólisis, metanólisis y glicólisis.

En el reciclado químico de los productos de adición no es imprescindible separar los plásticos según su naturaleza, ya que la mezcla de productos obtenidos en su proceso (compuestos aromáticos y alifáticos) puede utilizarse conjuntamente como alimentación en la industria petroquímica. Las técnicas de producción de fracciones hidrocarbonadas son las siguientes:

1) *Craqueo y pirolisis térmica*: Los tratamientos que se dan a las fracciones pesadas del petróleo en las refinerías son aplicables a los plásticos. Estos procesos pueden ser solamente térmicos o también pueden realizarse en presencia de catalizadores. Entre los primeros figuran el craqueo térmico y la pirolisis que se realizan generalmente en ausencia de oxígeno a temperaturas comprendidas entre 400 y 800 °C y a presión reducida.

2) *Hidrogenación*: Es un proceso que licua los residuos plásticos antes de someterlos a tratamientos de pirolisis para conseguir olefinas y aromáticos. Tiene una capacidad para reciclar 40.000 t/año de plásticos molidos, incluyendo hasta un 10 % de PVC.



3) *Transformaciones catalíticas*: Estas transformaciones químicas son realizadas en presencia de catalizadores y conducen a fracciones hidrocarbonadas de diferente composición y uso.

Gasificación

El calentamiento de los plásticos en presencia de aire u oxígeno produce reacciones de oxidación que conducen a la obtención de gas de síntesis, que es una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno.

Reacciones de despolimeración

En el caso de los polímeros de condensación, el reciclado químico recupera los monómeros de partida que se destinan nuevamente a la obtención de polímero. Tal es el caso de los poliésteres, las poliamidas y por extensión se aplica también a los poliuretanos.

Pero las reacciones de despolimeración, están más asociadas a procesos hidrolíticos. Así por ejemplo las tres reacciones más importantes que se aplican al PET son:

1) *Metanolisis*: Consiste en la despolimerización total del plástico por acción del metanol. Es un proceso de trans-esterificación en el que se obtiene tereftalato de metilo y etilenglicol.

2) *Glicólisis*: Conduce a la despolimerización parcial por acción del etilenglicol, formando el éster hidroxietílico y mezcla de oligómeros. La mezcla de reacción se somete a purificación, siendo polimerizada posteriormente con resina virgen.

3) *Hidrólisis*: Es un proceso que conduce a la despolimerización total por acción del agua en presencia de ácidos o álcalis.

Valorización energética

La valorización energética es otro tipo de tratamiento térmico que se realiza a los plásticos muy degradados. Es una variante de la incineración, en la que la energía asociada al proceso de combustión es recuperada con fines energéticos. La valorización energética representa un proceso de recuperación de energía, y las plantas donde se realiza se asemejan a una central térmica.

En la recuperación energética se resuelven conjuntamente dos problemas importantes: la eliminación de residuos y la reducción del consumo de energías no renovables. La capacidad calorífica de los plásticos hidrocarbonados es comparable a la de los combustibles derivados del petróleo. La presencia de heteroátomos en las cadenas poliméricas disminuye la capacidad calorífica de las mismas. En el caso del PVC queda reducida al 50 % frente al valor que presentan las poliolefinas.

Además, hay que considerar que la combustión de los plásticos presenta ventajas frente a la combustión de recursos fósiles, ya que no se generan gases de óxidos de azufre que son los causantes, entre otros, de la lluvia ácida.



1) *Control de la incineración:* Las condiciones bajo las que se realiza la combustión han de estar muy controladas debido a las diferentes composiciones de aditivos incorporados a los plásticos, metales pesados como plomo, cadmio, cobre, etc., que son tóxicos en general. Por otra parte, la presencia de PVC en la mezcla de plásticos posconsumo, aporta a los gases de combustión ácido clorhídrico que en presencia de materia orgánica puede originar productos tóxicos derivados de las dioxinas y de los dibenzofuranos. Para que esto no ocurra, basta con controlar la temperatura durante el proceso de combustión, pues a temperaturas superiores a 600 °C no se producen este tipo de compuestos orgánicos. La incineración suele realizarse a temperaturas de 1000 °C.

2) *Situación de las centrales de recuperación de energía a partir de residuos:* La incineración de residuos domésticos con recuperación de energía representa la solución que más desarrollo va a tener en los próximos años. Países como Japón en que la falta de espacio físico para construir vertederos es notable, la incineración con recuperación energética es el tratamiento que se da a los RSU.

En Europa la situación es variable en cada País. Los países del resto de Europa son los que tienen mayor porcentaje de recuperación energética, mientras que los países del sur son los que dan las cifras más bajas. Se prevé que en los próximos años, la incineración con recuperación energética de los residuos plásticos alcance el 50 % de los mismos.

En España existen unas veinte instalaciones de incineración, de las cuales aproximadamente la mitad son pequeños hornos que apenas superan las 3000 t al año.

Degradación de plásticos

Aunque la degradación de los plásticos no representa en sí un proceso de gestión de los residuos, se considera en este capítulo ya que el resultado final conduce a la eliminación de los materiales plásticos posconsumo.

La degradación es un proceso dirigido a modificar la estructura del polímero para hacerlo vulnerable y perecedero y que desaparezca como residuo. Los procedimientos de degradación previstos se basan en la acción de la luz (foto degradación), del calor (degradación térmica), de la atmósfera (degradación oxidativa), de la humedad (degradación hidrolítica) y de los microorganismos (biodegradación). El primer efecto que causa la degradación es la disminución del peso molecular del polímero y en ocasiones aparece una reticulación en el mismo.

En el proceso de la degradación de un plástico se observan variaciones tanto físicas como químicas en el mismo. Entre las modificaciones físicas pueden citarse la pérdida de brillo y color, la formación de grietas, la aparición de zonas pegajosas, y endurecimientos con la consiguiente pérdida de propiedades.

Los cambios químicos producidos van dirigidos fundamentalmente a la aparición de grupos funcionales nuevos que se ha comprobado facilitan la ruptura de las cadenas macromoleculares.



Foto degradación

La mayoría de los materiales plásticos sufren un envejecimiento que lleva asociado una merma en sus propiedades cuando son sometidos durante largos periodos de tiempo a la radiación luminosa. Es el caso de los filmes de polietileno utilizados en la agricultura que con el tiempo pierden elasticidad, haciéndose frágiles, quebradizos, llegando a rasgar fácilmente. Este envejecimiento se atribuye a una reacción de foto oxidación térmica en cadena producida por la radiación luminosa de mayor energía correspondiente a una longitud de onda comprendida entre 290 y 350 nanómetros, en la que se generan grupos carbonilo. Estos grupos son los que desencadenan las reacciones degradativas del plástico.

Biodegradación

La mayoría de los plásticos son inmunes al ataque de microorganismos, hongos y levaduras aunque se modifiquen las condiciones ambientales de uso como la temperatura, el grado de humedad, la concentración de oxígeno, etc. Se ha comprobado que aquellos plásticos que han sufrido primeramente una foto oxidación, son vulnerables a ciertos microorganismos y a las enzimas generadas por éstos.

La condición estructural que favorece la biodegradación es que en la molécula exista un grupo carbonilo vecino a un átomo de carbono secundario o terciario para que pueda ser transformado por el microorganismo en un carbonilo, siendo en ese punto donde tiene lugar la fragmentación. Una vez formado el grupo carbonilo, el ataque continúa por acción de las enzimas mediante un proceso hidrolítico que reduce las cadenas macromoleculares a fragmentos de un peso molecular del orden de 500 que ya pueden ser digeridos por los microorganismos.

Para facilitar la biodegradación, suelen incorporarse al material polímeros naturales como el almidón o celulosa ya que al degradarse primeramente, dejan huecos y porosidades en el plástico que favorecen el desmoronamiento y degradación de aquellos. Estos polímeros naturales se degradan por reacciones de hidrólisis seguidas de oxidación posterior. También se sintetizan polímeros en los que existen en las cadenas grupos fácilmente hidrolizables, como amidas, ésteres, uretanos, etc.

Para que tenga lugar el proceso biodegradativo, han de darse ciertas condiciones en el medio como son, además de la presencia de microorganismos, una concentración adecuada de oxígeno y de humedad.

La temperatura debe controlarse en un intervalo determinado generalmente entre 20 y 60 °C y el pH del medio no debe ser ni demasiado ácido ni demasiado alcalino, por lo general está comprendido entre 5 y 8. En estas condiciones los microorganismos ejercen su acción degradativa.



II.3 Familias de plásticos

II.3.1- Termoplásticos

Son plásticos sintéticos, de fácil conformación y bajas características mecánicas. Debido a su bajo punto de reblandecimiento, la elaboración de productos resulta económica, pero impide su utilización a temperaturas algo superiores a la ambiente, lo que limita en gran medida su uso.

PEAD (Polietileno de alta densidad)

Sus propiedades más características son:

- Se obtiene a bajas presiones.
- Se obtiene a temperaturas bajas en presencia de un catalizador órgano-metálico.
- Su dureza y rigidez son mayores que las del PEBD.
- Su densidad es 940 kg/m^3 .
- Su aspecto varía según el grado y el grosor.
- Es impermeable.
- No es tóxico.
- Gran resistencia a los químicos
- Su temperatura de ablandamiento es de $120 \text{ }^\circ\text{C}$.

Es un polímero obtenido del etileno en cadenas con moléculas bastantes juntas. Se utiliza para fabricar envases de distintos tipos de fontanería, tuberías flexibles, prendas textiles, contenedores de basura, papeles, etc.

PEBD (Polietileno de baja densidad)

Sus propiedades más características son:

- Se obtiene a altas presiones.
- Se obtiene en temperaturas altas y en presencia de oxígeno.
- Es un producto termoplástico.
- Tiene densidad 920 kg/m^3
- Es blando y elástico a partir de los $85 \text{ }^\circ\text{C}$
- El film es totalmente transparente dependiendo del grosor y del grado.
- No es tóxico



- Es un buen aislante

Se utiliza para bolsas y sacos de los empleados en comercios y supermercados, tuberías flexibles, aislantes para conductores eléctricos (enchufes, conmutadores), juguetes, etc. que requieren flexibilidad.

PP (Polipropileno)

Sus propiedades más características son:

- Excelente comportamiento bajo tensiones y estiramientos.
- Baja densidad
- Resistencia mecánica.
- Elevada flexibilidad.
- Es opaco
- Gran resistencia al calor comparado con otros (se ablanda a 150 °C)
- Resistencia a la intemperie.
- Reducida cristalización.
- Fácil reparación de averías.
- Buenas propiedades químicas y de impermeabilidad.
- Aprobado para aplicaciones con agua potable.
- No afecta al medio ambiente.

Se emplean en la fabricación de estuches, y tuberías para fluidos calientes, jeringuillas, carcasa de baterías de automóviles, electrodomésticos, muebles (sillas, mesas), juguetes, y envases. Otra de sus propiedades es la de formar hilos resistentes aptos para la fabricación de cuerdas, zafras, redes de pesca.

PVC (Policloruro de vinilo)

Sus propiedades más características son:

- Es el material plástico más versátil
- Es necesario añadirle aditivos para que adquiera las propiedades que permitan su utilización en las diversas aplicaciones.
- Puede ser flexible o rígido.
- Puede ser transparente, translúcido u opaco
- Puede ser compacto o espumado.



- Tiene un bajo precio.
- Posee una gran resistencia a los líquidos corrosivos

El PVC en su presentación más rígida se emplea para fabricar tuberías de agua, tubos aislantes y de protección, canalones, revestimientos exteriores, ventanas, puertas y escaparates, conducciones y cajas de instalaciones eléctricas.

El Nailon

Sus propiedades más características son:

- Es muy duro
- Es muy resistente al desgaste
- Posee un coeficiente de rozamiento bajo
- Tiene una temperatura de reblandecimiento alta

Esta registrado como marca bajo el nombre de *Nylon*. En su forma de fibra se utiliza en la industria textil y para la fabricación de hilos de pescar. Por su resistencia se usa para fabricar piezas de automóviles como engranajes, levas, ruedas, tornillos...etc.

PS (Poliestireno)

Sus propiedades más características son:

- Termoplástico ideal para la elaboración de cualquier tipo de pieza o envase
- Más frágil que otros plásticos pero resiste bien los golpes
- Higiénico y económico.
- Cumple la reglamentación técnico - sanitaria española.
- Fácil de serigrafiar.
- Fácil de manipular,
- Se puede cortar
- Se puede taladrar
- Se puede perforar.

Sus formas de presentación más usuales son la laminar. Se usa para fabricar envases, tapaderas de bisutería, componentes electrónicos y otros elementos que precisan una gran ligereza, muebles de jardín, mobiliario de terraza de bares, etc. La forma esponjosa también se llama PS expandido con el nombre *porexpan* o corcho blanco, que se utiliza para fabricar embalajes y envases de protección, así como en aislamientos térmicos y acústicos en paredes y techos. También se emplea en las instalaciones de calefacción.



El Metacrilato

Sus propiedades más características son:

- Es muy duro
- Tiene una transparencia casi vítrea

Debido a estas propiedades, se le emplea para la fabricación de difusores de los pilotos de los automóviles, cristales para gafas protectoras, muebles y estanterías...

II.3.2- Termoestables

Por calentamiento, se ablandan y pueden moldearse, pero en estos plásticos se produce una reacción química, de forma que al enfriarse permanecen rígidos, impidiendo las posteriores deformaciones por sucesivos calentamientos.

La Baquelita (PF)

Sus propiedades más características son:

- Es dura
- Es frágil
- Tiene color oscuro, brillante, con aspecto metálico
- Es un buen aislante

También se conoce con el nombre del *fenol-formaldehído* y con la denominación *fenoplastos*. Fue uno de los primeros plásticos que se obtuvieron. En ocasiones, las piezas de Baquelita se confunden a veces con piezas mecánicas, como las empleadas en la fabricación de electrodomésticos y en la industria del automóvil. Por ser un buen aislante se emplea en la fabricación de elementos eléctricos y electrónicos: Interruptores, enchufes, placa de soporte para circuitos impresos. Al no ablandarse por el calor y por aprovechar sus propiedades aislantes tanto térmicas como eléctricas, la Baquelita también se emplea para mangos de utensilios y aparatos sometidos al calor, aparatos de mandos eléctricos, tapones.

Urea-Formaldehído (UF)

Sus propiedades más características son:

- Más duro que la Baquelita
- Es incoloro pero se puede tinter más fácil que la Baquelita
- Magnífico aislante térmico y eléctrico

Se emplea en la fabricación de aparatos de mando y control, elementos de circuitos eléctricos, elementos decorativos, carcasa de pequeños aparatos, etc.



La Melamina (MF)

Sus propiedades más características son:

- Propiedades muy parecidas a las de la Baquelita pero además:
- Resiste muy bien los golpes
- Se le puede dar propiedades refractarias
- Se puede colorear

La posibilidad de darle propiedades refractarias la hacen apropiada para uso doméstico en cocinas y como recubrimiento por sus cualidades estéticas. Se utiliza en la fabricación de elementos que requieren dureza y resistencia como vajillas, tableros de madera contrachapados o madera aglomerada.

Poliéster (RS)

Sus propiedades más características son:

- Polimeriza a temperatura ambiente al aplicársele un elemento químico endurecedor
- Es rígido
- Posee gran dureza
- Es frágil

También puede denominarse *resina-poliéster*. El poliéster puede obtenerse en formas de kilos. Se emplea en la fabricación de fibras sintéticas textiles, *tergal*, *terylene* y *terlenka*. Estos tejidos son adecuados para prendas de vestir, puesto que no se arrugan, no encogen y se secan fácilmente. El poliéster mejora sus características mecánicas al ser reforzado con fibra de vidrio, lo que le convierte en un material muy resistente, empleado en la fabricación de depósitos, contenedores, bidones y piscinas.

El poliéster reforzado con fibra de vidrio u otras fibras se emplea también en la aeronáutica y en la industria del automóvil en forma de paneles para construir carrocerías, así como tapicerías y accesorios del vehículo.

II.3.3- Elastómeros

Tienen un comportamiento muy elástico, alta adherencia y son blandos. Los más sobresalientes son los siguientes:

El caucho

Sus propiedades más características son:

- Es elástico



- Es resistente
- El sintético se obtiene por polimerización
- Existen tres tipos: natural, sintético y vulcanizado

Procede de la coagulación del látex de varios árboles de los países tropicales, principalmente del género *hevea*. El sintético está producido en laboratorio mediante un grupo de sustancias obtenidas por polimerización y posee las mismas propiedades que el caucho natural, aunque el sintético está menos valorado que el natural ya que el último es mucho más escaso que el primero. Otro tipo de caucho es el Caucho vulcanizado, que es el que está tratado mediante azufre y calor.

Neopreno

Sus propiedades más características son:

- Es un gran aislante
- Su inercia química lo hace muy útil
- Tiene gran flexibilidad

Es un plástico de caucho artificial obtenido mediante ciertos procesos químicos con hidrocarburos tratados en todo momento. Algunos de los trajes de bomberos, aunque suelen estar hechos de poliuretano, están constituidos por este material.

Silicona

Sus propiedades más características son:

- Gran estabilidad ante agentes químicos
- Aspecto pastoso y transparente
- Aislante eléctrico

Tiene buen poder de adherencia y son hidrófugas, por lo que se emplea en construcción como elemento de sellado de juntas. Por su comportamiento dermatológico de prótesis mamarias.



II.4 Procesos de conformación de plásticos

La conformación de un material consiste en darle una forma predefinida y estable, cuyo comportamiento sea adecuado a las aplicaciones a las cuales está destinado. Es muy fácil conformar polímeros, admitiendo los mismos procesos que los metales.

Los métodos de conformación son distintos dependiendo de la materia prima de la cual se parte. Así consideramos dos tipos de conformación: para termoestables (incluiremos en este grupo a los elastómeros) y para termoplásticos.

II.4.1- Conformación de Plásticos Termoestables

Los polímeros termoestables o termoendurecibles presentan la propiedad de endurecer bajo determinadas condiciones de presión y calor. Si se mantienen estas condiciones el tiempo necesario (tiempo de curado) tendrá lugar la reacción química por la cual se estabiliza el plástico (degradación). Mediante esta reacción se pierde parte de las moléculas, y el resto de las moléculas permanecen entrelazadas incluso después de que deje de actuar la presión. Ello explica que los plásticos termoestables no pueden ser reprocesados. Existen pocas técnicas de conformado para termoestables.

Moldeo por compresión

En el moldeo por compresión se vierte la materia prima (polvo, gránulos, etc.) en el molde, se cierra éste, y mediante calor y presión se deja fundir el plástico para que adopte la forma del objeto que se quiere obtener, como se puede ver en la figura 1.

La materia prima puede ser en forma de “bloques”, más manejables que el polvo. Se pueden precalentar en horno de alta frecuencia, lo cual reduce el “tiempo de un ciclo” en la máquina de moldear.

Los moldes constan de una cavidad o molde hembra y de un molde macho. Pueden estar los dos moldes unidos a sendas prensas o solamente actúa una prensa sobre el macho. Ambos moldes se alinean mediante unas espigas de guía.

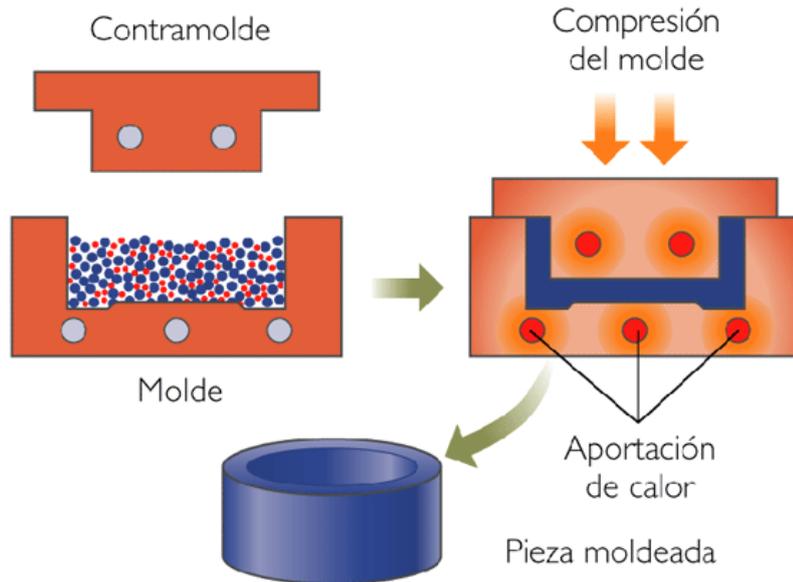


Figura 1 - *Moldeo por compresión*

Las prensas suelen ser hidráulicas, y se pueden equipar con platos de calefacción que transmiten su calor a los moldes.

Las piezas moldeadas resultan de alta calidad, haciendo falta solamente quitar las rebabas.

Aplicaciones

Generalmente se aplica a los termoestables, pero también se emplea este conformado con materiales que se moldean en frío como son ciertas resinas (en este caso los moldes están fríos). Se utiliza raramente con materiales termoplásticos debido a los altos tiempos de calentamiento (hasta su estado plástico), y de refrigeración (hasta la rigidez).

Se aplica en piezas pequeñas como accesorios eléctricos del tipo de la figura 2 (interruptores, enchufes, pulsadores, clavijas etc.), mangos de cazos y de cubiertos, tapones de botellas, o pomos de puertas, y otras mayores como asientos de inodoros.



Figura 2 - *Ejemplo de pieza fabricada por moldeo por compresión*

Moldeo por transferencia

Se diferencia del moldeo por compresión en que la fase de fluidificación tiene lugar en una cámara exterior a la de moldeo. El material, en estado pastoso, se introduce en una cavidad desde donde, por medio de un pistón, es obligado a fluir hasta el interior del molde como vemos en la figura 3.

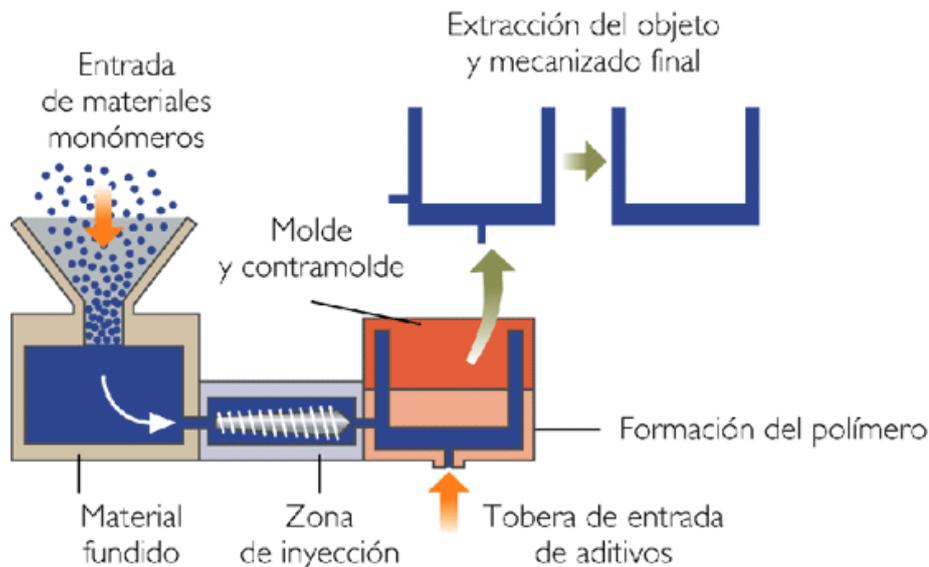


Figura 3 - *Proceso de moldeo por transferencia*

Las piezas así obtenidas tienen menos rebabas, mayor precisión y un curado más homogéneo que en el moldeo por compresión, sobretodo en grandes piezas. Los moldes pueden tener forma de racimo dando lugar cada uno a varias piezas.

Aplicaciones

Principalmente para termoestables, en la fabricación de grandes series, por ser un proceso rápido y económico.

II.4.2- Conformación de Plásticos Termoplásticos

Los polímeros termoplásticos o termoplasticos se comportan de una forma plástica a elevadas temperaturas, y al enfriarse se solidifican con la forma deseada. Pueden ser conformados en caliente, enfriados y posteriormente ser recalentados de nuevo sin variar su comportamiento. Admiten pues conformados sucesivos.

Los métodos de conformación que se han estudiado (moldeo por compresión y por transferencia) se adaptan más a los polímeros termoestables pero también pueden utilizarse en ocasiones con los termoplásticos.

Extrusión

Este método de conformación se emplea para obtener perfiles de determinada longitud o fabricación continua. Si la forma continua es tubular se llama macarrón o parisón.

El material termoplástico pasa a través de una máquina llamada extrusora que consta de las siguientes partes representadas en la figura 4:

- Una tolva de alimentación, donde se vierte el polímero en forma de gránulos, polvo o similar.
- Un cilindro en el interior del cual se encuentra un husillo o tornillo sinfín, que en su movimiento de giro empuja la masa de plástico caliente hacia la boquilla.
- Una boquilla o hilera, que confiere al plástico la forma de perfil deseado.
- Una unidad de refrigeración a la salida de la hilera.
- Una bobinadora, cuando la fabricación es continua, que enrolla el producto terminado.

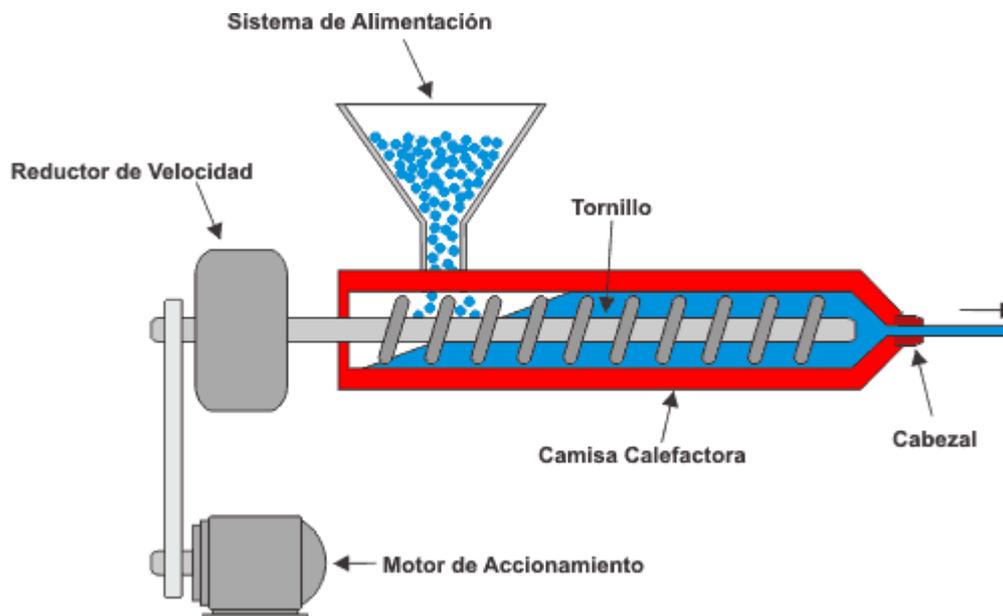


Figura 4 - Partes de la instalación de moldeo por extrusión

El grado de plasticidad necesario se obtiene de dos formas:

- Calefactando el cilindro y la boquilla mediante termopares
- Como consecuencia del calor desarrollado por el rozamiento del plástico con el husillo, al girar éste. Este calor de fricción se puede incrementar de distintas formas:



- Utilizando husillos cuyo núcleo es de diámetro creciente hacia la boquilla, de manera que el espacio que queda entre el husillo y la pared del cilindro va disminuyendo y se ejerce sobre la masa mayor presión.
- Utilizando tornillos en los cuales se disminuye el paso de rosca hacia la boquilla.
- Combinando dos o más husillos en paralelo.

Debido al paso de la masa plástica a presión y temperatura elevadas, la superficie interna de los cilindros debe ser altamente resistente a la corrosión y a la abrasión. Normalmente es de acero nitrurado o al cromo.

Se suele acoplar entre el tornillo y la boquilla un “strainer” o placa perforada que homogeneiza el flujo de la masa. Esta misma placa puede actuar de plato cortador para separar las piezas terminadas de la máquina.

Un caso particular de extrusora es el de las prensas helicoidales de pistón o émbolo, en las cuales la parte frontal del husillo tiene forma de pistón. El husillo gira, y cuando la masa plástica llega al pistón se detiene el giro y mediante un movimiento axial impulsa el material fuera del cilindro.

Aplicaciones

Aparte de los perfiles, tubos, varillas, etc. como los de la figura 5 obtenidos según la forma de la boquilla, destacan algunos casos particulares de aplicación de la extrusión:

- Filmes de polietileno de baja densidad (PEBD): el material sale de una hilera en forma circular y es soplado en su interior por medio de aire comprimido, formándose una gran burbuja. A continuación el material casi enfriado pasa por un tren de laminado y otro de calandrado para conseguir el espesor deseado.
- Recubrimiento de cables eléctricos: el cable desnudo pasa por la boquilla calibrada que deja adherido el plástico aislante.
- Tubos: se utiliza la extrusión para tubos de hasta 500 mm de diámetro.
- Hilado de plásticos en filamentos y fibras: las hileras son placas o tubos con orificios finísimos que obtienen hebras de los polímeros. Este tipo de boquilla se llama hilador.



Figura 5 - *Tubos fabricados por extrusión*

Moldeo por extrusión y soplado

En este proceso una extrusora coloca la materia prima, en forma de tubo o macarrón de longitud determinada, que se aprisiona entre dos semimoldes según los pasos representados en la figura 6.

Una vez cerrado el molde, la parte inferior del tubo queda estrangulada, mientras que por la parte superior se insufla aire a presión para que la película de plástico se adapte a las paredes del molde.

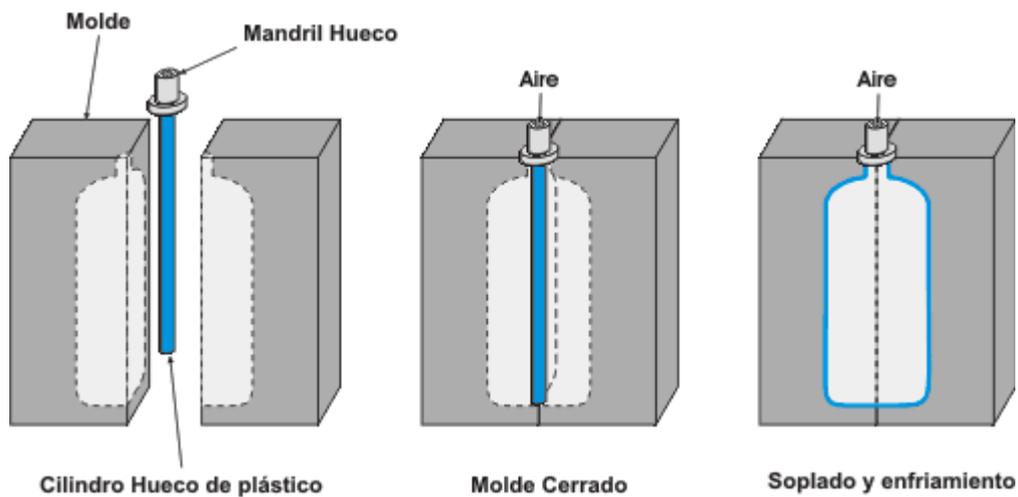


Figura 6 - *Fases del moldeo por extrusión y soplado*

Se enfría al tomar contacto con el metal refrigerado (molde). Las rebabas que quedan se cortan y se expulsan automáticamente al abrir el molde.

Aplicaciones

Se utiliza para fabricar cuerpos huecos como botellas, regaderas, balones, bidones, etc.

Moldeo por inyección y soplado

Este moldeo se diferencia del anterior en que no parte de un macarrón sino de una preforma obtenida por inyección (por ejemplo una botella en pequeño). La preforma es estirada (la botella pequeña se alarga, con un diámetro pequeño) y posteriormente soplada (forma final con el diámetro normal). Podemos verlo en la figura 8.

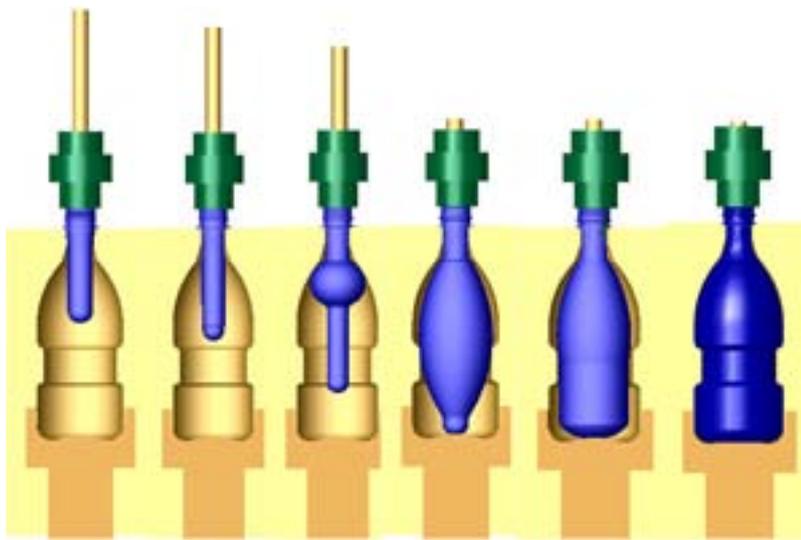


Figura 8 - *Desarrollo del proceso de moldeo por estirado y soplado*

Aplicaciones

Se utiliza sobretodo para botellas de refrescos gaseosos y de aceite tipo al de la figura 7.



Figura 7 - *Botella fabricada por moldeo por extrusión y soplado*

Moldeo centrífugo

Es un método de fabricación de cuerpos huecos de espesor muy homogéneo representado en la figura 9.

Consiste en introducir una cierta cantidad de polímero en estado fluido en un molde que gira por su eje de simetría a alta velocidad, dentro de un horno caliente. La masa será suficiente para conseguir en el objeto el espesor deseado. La fuerza centrífuga hace que el material sea distribuido uniformemente sobre las paredes del molde, sin que se formen orientaciones ni tensiones residuales. A continuación se enfría y se extrae del molde.

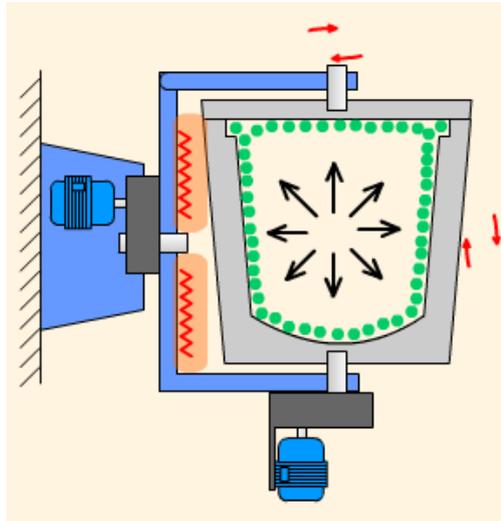


Figura 9 - *Instalación de moldeo centrífugo*

Aplicaciones

Este método se emplea para la fabricación de objetos que tienen la forma de sólidos de revolución huecos y para tubos de gran diámetro y no muy largos. Resulta un proceso económico por cuanto el molde no sufre la abrasión de otros métodos.

Moldeo por inyección

Concepto general

Al tratarse de la técnica de conformación de plásticos que vamos a utilizar en este proyecto se va a realizar un estudio más en profundidad que al resto de procesos ya mencionados. Aquí hablamos de los procesos de moldeo por inyección en general, pero más adelante se concretará todo en relación a nuestro molde.

En ingeniería, el moldeo por inyección es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero o cerámico en estado fundido en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En



ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada. En la figura 10 podemos ver un ejemplo de cómo es una máquina de inyección de plásticos.



Figura 10 – *Máquina de inyección de plásticos*

La popularidad de este método se explica con la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez de fabricación, el diseño escalable desde procesos de prototipos rápidos, altos niveles de producción y bajos costos, alta o baja automatización según el costo de la pieza, geometrías muy complicadas que serían imposibles por otras técnicas, las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado pues son terminadas con la rugosidad de superficie deseada, color y transparencia u opacidad, buena tolerancia dimensional de piezas moldeadas con o sin insertos y con diferentes colores.

Para la fabricación de piezas se necesita una máquina de inyección que incluya un molde. En este último, se fabrica una cavidad cuya forma y tamaño son idénticos a las de la pieza que se desea obtener. La cavidad se llena con plástico fundido, el cual se solidifica, manteniendo la forma moldeada.

Los polímeros conservan su forma tridimensional cuando son enfriados por debajo de su Temperatura de transición Vítrea (T_g) y, por tanto, también de su temperatura de fusión para polímeros semicristalinos. Los polímeros amorfos, cuya temperatura útil es inferior a su T_g , se encuentran en un estado termodinámico de pseudo equilibrio. En ese estado, los movimientos de rotación y de relajación (desenredo de las cadenas) del polímero están altamente impedidos. Es por esta causa que, en ausencia de esfuerzos, se retiene la forma tridimensional. Los polímeros semicristalinos poseen, además, la característica de formar cristales. Estos cristales proporcionan estabilidad dimensional a la molécula, la cual también es (en la región cristalina) termodinámicamente estable. La entropía



de las moléculas del plástico disminuye drásticamente debido al orden de las moléculas en los cristales.

La unidad de inyección

La función principal de la unidad de inyección es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se utilizan husillos de diferentes características según el polímero que se desea fundir. El estudio del proceso de fusión de un polímero en la unidad de inyección debe considerar tres condiciones termodinámicas:

- La temperatura de procesamiento del polímero.
- La capacidad calorífica del polímero C_p [cal/g °C].
- El calor latente de fusión, si el polímero es semicristalino.

El proceso de fusión involucra un incremento en el calor del polímero, que resulta del aumento de temperatura y de la fricción entre el barril y el husillo. La fricción y esfuerzos cortantes son básicos para una fusión eficiente, dado que los polímeros no son buenos conductores de calor. Un incremento en temperatura disminuye la viscosidad del polímero fundido; lo mismo sucede al incrementar la velocidad de corte. Por ello ambos parámetros deben ser ajustados durante el proceso. Existen, además, metales estándares para cada polímero con el fin de evitar la corrosión o degradación. Con algunas excepciones (como el PVC), la mayoría de los plásticos pueden utilizarse en las mismas máquinas.

La unidad de inyección, cuyo esquema podemos ver en la figura 11, es en origen una máquina de extrusión con un sólo husillo, teniendo el barril calentadores y sensores para mantener una temperatura programada constante. La profundidad entre el canal y el husillo disminuye de forma gradual (o drástica, en aplicaciones especiales) desde la zona de alimentación hasta la zona de dosificación. De esta manera, la presión en el barril aumenta gradualmente. El esfuerzo mecánico, de corte y la compresión añaden calor al sistema y funden el polímero más eficientemente que si hubiera únicamente calor, siendo ésta la razón fundamental por la cual se utiliza un husillo y no una autoclave para obtener el fundido.

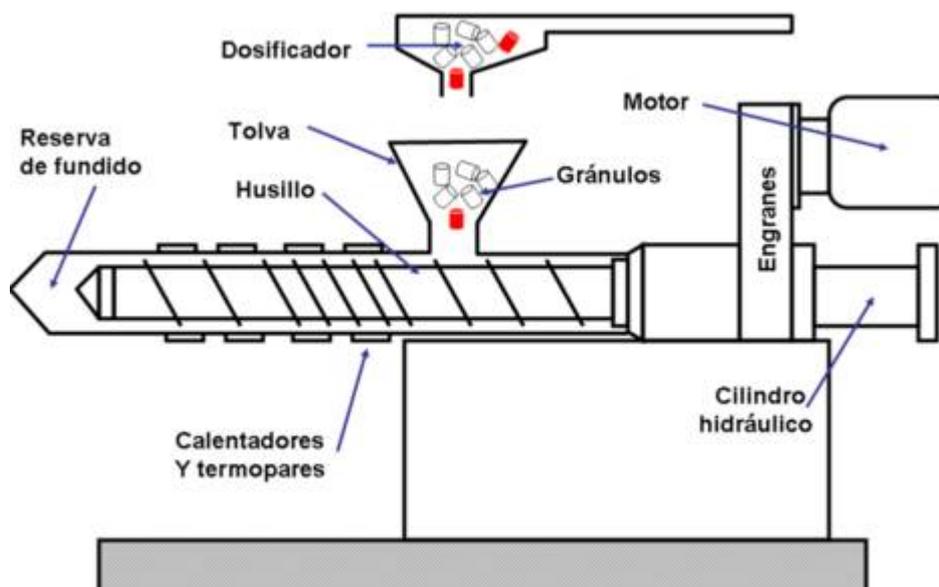


Figura 11 – *Diseño genérico de la unidad de inyección*

Una diferencia sustancial con respecto al proceso de extrusión es la existencia de una parte extra llamada cámara de reserva. Es allí donde se acumula el polímero fundido para ser inyectado. Esta cámara actúa como la de un pistón; toda la unidad se comporta como el émbolo que empuja el material. Debido a esto, una parte del husillo termina por subutilizarse, por lo que se recomiendan cañones largos para procesos de mezclado eficiente. Tanto en inyección como en extrusión se deben tomar en cuenta las relaciones de PvT (Presión, volumen, temperatura), que ayudan a entender cómo se comporta un polímero al fundir.

Unidad de cierre

Es una prensa hidráulica o mecánica, con una fuerza de cierre bastante grande que contrarresta la fuerza ejercida por el polímero fundido al ser inyectado en el molde. Las fuerzas localizadas pueden generar presiones del orden de cientos de MPa, que sólo se encuentran en el planeta de forma natural únicamente en los puntos más profundos del océano.

Si la fuerza de cierre es insuficiente, el material escapará por la unión del molde, causando así que el molde tienda a abrirse. Es común utilizar el área proyectada de una pieza (área que representa perpendicularmente a la unidad de cierre el total de la cavidad) para determinar la fuerza de cierre requerida, excluyendo posibles huecos o agujeros de la pieza.

$$F = P_m \times A_p$$

Donde:

F = Fuerza (N)

P_m = Presión media (Pa)

A_p = Área proyectada (m^2)



El molde

El molde (también llamado herramienta) es la parte más importante de la máquina de inyección, ya que es el espacio donde se genera la pieza; para producir un producto diferente, simplemente se cambia el molde, al ser una pieza intercambiable que se atornilla en la unidad de cierre. Existen dos tipos importantes de molde, uno en la que inyecta plástico y otra en la que inyecta metal.

Las partes del molde son:

- Cavidad: es el volumen en el cual la pieza será moldeada.
- Canales: son conductos a través de los cuales el polímero fundido fluye debido a la presión de inyección. El canal de alimentación se llena a través de la boquilla, los siguientes canales son los denominados bebederos y finalmente se encuentra el ataque.
- Canales de enfriamiento o refrigeración: Son canales por los cuales circula refrigerante (el más común agua) para regular la temperatura del molde. Su diseño es complejo y específico para cada pieza y molde, esto en vista de que la refrigeración debe ser lo más homogénea posible en toda la cavidad y en la parte fija como en la parte móvil, esto con el fin de evitar los efectos de contracción. Cabe destacar que al momento de realizar el diseño de un molde, el sistema de refrigeración es lo último que se debe diseñar.
- Barras expulsoras: al abrir el molde, estas barras expulsan la pieza moldeada fuera de la cavidad, pudiendo a veces contar con la ayuda de un robot para realizar esta operación.

Ciclo de moldeo

En el ciclo de moldeo se distinguen 6 pasos principales:

- Molde cerrado y vacío. La unidad de inyección carga material y se llena de polímero fundido.
- Se inyecta el polímero abriéndose la válvula y, con el husillo que actúa como un pistón, se hace pasar el material a través de la boquilla hacia las cavidades del molde.
- La presión se mantiene constante para lograr que la pieza tenga las dimensiones adecuadas, pues al enfriarse tiende a contraerse.
- La presión se elimina. La válvula se cierra y el husillo gira para cargar material; al girar también retrocede.
- La pieza en el molde termina de enfriarse (este tiempo es el más caro pues es largo e interrumpe el proceso continuo), la prensa libera la presión y el molde se abre; las barras expulsan la parte moldeada fuera de la cavidad.
- La unidad de cierre vuelve a cerrar el molde y el ciclo puede reiniciarse.



Colada fría y colada caliente

Existen dos tipos de colada. La colada fría es el remanente de polímero solidificado que queda en los canales, y que es necesario cortar de la pieza final. La colada caliente mantiene al polímero en estado fundido para continuar con la inyección. Con esta técnica se ahorra una considerable cantidad de plástico. Pero algunas de las desventajas la convierten en una técnica poco popular: los pigmentos deben tener mayor resistencia a la temperatura, el polímero aumenta su historia térmica, el molde debe ser diseñado especialmente para esto, pueden haber fluctuaciones en el ciclo de moldeo, etc.



III.- Diseño del molde



III.- Diseño del molde

III.1- Selección de la pieza

Para diseñar el molde, es imprescindible conocer la geometría de la pieza que queremos fabricar. Partimos de que existe una necesidad de fabricar esta pieza, bien sea porque es un componente que forma parte de algún conjunto o porque es útil en sí misma. Por lo tanto, definiremos la geometría y demás características tales como la textura de nuestra pieza en base a la función que vaya a desempeñar.

En este caso, somos nosotros mismos quienes definimos la geometría y características de esta pieza, ya que no hay ninguna empresa que nos las facilite. Por lo tanto, se decide que vamos a diseñar un molde para fabricar un obturador, el cual debería de cumplir una funcionalidad dentro de un conjunto de piezas que formasen una cámara de fotos.

La geometría la definimos nosotros mismos y se puede ver en las figuras 12, 13 y 14 pero en un caso práctico en una industria nos vendría especificada por nuestro cliente. Nosotros hemos elegido una pieza pequeña, la cual podríamos introducir en un cubo de 20 x 20 x 12 mm aproximadamente. Sin embargo, se trata de una geometría compleja con el objetivo de que nos de juego a la hora de realizar las simulaciones con el programa MoldFlow.

La pieza para la que vamos a diseñar el molde la podríamos subdividir en cuatro cuerpos. Como base de ellos tenemos una pared de pequeño espesor y de forma trapezoidal. Unido perpendicularmente a él tenemos otra pared de también pequeño espesor que podríamos asemejar a un sable, pero con un rasgado a lo largo. Con un eje paralelo al primer muro trapezoidal, tenemos unido a la derecha de éste un cilindro hueco. A su vez, tenemos el cuarto y último subcuerpo en forma de extrusión saliente de la parte inferior del cilindro.

La textura, densidad y demás características serán las propias del material que se elija para fabricar una pieza con esta geometría y que nos asegure una robustez suficiente como para que cumpla su funcionalidad. En lo que respecta al color no se le exige ninguna coloración concreta a la pieza ya que se trata de una pieza interior y no visible de la cámara de fotos. Nuestra pieza tendrá así la coloración propia del plástico.

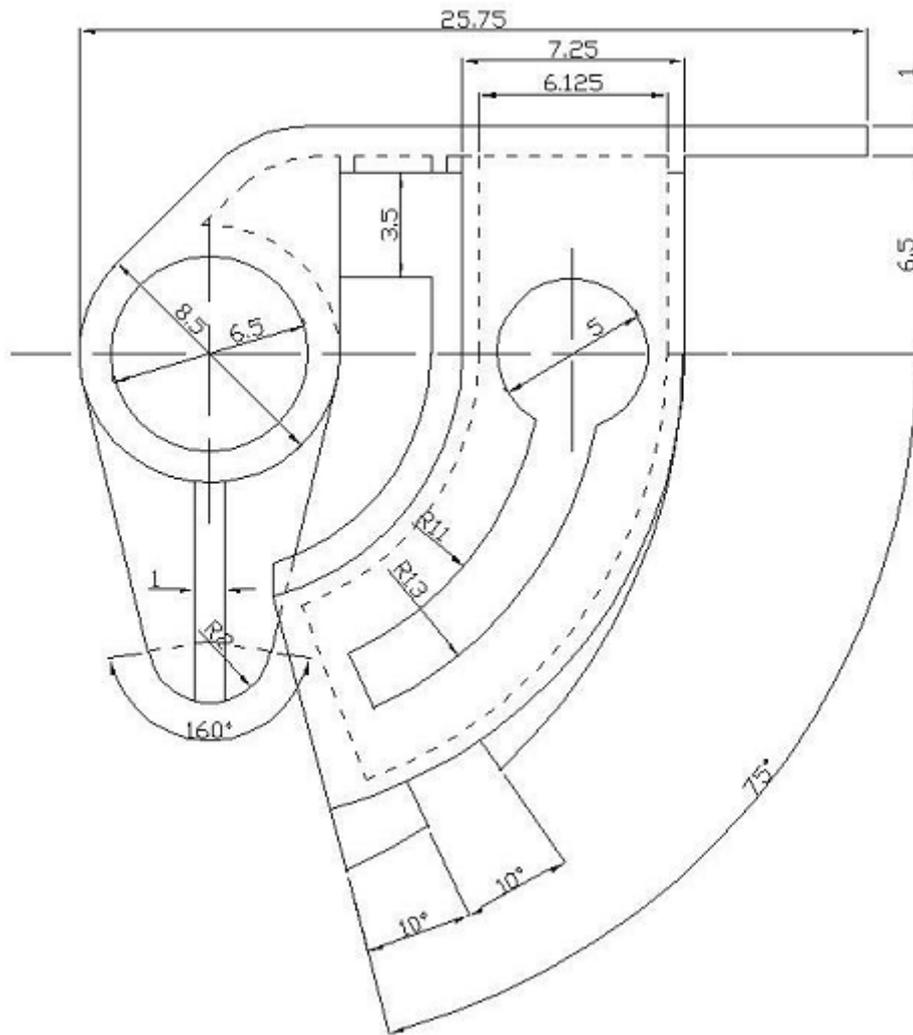


Figura 12 – Planta de la pieza

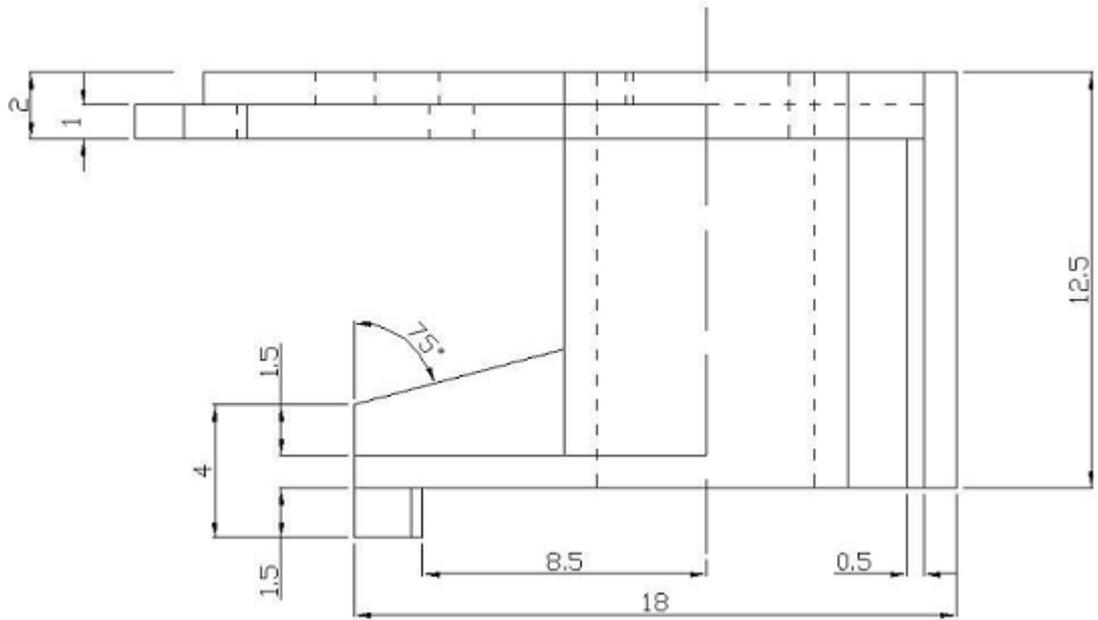


Figura 13 – Perfil de la pieza

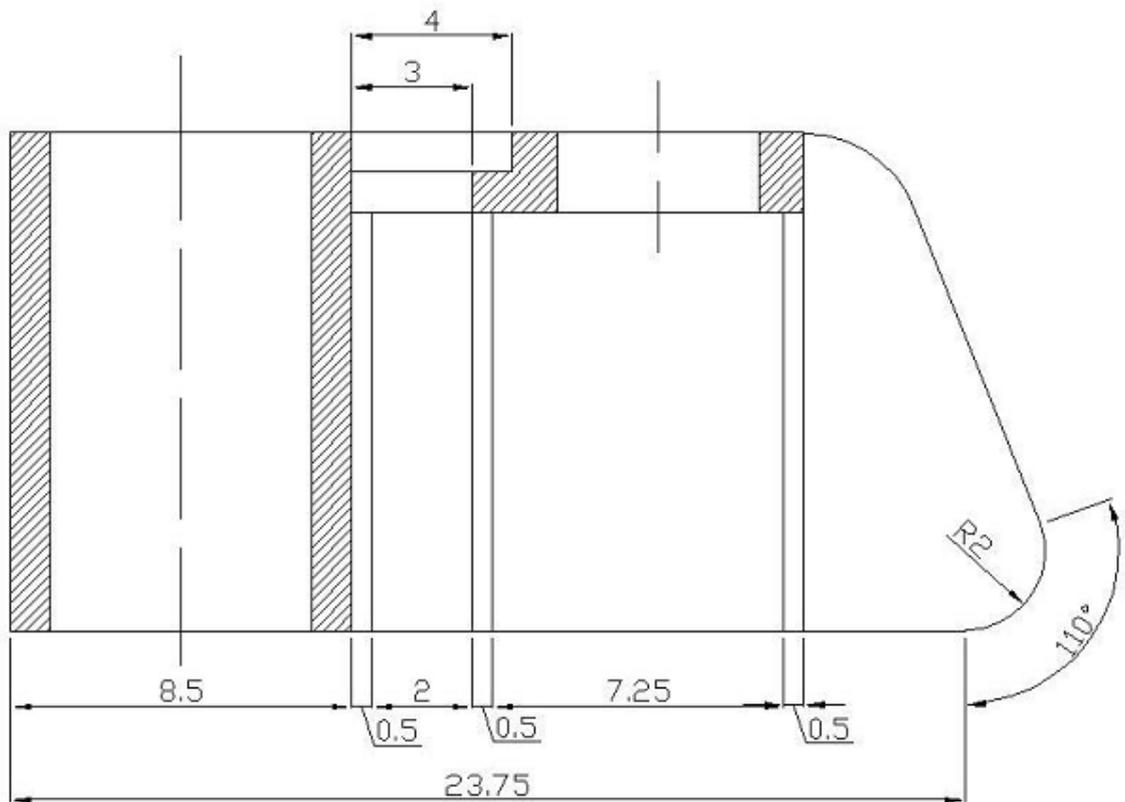


Figura 14 – Alzado de la pieza

III.2- Selección del material de la pieza

III.2.1- Introducción

Aunque el diseñador del molde normalmente no suele ser quien selecciona el material de moldeo, éste debe estar al tanto de los aspectos y características más importantes que influyen en el moldeo de determinados plásticos. Por ejemplo, el factor de contracción a veces varía ampliamente entre diferentes materiales y podría también variar entre diferentes calidades y versiones del mismo material. Además, algunos materiales absorberán y disiparán calor más eficientemente que otros, resultando un proceso de enfriamiento más eficiente durante el proceso de moldeo. Esto podría afectar a la localización de los canales de refrigeración en el molde. Por otra parte, la viscosidad de un plástico determinado tiene una gran influencia en el diseño, localización y construcción del ataque, canales y vientos.

III.2.2- Contracción

Todo material conocido (con excepción del agua) se expande cuando es calentado y se encoge cuando se enfría. En el campo de los plásticos definimos la fase de encogimiento como contracción. Cada material plástico posee un factor de contracción propio. Este factor se usa para estimar cuanto se contrae una pieza después de ser sacada del molde. Después de determinarlo, el molde puede ser construido conforme a unas dimensiones que crean un molde lo suficientemente grande como para que contraiga hasta el tamaño final deseado después de la contracción.

Los plásticos que se contraen por igual en todas las direcciones (materiales amorfos) se dice que tienen una contracción isotrópica. Algunos plásticos (materiales cristalinos) se contraerán más en la dirección del flujo que en la dirección perpendicular (a no ser que sean reforzados, en cuyo caso la contracción es mayor en la dirección perpendicular al flujo). Este tipo de contracción, que no es igual en todas las direcciones, se conoce como contracción anisótropa. En la figura 15 se muestran ambos tipos de contracción.

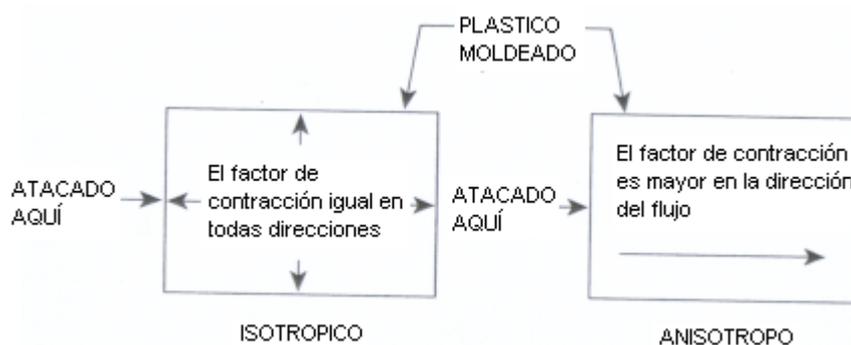


Figura 15 – Diferencia de contracción según el material



Los factores de contracción se asignan por un principio cm. a cm. lo que significa que el factor se aplica a cada centímetro de cada dimensión del producto a moldear. Por ejemplo, si un producto tiene que tener 6 cm de longitud y el factor de contracción es 0.010 cm/cm, la cavidad del molde debe de ser hecha para que mida 6.06 cm de longitud para que produzca una pieza de 6 cm.

Los factores de contracción se clasifican en bajo, medio o alto. El bajo es comúnmente desde 0.000 cm/cm hasta 0.005 cm/cm. El mediano va desde 0.006cm/cm hasta 0.010 cm/cm y el alto comprende a todo aquél superior a 0.075 cm/cm. Los materiales amorfos tienden a tener baja contracción, los semicristalinos media y los cristalinos alta. Si se refuerza el plástico con cristal la contracción será menor que si no se le añade refuerzo. Eso se debe a que el cristal no-contráctil aumenta en volumen de la masa y disminuye la contracción de la masa total.

Es difícil estimar la contracción porque hay muchos aspectos que influyen en el resultado de la contracción final. Cambios en el espesor de la pieza en el diseño del producto podrían causar diferentes contracciones en ciertas áreas de la pieza moldeada. Variaciones de temperatura en el molde (mayor que 5,5 °C entre dos puntos cualesquiera) podría influir en variar las áreas de contracción de la pieza moldeada.

No es inusual tener que *desarrollar* el molde acorde a la idiosincrasia de la contracción del material a moldear. Por ejemplo, en un caso en el que un agujero es moldeado usando un macho fijado en el molde, el macho será hecho a la medida del diámetro más la contracción. A pesar de ello el producto terminado podría ser moldeado con el agujero teniendo un diámetro alargado en vez de uno circular debido a las condiciones de contracción. Una vez se haya optimizado oportunamente el proceso de moldeado, el macho podría tener que ser mecanizado para que la pieza moldeada final, después de enfriar y sufrir la contracción, tenga un verdadero diámetro circular. Este proceso de desarrollo podría ocurrir en áreas de la cavidad debido a las características de contracción del material a moldear y el diseño del producto.

III.2.3- Presión y viscosidad

La viscosidad es una medida del espesor de un material en su estado líquido (fundido). Cuanto más viscoso, más espeso el material. Un material de alta viscosidad requiere de menos presión de inyección para introducirlo a través del molde que un plástico de menor viscosidad. Además, los materiales de alta viscosidad requieren menores diámetros de canal y menores volúmenes de ataque para permitir un flujo adecuado. También los materiales con mayor viscosidad permiten vientos más profundos para una eliminación más rápida del aire atrapado.

La viscosidad de un plástico determina cuanta presión se necesitará para inyectarlo en un molde. La viscosidad se mide por elaborados y relativamente caros equipos de ensayo. Lo más común es usar un ensayo ASTM D1238, que usa poca cantidad de plástico y simula el proceso de inyección como se muestra en la figura 16. Este ensayo se suele denominar ensayo de fusión, pero también tiene nombres como índice de flujo e indicador de fusión. Una máquina llamada plastometro se programa para poner una serie de condiciones al plástico que esté siendo analizado. Actualmente existen al menos 33 conjuntos de condiciones y cada plástico colapsa con todas ellas.

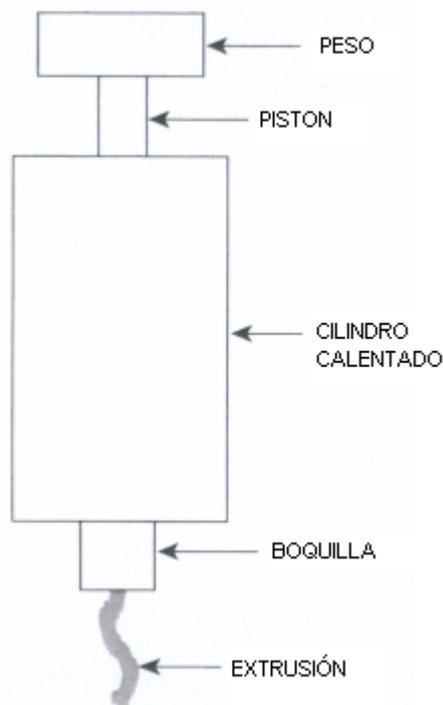


Figura 16 – Esquema del ensayo ASTM

El índice de fusión puede ser usado como herramienta para determinar la fluidez de un plástico determinado. El ensayo comienza echando una cantidad de plástico en bruto en la cámara caliente, colocando un equipo con embolo en el calentador, colocando una carga predeterminada en lo alto del émbolo y midiendo la cantidad de material que se extruye por la boquilla en un periodo de 10 minutos. El número resultante es el valor del índice de fusión medido en gramos por 10



minutos. Los números de flujo normalmente colapsan en un rango de 2 a 50 con el rango de entre 12 y 14 siendo los más comunes.

Cuanto más bajo sea el índice de fusión, más duro es el flujo del material. Eso significa que se necesitara una presión mayor de inyección para llenar el molde y diámetros de canal más grandes para los canales de superficie y la profundidad de los ataques probablemente se incremente. La profundidad de los vientos también es afectada por la viscosidad. Cuanto menor se va haciendo en número de flujo, los vientos se van haciendo más profundos para permitir escapar más rápidamente el aire atrapado y reducir la presión requerida para la inyección.

La viscosidad también afecta a las propiedades físicas de la parte moldeada. Básicamente, cuanto mas alto es el número de flujo, más débil es la pieza moldeada. Por el contrario, cuanto menor es el número de flujo, más fuerte es la pieza. Algunas de las maneras en las que influye el número de flujo en las propiedades de las piezas moldeadas se muestran en la tabla 17.

Rigidez	Aumenta
Fuerza de tensión	Aumenta
Fuerza de cesión	Aumenta
Dureza	Aumenta
Resistencia a arrastre	Aumenta
Robustez	Aumenta
Temperatura de emblandecido	Aumenta
Tensión de resistencia a rotura	Aumenta
Resistencia química	Aumenta
Peso molecular	Aumenta
Permeabilidad	Decrece
Brillo	Decrece

Tabla 17 – *Efecto de la viscosidad en las propiedades físicas conforme el índice de fusión decrece*

III.2.4 Material seleccionado y características

El material elegido para fabricar nuestra pieza es el POM (Polióxido estándar de Metileno) Hostaform C27021. El término Hostaform se refiere al distribuidor y pese a que hemos elegido este, podíamos haber elegido cualquier otro. Se trata de una resina Termoplástica de la familia de los acetales con estructura cristalina y su fabricantes es Targor.

Las características de los acetales son las siguientes:

- Baja absorción de la humedad.
- Alta resistencia mecánica y rigidez
- Fácil de mecanizar



- Bajo coeficiente de fricción
- Buena resistencia al desgaste
- Gran resistencia química
- Ideal aislante eléctrico

Vemos que los acetales cumplen con varios requisitos que tiene nuestra pieza, y es por ello que hemos elegido esta familia. La característica más importante es que tenga resistencia al desgaste, puesto que durante el uso de la cámara de fotos la pieza realizará un movimiento cada vez que saquemos una fotografía, y si se desgasta la pieza puede llegar a no realizar su función. Además es de gran ayuda que no absorba la humedad. Al estar en el interior de la cámara si almacenase humedad luego podría condensarse y dañar elementos electrónicos que le rodeen dentro de la cámara. Por esta razón también ayuda que sea un aislante eléctrico.

La razón por la que hemos escogido un POM es porque sus aplicaciones suelen estar centradas en piezas con paredes de espesor fino y relación flujo-camino-espesor de muro compleja. Están indicados para moldes multicavidad con piezas de precisión compleja y tiempo de ciclo corto.

En lo que se refiere a sus características mecánicas más detalladas son las siguientes:

- Módulo elástico en la dirección principal 1: 1740 MPa
- Módulo elástico en la dirección principal 2: 1740 MPa
- Coeficiente de Poisson: 0,406
- Módulo de corte: 619 MPa
- Densidad en sólido: 1,4219 g/cm³
- Densidad durante la fusión: 1,1488 g/cm³

Las características térmicas de nuestro material son:

- Calor específico: 2210 J/kg °C
- índice de enfriamiento: -0,33 °C/s

Hay que tener también en cuenta los parámetros recomendados para el moldeo por inyección que nos indica el fabricante:



- Temperatura de la superficie del molde: 70 °C
- Temperatura de fusión: 225° C
- Rango de temperatura del molde: 50 – 150 °C
- Rango de temperatura de fusión: 180 – 235 °C
- Temperatura máxima de fusión: 275 °C
- Temperatura de expulsión: 118 °C
- Tensión máxima de corte: 0,45 MPa

También disponemos de información referente a al test ASTM de viscosidad:

- A una temperatura de 190 °C
- Con una carga de 2,16 kg
- Se ha obtenido un índice de:32,7 g/10min

Por lo que según se ha comentado en el apartado anterior vamos a trabajar con un material bastante viscoso.



III.3 – Cavidades

III.3.1- Tiempo de producción / Necesidades / Cavidades

Antes de que determinemos el tamaño del molde y el tamaño del equipo necesario para que funcione el molde debemos determinar cuantas cavidades se necesitan. Junto con el tiempo total de ciclo, el número de cavidades determina cuantas piezas se pueden producir en un ciclo completo de moldeo por inyección. El número de cavidades que se necesitan depende del tiempo establecido para producir los requerimientos anuales de volumen de un producto específico. Pongamos un ejemplo: si se pide una media de 100000 unidades al año, necesitamos determinar cuantas cavidades se requieren para producir la pieza durante el año. Lo primero determinamos el tiempo disponible para producir en el año. La mayoría de máquinas de moldeo producen piezas las 24 horas al día cinco días a la semana. Los fines de semana se suelen emplear para labores de mantenimiento. Tomando en cuenta que un año tiene 52 semanas, una semana 5 días y un día 24 horas, obtenemos un tiempo de 6240 horas al año. Cada mes por lo tanto tiene una media de 520 horas disponibles.

Para calcular cuantas cavidades necesitaremos mecanizar en el molde, tenemos que estimar un tiempo de ciclo. El tiempo de ciclo esta determinado principalmente por la pared más ancha de la pieza. Como referencia la figura 18 puede ser usada para realizar esta determinación y considera que el molde se colocara en una máquina de moldeo y que todas las fases del proceso de inyección son tiempos medios.

Después de estimar el tiempo total de ciclo usando la figura 18, el número de ciclos por hora se calcula dividiendo 3600 segundos de una hora entre el tiempo estimado de ciclo. Consideremos que la pieza en cuestión tiene un espesor de pared de 25,4 mm. De la figura 2-3 deducimos que el tiempo aproximado de ciclo serán 36 segundos. Dividiendo ese número entre 3600 resulta que podemos moldear 100 ciclos a la hora. Ahora podemos deducir cuantas cavidades necesitamos. Si tenemos una única cavidad podemos producir 100 unidades a la hora. Eso significa que nos llevarían 1000 horas o 8.33 semanas moldear nuestra necesidad anual de 100000 unidades. Si fabricamos un molde de dos cavidades podemos moldear el total en la mitad de tiempo. Por supuesto el molde de dos cavidades sería más caro, cuestión que hay que valorar.

Ahora pongamos otro caso en el que la necesidad es de 10 millones de unidades por año. Si el ciclo sigue en 36 segundos tenemos todavía 100 ciclos por hora. Por lo tanto un molde de una única cavidad podría fabricar 624,000 unidades si funcionase todo el año y eso significaría tener el molde en marcha siempre, incluso excediendo el tiempo los fines de semana. Vemos que no es práctico. Hay que pensar en de dos a cuatro moldes cada uno con de 16 a 32 cavidades. Entonces podríamos producir la cantidad de un año entero en un periodo de 3 a 6 meses dependiendo de la combinación que decidamos usar. Además estaríamos utilizando de dos a cuatro máquinas de moldeo a la vez y hay que tenerlo en



cuenta. Si no tenemos el suficiente equipo de moldeo a mano (o en el adecuado tamaño) tendríamos que externalizar la producción o comprar equipamiento adicional. Estas son algunas de las cuestiones que se deben analizar antes de decidir cuantas cavidades debería de tener el molde

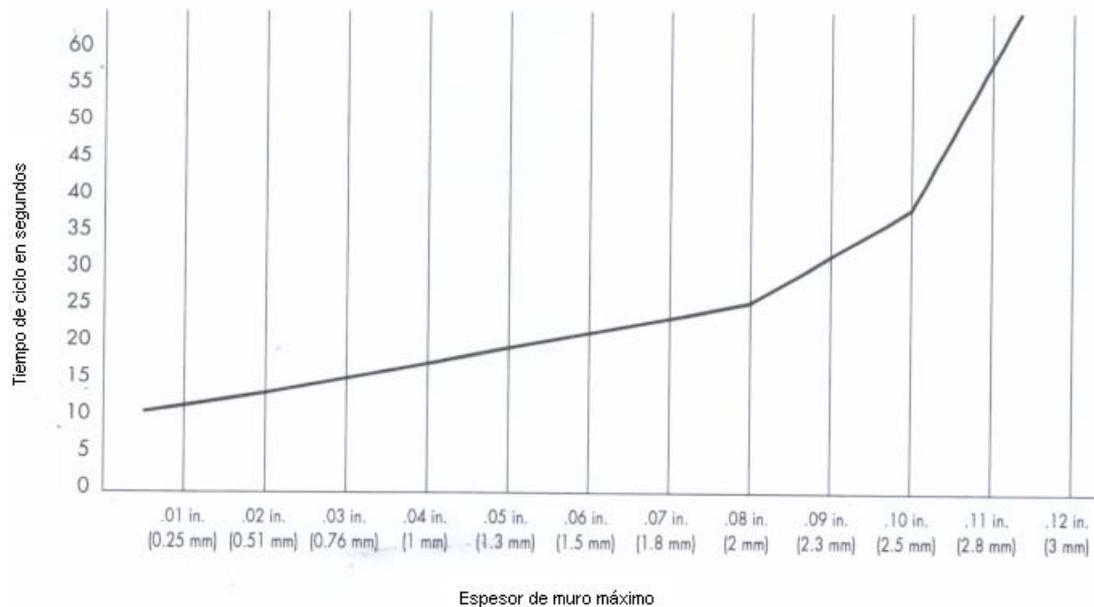


Figura 18 – Gráfica para la estimación del tiempo de ciclo según el espesor de pared máximo

III.3.2- Elección del número de cavidades

Según lo descrito en el apartado anterior, disponemos de un sólo dato de los necesarios para determinar el número de cavidades: el espesor de muro máximo. Observando nuestra pieza le podemos asignar el valor de 1 mm. Así pues, y según se puede ver en la figura 19 obtenemos un tiempo de ciclo para nuestra pieza de unos 16,5 segundos.

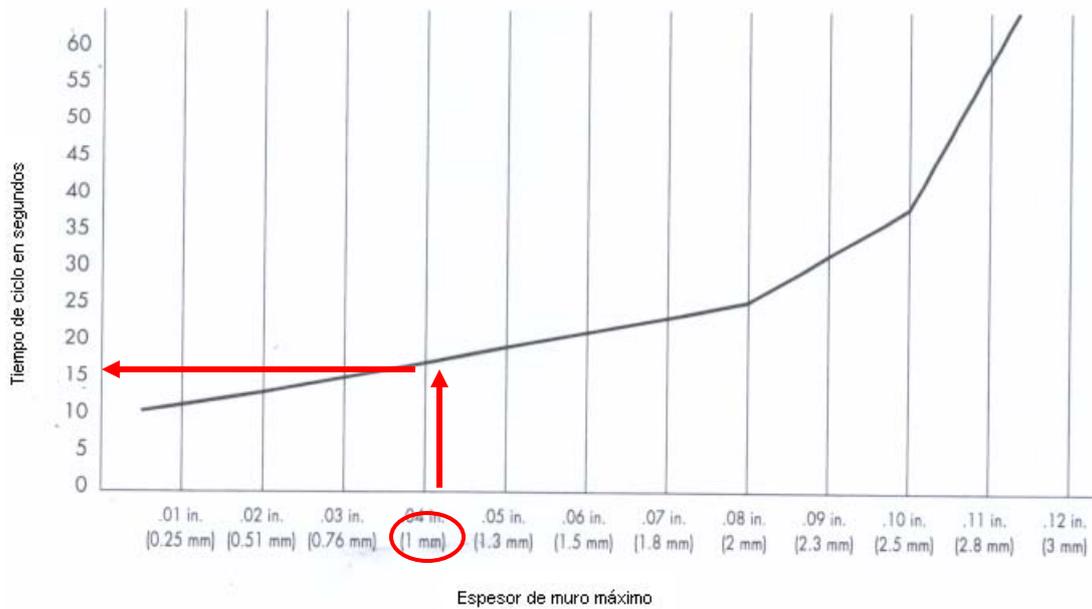


Figura 19 – Estimación para nuestra pieza, con un valor de espesor de muro máximo de 1mm

Vemos que no se trata de un método muy preciso, pero nos da una idea de las cifras sobre las que nos movemos.

Ahora deberíamos decidir que cantidad de cavidades disponemos en el molde, pero para ello necesitamos saber el tiempo del que disponemos para producir y la cantidad que deseamos producir. Ya que no nos encontramos en un caso real en el que sea el cliente quién nos lo indique, seremos nosotros mismos quienes haremos unas suposiciones.

Partimos de que queremos fabricar las piezas con un sólo molde y suponemos que queremos producir una cantidad anual de 6.500.000 piezas. Para ello, vamos a disponer de 2 turnos de producción al día de 8 horas cada uno. Por lo tanto, 16 horas al día. Solamente se producirá de lunes a viernes, dejando el fin de semana para labores de mantenimiento del molde. Descontando periodos festivos en los que la fabrica de nuestro cliente cierre, contamos con 245 días de producción al año. Ahora realizamos las cuentas:

$$16 \text{ horas/día} \times 3600 \text{ segundos/hora} = 57.600 \text{ segundos/día}$$

$$57.600 \text{ segundos/día} \times 245 \text{ días/año producción} = 14.112.000 \text{ segundos/año}$$

$$14.112.000 \text{ segundos/año} \div 16,5 \text{ segundos/pieza} = \mathbf{855.272} \text{ piezas/año con una cavidad}$$

Por lo tanto, para conseguir producir anualmente la cantidad deseada:



$$6.500.000 \text{ piezas} \div 855.272 \text{ piezas/año (1 cavidad)} = \mathbf{7,60}$$

Es evidente que no podemos construir 7,60 cavidades, por lo que para asegurarnos de que llegamos con margen a nuestro objetivo de producción, serán **8** las cavidades de las que dispondrá nuestro molde. Con 8 cavidades en teoría produciremos:

$$855.272 \text{ piezas} \times 8 \text{ cavidades} = 6.842.176 \text{ piezas al año}$$

Siendo así, se superaría nuestro objetivo de producción, pero hay que tener en cuenta que también se producen paros por mantenimiento imprevistos en los que el molde no está produciendo, por lo que siempre es aconsejable dejar un margen.



III.4-Sistemas de alimentación

El proceso de moldeo por inyección empuja el plástico fundido en un molde cerrado. El plástico debe fluir a través del molde y llegar a la cavidad imagen donde se solidifica antes de ser finalmente expulsado. En su camino hacia la cavidad el plástico recorrerá básicamente tres zonas: el bebedero, el sistema de distribución y el ataque. En la siguiente sección analizaremos el bebedero y el sistema de distribución dejando para el siguiente apartado los ataques.

III.4.1- El bebedero

El bebedero es una parte del molde y actúa como superficie entre la boquilla de la maquina de moldeo por inyección y sistema de canales de inyección del molde. Existen ciertas reglas que se aplican al diseño de esta parte del molde, porque el bebedero es muy concreto en cada diseño de molde y producto.

La figura 20 muestra como dimensionar un bebedero correctamente. Obsérvese que el bebedero tiene radios esféricos en la cara del final de la zona ancha. Este radio esta destinado a formar un cierre hermético contra los radios de la boquilla de la maquina de moldeo y debe ser del mismo radio o ligeramente mayor. Si el radio es menor, se formara rebaba. La boquilla se pegará al bebedero cada ciclo en vez de empujar libremente como se pretende (algunos diseños de molde, especialmente para los de inserciones, no necesitan este radio, y de hecho son planos). Además, el diámetro más pequeño del agujero interior cónico debe de ser igual o ligeramente más grande que el agujero de unión de la boquilla de la máquina por las mismas razones. El tamaño del agujero más pequeño debe mantenerse al mínimo, pero debe de ser lo suficientemente grande para cumplir los requerimientos del plástico que se este moldeando. El diámetro de la boquilla puede cambiarse para ajustarse al diámetro del bebedero si se requiere. Los diámetros más habituales para ello son los de 2, 4, 5,5 y 7 mm, a pesar de que cualquier diámetro es válido.

El diámetro interior de la zona estrecha del agujero cónico se determina aumentando el área de la sección transversal de todos los canales empezando por el bebedero. La figura 20 muestra dos canales que nacen del bebedero y cada uno tiene una sección transversal de $7,9 \text{ mm}^2$. El total de los dos es $15,8 \text{ mm}^2$. Acto seguido, debemos encontrar un tamaño único de círculo que abarque al menos ese total. El círculo común más aproximado cuya área sea al menos $0,7 \text{ mm}$ y un diámetro de $4,7 \text{ mm}$. Ese sería el tamaño mínimo para nuestro diámetro en el final del agujero interno del bebedero.

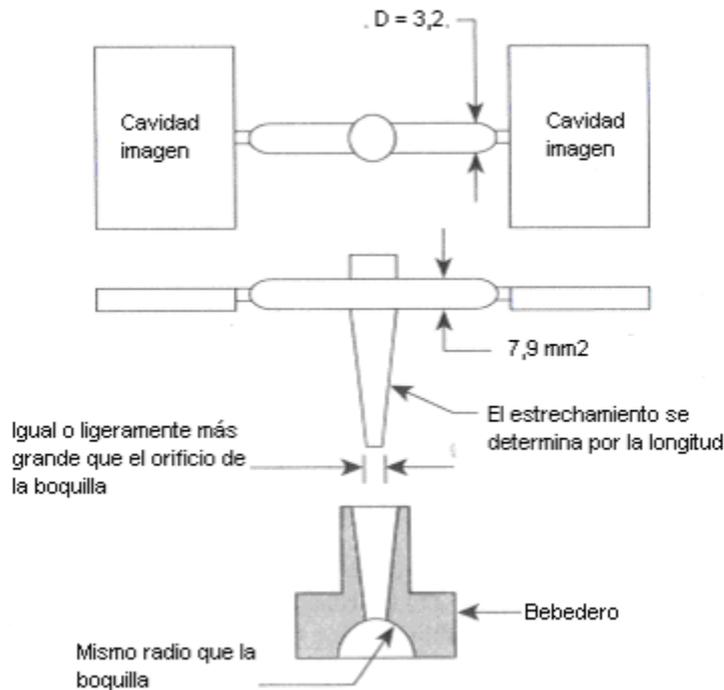


Figura 20 – Esquema del sistema de alimentación

La longitud total requerida determina el estrechamiento del agujero interno del bebedero y debe mantenerse al mínimo. El estrechamiento se mide desde la cara exterior de la mitad A del molde, a través de las placas de la mitad A y acaba en la intersección del bebedero con el sistema de distribución. Si esta dimensión está fuera de la profundidad común se puede colocar una boquilla amplia en la máquina e incorporar un bebedero más corto.

La gota fría de la colada va a parar a la mitad B del molde mecanizando directamente un pequeño agujero en las placas B donde el bebedero intersecta al canal. Esto captura la primera (y más fría) porción de plástico entrante y evita tapar el camino del flujo en el sistema de canales o áreas de ataque.

III.4.2- Sistemas de canales de alimentación

El sistema de canales dirige el plástico fundido una vez entra al molde, desde el bebedero hasta la cavidad imagen que forma la pieza. Se llaman canales porque el plástico fluye a lo largo de las ranuras que se mecanizan en la base del molde. En la mayoría de casos, los canales solamente se usan para moldes multicavidad. Teóricamente un molde de una cavidad no necesita canal porque el plástico se inyecta directamente en el centro de la cavidad. Sin embargo, algunos moldes con una cavidad podrían no situarse en el centro del molde y se necesitaría un canal para llevar el material hasta esa localización desde el bebedero. Esto se cumple particularmente para los moldes “universales” donde sólo una (o pocas más) cavidad puede funcionar en un momento dado.

Canales de superficie

Los canales de superficie se cortan en un bloque denominado bloque canal insertado en las mitades A y B del molde como muestra la figura 21. Esto se hace para permitir hacer ajustes y cambios en la zona de cierre así como a las funciones dimensionales del sistema de canales básico sin afectar a la base entera del molde o a la distribución de la cavidad.

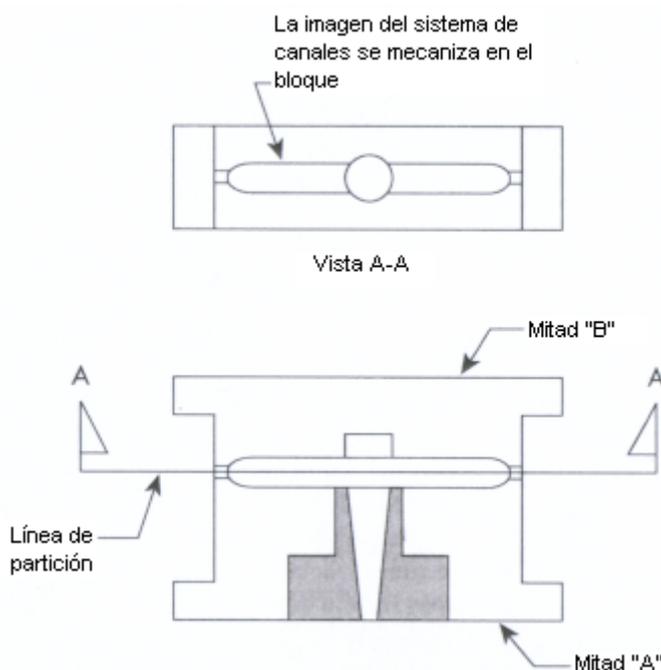


Figura 21 – Esquema del sistema de alimentación de canales de superficie

Un diseño adecuado del canal de superficie es el canal circular completo. Esto se debe a que la sección transversal circular crea igual presión en todas las direcciones de las moléculas del plástico, mientras que una sección no-circular crea presiones desiguales. Así se muestra en la figura 22, donde el diseño de un canal completamente circular se compara con el diseño de un canal trapezoidal común. Si usamos el diseño de la izquierda de la figura 22 minimizamos la cantidad de distorsión molecular que se crea mientras el plástico fundido fluye a través del canal hacia la cavidad. La sección transversal trapezoidal mostrada a la derecha causa distorsión molecular, lo que provoca tensión en el material. Estas moléculas tensionadas se llevan a la cavidad donde solidifican estando todavía en un estado de tensión.

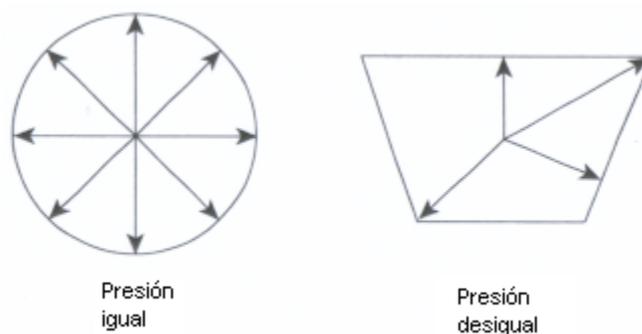


Figura 22 – *Distribución de presiones en secciones transversales circular y trapecoidal*

El diámetro de la sección transversal de canal adecuado depende del tipo de plástico que se emplee. Los materiales con alta viscosidad requieren diámetros más grandes que aquellos con baja viscosidad. La tabla 23 muestra diámetros de canal normales para algunos materiales que se usan habitualmente. Como se puede ver, cuanto más largo sea el camino que tiene que recorrer el plástico, mayor diámetro de canal se necesita al inicio. Por ejemplo, el policarbonato necesita un diámetro de inicio de 3,1 mm cuando la longitud del canal es de sólo 76,2 mm, pero requiere un diámetro de 3,9 mm cuando la longitud es de 152,4 mm (como se ve en la figura 24). Esta longitud se mide desde la cavidad llenada hasta el centro del bebedero del molde. La razón por la que se incrementa el diámetro es que el plástico se empieza a enfriar conforme va entrando en el sistema de distribución y comienza a solidificarse a lo que avanza hacia el ataque. Por lo tanto, debemos incrementar el tamaño del canal para permitir al plástico fundido moverse más rápido a lo largo del camino antes de que solidifique. Sin embargo, cuanto más grande es el diámetro, más costará que se enfríe y pueda ser expulsado del molde. Así pues, debemos analizar cuidadosamente la necesidad del mayor diámetro cuando determinamos el tiempo total de ciclo para moldear el producto. Lo más normal es que el diámetro del canal sea más grande que la sección con más espesor de la pieza a moldear. Esto conlleva un tiempo de ciclo largo al tener que dejar suficiente tiempo al canal para enfriarse. Aunque no tiene que enfriarse hasta el punto de solidificarse, tiene que enfriarse lo suficiente como para que sea rígido y se pueda expulsar correctamente. Además, cada vez que el canal debe de hacer un giro de 90°, el diámetro de inicio debe de ser incrementado un 20 %. Esto se hace para compensar la caída de presión que surge al forzar el material a lo largo del canal, como se puede ver en la figura 25.

Material	Longitud del canal		
	76,2mm	152,4mm	254mm
	Diámetro del canal		
ABS	2,4mm	2,8mm	3,9mm
Acetal	1,6mm	2,4mm	3,1mm
Acrilico	3,1mm	3,9mm	4,7mm
Celulosa acetosa	2,4mm	2,8mm	3,9mm
Celulosa acetosa modificada	2,4mm	2,8mm	3,1mm
Ionomero	1,6mm	2,4mm	3,1mm
Nilon	1,6mm	1,9mm	2,4mm
Policarbonato	3,1mm	3,9mm	5,1mm
Poliétileno	1,6mm	2,4mm	3,1mm
Polipropileno	1,6mm	2,4mm	3,1mm
Óxido de polipropileno	3,1mm	3,9mm	5,1mm
Sulfato de polipropileno	3,1mm	3,9mm	5,1mm
Polisulfuro	3,9mm	4,7mm	5,5mm
Poliestileno	2,4mm	2,8mm	3,1mm
PVC rígido	3,1mm	4,7mm	6,3mm

Tabla 23 – Diámetros y longitudes de canal habituales para diferentes materiales

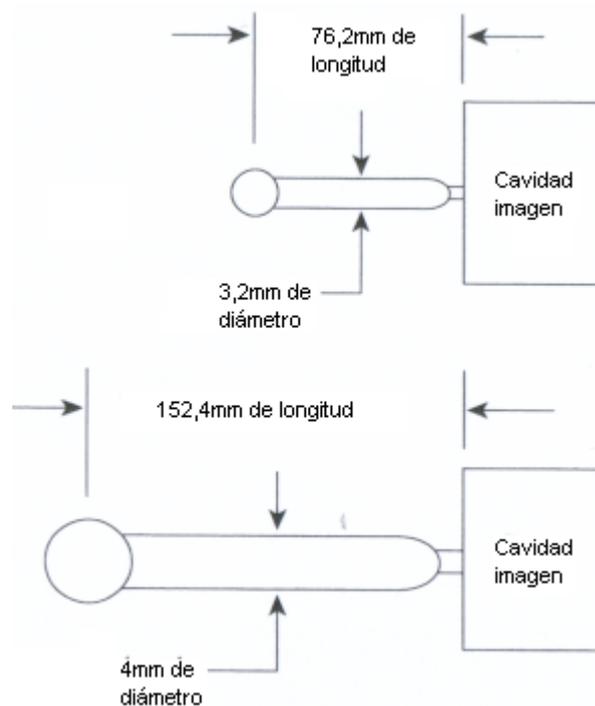


Figura 24 – Esquema de diámetro y longitud para el policarbonato

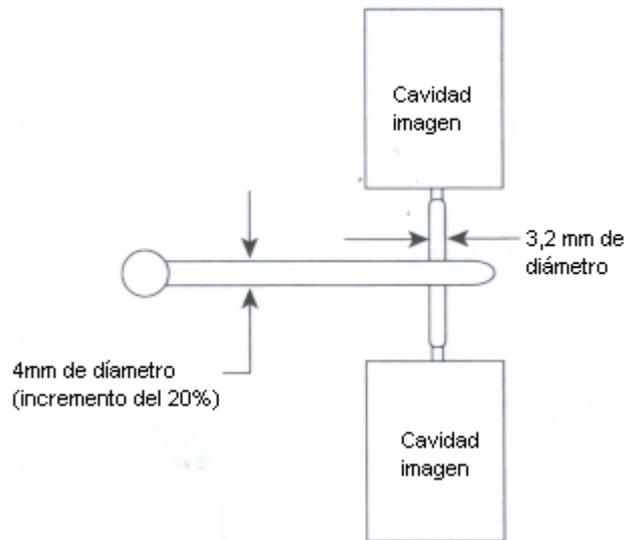


Figura 25 – Caída de presión en cada giro de 90°

El canal ideal lleva el material en línea recta desde el bebedero hasta la cavidad imagen. Sin embargo, debido a la interferencia con los taladros de refrigeración, agujeros para los pernos y la distribución de los pernos, muchas veces esto no es posible. En esos casos, se suele usar un sistema de canales con ángulos de 90° como se ve en la figura 25.

Otra manera mejor es utilizar un diseño de radios de barrido como muestra la figura 26. Esto elimina la caída de presión causada por los giros bruscos y la necesidad de incrementar el diámetro del canal el 20 % en cada uno de esos giros. El diámetro del canal se determina midiendo la longitud entre la cavidad imagen y el orificio de colada. Así se minimiza el tamaño del canal y se contribuye a minimizar el tiempo total de ciclo. Se debe de comenzar a incorporar este concepto desde el diseño inicial a ser posible.

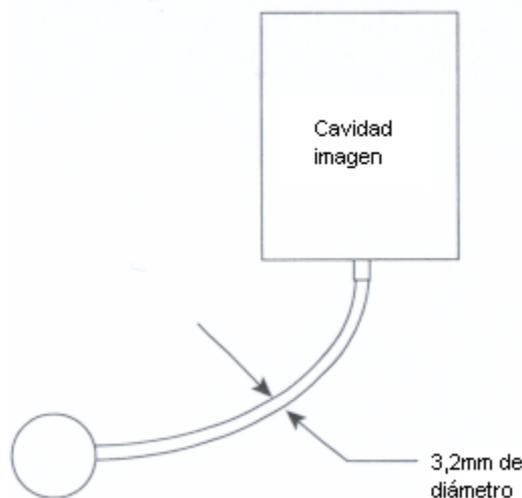


Figura 26 – Ejemplo de sistema de alimentación con radios de barrido



Cuando al principio se distribuyen las cavidades de un molde multi-cavidad, se debe de contemplar el diseño de un “vagón-rueda”, con canales haciendo de radios del “vagón-rueda”, como se ve en la figura 27. Este es el mejor diseño ya que usa una aproximación a los canales rectos y minimiza el viaje del flujo plástico hasta llegar a la cavidad imagen. También mantiene el diámetro del canal al mínimo, reduciendo así el total del tiempo de ciclo.

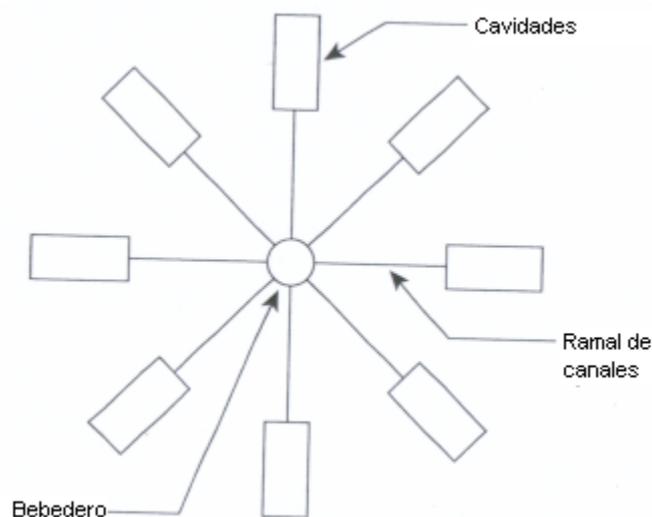


Figura 27 – *Distribución de cavidades vagón-rueda*

Canales aislados

Los largos tiempos de ciclo asociados a los canales de superficie (debido a su espesor) llevó a los moldeadores a intentar buscar otras maneras para superarlos. Así nació lo que se conoce como canales aislados. En este sistema, el canal no se mecaniza en las superficies de las placas A y B, sino en entre las placas A y la tercera placa o placa X.

La figura 28 muestra el concepto del sistema de canales aislados. Las placas A y X se empernan juntas. El canal se mecaniza entre esas dos placas, y los ataques perdidos se usan para llevar el plástico fundido a la cavidad imagen que se sitúa entre las placas A y X. Cuando se abre el molde, el canal se queda atrapado entre las placas A y X. La pieza se expulsa y el molde se cierra para el siguiente ciclo. El espesor de canal es grande y el canal empieza a solidificar de dentro afuera, pero el núcleo central del canal se mantiene caliente y fundido. Cuando comienza el siguiente ciclo, el plástico se inyecta a través del núcleo central del canal y el material que todavía queda fundido rellena el molde. El resultado es que el área del núcleo central ha sido aislada del efecto refrigerante del acero del molde provocado por la gruesa piel formada en el exterior del diámetro del canal. Este proceso puede continuar mientras el núcleo central del canal se mantenga lo suficientemente caliente para mantener el plástico fundido. Una ligera interrupción del ciclo podría ser suficiente para que se enfriase el núcleo central y este se solidificase. Cuando ocurre esto, se debe desmantelar el molde y quitar por mecanizado el plástico solidificado del sistema de canales. Después hay que pulir el canal y ya se puede reensamblar el molde para otra sesión de moldeo.

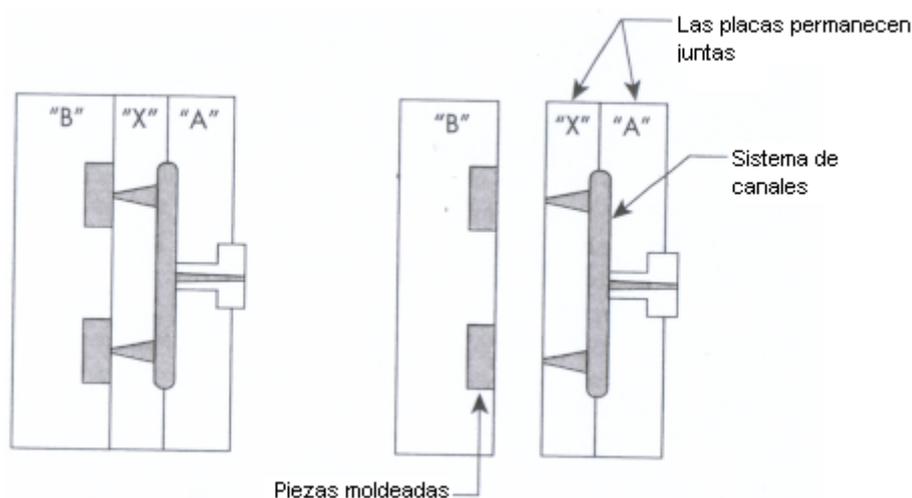


Figura 28 – Sistema de alimentación de canales aislados

La mayor ventaja del sistema de canales aislados es que el canal no tiene que ser incluido en el cálculo del tiempo de ciclo. La porción fría del ciclo de moldeo sólo afecta a la pieza moldeada y el tiempo total de ciclo puede ser mucho más corto que si se incluyese el espesor del diámetro del canal. Otra ventaja secundaria es que no se dispone de canal después del moldeo. Así nos ahorramos el “regrind” (resina reciclada del proceso) que se generaría en un sistema de canales estándar.

Canal caliente

La ineficiencia y la poca precisión asociada con los canales aislados conllevaron la creación del denominado sistema de canal caliente. El propósito para ambos sistemas es era el mismo: eliminar el sistema de canal de superficie y reducir el tiempo total de ciclo. Sin embargo, el sistema de canal caliente usa cartuchos calentadores individuales para mantener el plástico fundido en el canal y no depende de las propiedades aislantes del material del canal. De hecho, como muestra la figura 29, la capa del canal nunca se solidifica. A pesar de ello, todo el sistema de canal caliente se aísla del resto del molde para mantener la temperatura del molde base relativamente baja aunque la temperatura del canal sea alta.

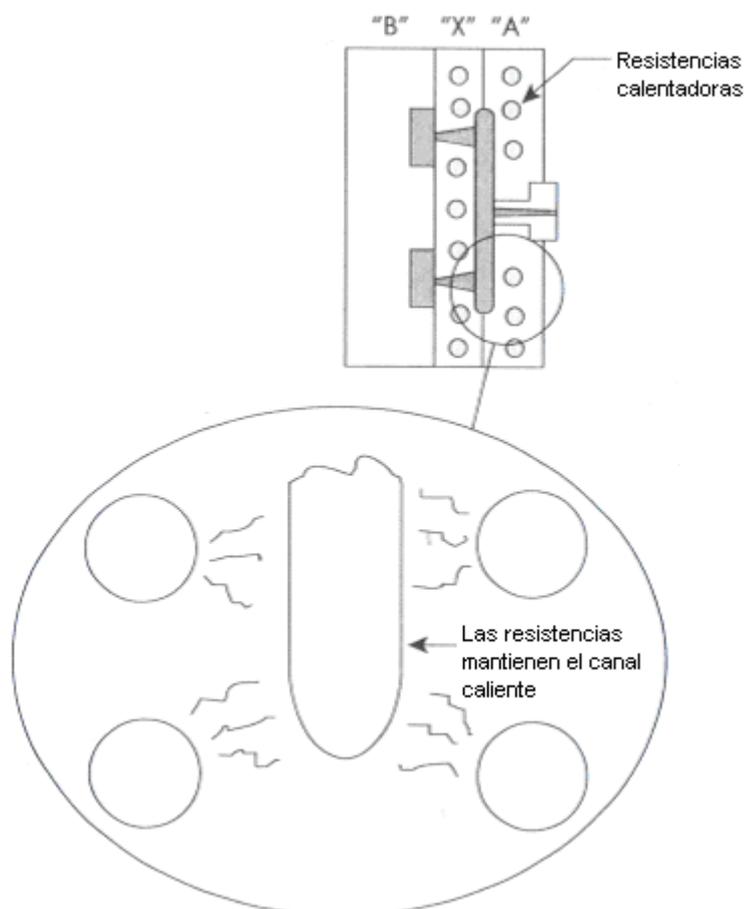


Figura 29 – Sistema de alimentación de canal caliente

El concepto de canal caliente ha permitido una cosa muy importante. La boquilla de la máquina de moldeo se ha movido directamente a la cavidad imagen, eliminando así la tensión y condiciones que se derivan del uso de esta en los sistemas estándar de canal de superficie. Esto implica ventajas. El tiempo de ciclo es más corto, un 25 % menos de media, porque no hay canal que incluir en el cálculo, los defectos se reducen al minimizar las tensiones y el desecho de plástico se elimina al no quedar canal después del moldeo.

Los sistemas de canal caliente están disponibles comercialmente pero se deben adaptar para cada molde y material específico. Son caros, con un coste medio de 25.000 €, pero se amortizan en seguida debido a tiempos de ciclo menores y menos desecho de plástico. Incluso los materiales sensibles al calor como el PVC pueden ser utilizados con este sistema. Si se puede justificar la inversión, se debe considerar los sistemas de canal caliente como una buena opción.



III.4.3- Selección del sistema de alimentación

En nuestro proyecto vamos a utilizar un sistema de canal caliente. La razón principal es que, como ya se ha comentado anteriormente, obtendremos tiempos de ciclo más cortos que si utilizásemos otros sistemas. Más adelante viene detallada la geometría de nuestro sistema de alimentación, tanto en los planos del molde como representada gráficamente en la simulación.

Aparte del bebedero, el sistema está compuesto básicamente por dos componentes: la placa distribuidora o manifold y las boquillas. Las dos poseen unos pares calefactores de tal manera que el material siempre permanezca fundido cuando esté en el interior de estos elementos.

El material entra por el bebedero a la placa distribuidora donde el material se reparte por los diferentes conductos que llevan hasta las boquillas. Una vez el material entra en las boquillas se dirige hasta el final de la boquilla donde mediante un obturador se regula la abertura para permitir el paso de plástico cada ciclo a la cavidad, con la que está en contacto.

Lo que si que cabe destacar de la geometría es que se ha hecho que el recorrido que hace el plástico desde que atraviesa la boquilla de la máquina de inyección hasta que llega a la cavidad sea el mismo, de tal manera que no se produzcan desequilibrios entre las diferentes cavidades del molde.

Si la distancia a recorrer por el plástico fuese diferente unas cavidades se llenarían más pronto que otras, disponiendo de un tiempo de enfriamiento también mayor y como consecuencia obtendríamos piezas con diferentes características en la misma tirada del molde.

Hoy en día es el sistema que más se utiliza por lo que al existir multitud de distribuidores nos resulta rentable elegirlo pese a su alta inversión inicial.



III.5- Puntos de inyección

III.5.1- Concepto

Después de que el material fundido viaje a través del canal, existen muchas maneras de introducirse en la cavidad. El canal en sí puede continuar directamente en la cavidad imagen y, de hecho, esa era la manera en el inicio de nuestra industria inicial. Sin embargo, se hacía difícil eliminar la pieza del sistema de canales debido a la unión que se formaba entre el canal y la pieza. Por lo tanto, se creó una reducción en el tamaño del canal en esta unión. Esta unión se conoció como ataque, a través del cual el material debía de entrar en la cavidad imagen. La reducción en el área permitió una eliminación del material más fácil para separar la pieza y el canal. Además, la reducción de área creó una ligera fricción que hace calentarse al plástico a lo que lo atraviesa. Esto extiende el flujo del material plástico y hace más fácil llenar la cavidad imagen. Hoy en día, el ataque se usa con dos objetivos: controlar el flujo de material fundido que entra en la cavidad imagen y facilitar la separación de la pieza del sistema de canales.

Los primeros diseños de ataque eran primitivos y experimentales en su naturaleza. La mayoría de tamaños de ataque eran estimados y se hacían alteraciones después de cada tirada para ver los resultados. Sin embargo, a lo que han ido saliendo más materiales para el moldeo (algunos de los cuales son sensibles al calor), y a lo que las máquinas de moldeo se han hecho más controlables, el diseño del ataque se ha convertido en una cuestión importante. Se determinó que materiales específicos podían tener parámetros de moldeo amplios mientras que otros necesitaban control muy estricto, especialmente en el área del diseño del ataque. Un ataque muy estrecho podría causar degradación térmica y tensión en la pieza. Sin embargo, un ataque muy grande podría resultar en un tiempo de ciclo excesivo y dificultad en la separación de las piezas de los canales. El diseño de ataques, por lo tanto, se convirtió en una ciencia en sí mismo y resultó en una variación de formas y conceptos, algunos de los cuales se estudian en la siguiente sección.

Primero, se necesita determinar donde debe de ser atacada la pieza y cuantos ataques podría necesitar. Se puede afirmar que “cualquier pieza puede llenarse con un único ataque”. Aunque esto es verdadero, podría convenir añadir ataques para superar algunos de los problemas asociados con un único ataque, dependiendo del diseño del producto y los requerimientos de la pieza. Por ejemplo, si se necesita que una pieza sea plana y tiene variedad de espesor de muros, un único ataque podría no ser suficiente para producir tal pieza debido a las distorsiones internas causadas por el flujo de material. Otros factores podrían afectar también al número y localización de los ataques.

La mayoría de piezas no se diseñan para tener uniformidad de espesor de muro en toda la pieza. Debido a esto, el punto ideal para atacar es en principio el área más gruesa. Después, el material puede fluir de lo grueso a lo fino. A lo que empieza a enfriarse y solidificar, se mejora el llenado en la fase de ir de lo grueso a lo fino. Si eso fuese al revés, el material empezaría a solidificar a lo que pasase



por las secciones finas y no habría suficiente material para acabar de llenar las secciones más gruesas. Además, la pieza es mucho más fuerte cuando el llenado se hace de lo gordo a lo fino, como se ve en la figura 30. Las moléculas con forma de bola que viajan en la pieza atacada de lo grueso a lo fino se comprimen y adhieren a lo largo de la pieza. Sin embargo, en la pieza atacada de lo fino a lo grueso, las moléculas se expanden y no se adhieren bien y no se permite al material “empacarse”. Esto deriva en una pieza mucho más débil. Por lo tanto, nuestro primer objetivo es fijar el punto de ataque en la parte más gruesa de la pieza.

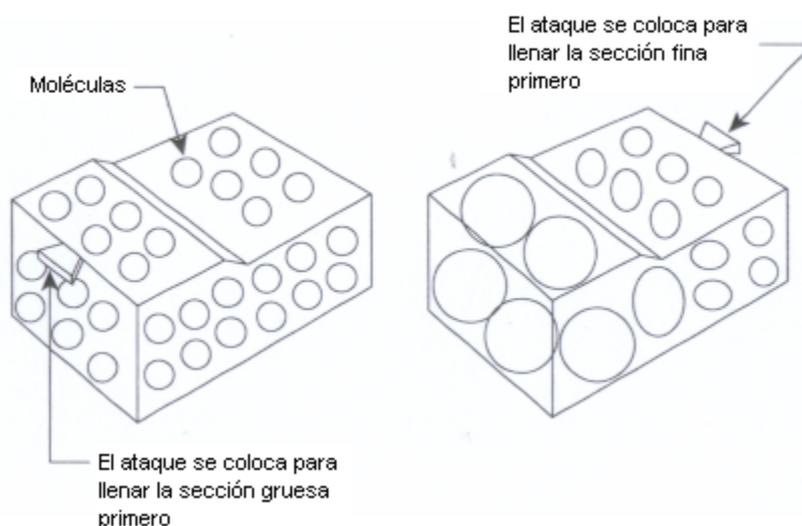


Figura 30 – *El atacado recomendado es el de la izquierda*

Lo siguiente que tenemos que determinar son las dimensiones del ataque a usar. Para hacerlo, empezamos por analizar el material con el que vamos a moldear. Los materiales que fluyen con facilidad pueden fluir a través de ataques más estrechos, y los que tienen alta viscosidad requieren ataques más anchos para un flujo adecuado.

El ataque puede verse como una ventana en un muro. Es una apertura a través de la cual el plástico fundido fluye. El dimensionamiento real de un ataque depende de que tipo de ataque se use. Algunos de los diseños más comunes se analizarán en la sección siguiente. Mientras tanto, determinaremos cuantos ataques se deberían utilizar.

Cuanto más cerca está localizada la cavidad imagen con respecto al bebedero, más pequeño puede ser el ataque. Esto es importante porque la anchura del ataque es un factor que determina el tiempo total de ciclo. A lo que se ancha el ataque, el tiempo de ciclo aumenta. Además, cada ataque debe tener un canal asociado al mismo. Esto podría ser parte del canal principal o un canal secundario que se alimentase del principal. Cuantos más ataques haya en el molde, más canales habrá, y más alejado del bebedero estará la cavidad. Esto refuerza el concepto de que una pieza debe de llenarse usando un sólo ataque siempre que se pueda. Sin embargo, la experiencia demuestra que algunos diseños de piezas podrían garantizar la adición de un ataque si el ataque principal resulta en una

pieza que tiende a albear o no llenar adecuadamente. Como regla general debe de existir un ataque por cada flujo de 203 a 254 mm en cualquier dirección. A pesar de ello, debido a las diferencias en la sensibilidad al corte, índices específicos de calor e índices de fusión, es mejor analizar las situaciones de ataques usando uno de los principales programas de análisis de métodos finitos disponibles hoy en día.

III.5.2- Tipos

Ataques mazarota

El ataque mazarota ha sido considerado el mejor método de atacar una pieza. Se usa mayormente en moldes de una cavidad debido a su naturaleza, como se muestra en la figura 31. En esta situación, se inyecta el plástico fundido en la cavidad imagen sin la necesidad de canales de distribución, y el ataque tiene una sección transversal circular. Como la cavidad está centrada en relación con el bebedero, el flujo de plástico va directo a la cavidad. De ahí se deriva una distribución del flujo en toda la cavidad. Se minimiza la tensión y las líneas de flujo se reducen enormemente. Además, las marcas de sumersión no existen ya que el orificio se mantiene fundido durante toda la fase de inyección del proceso y se puede aplicar presión hasta que el material de la pieza solidifica, minimizando así la contracción.

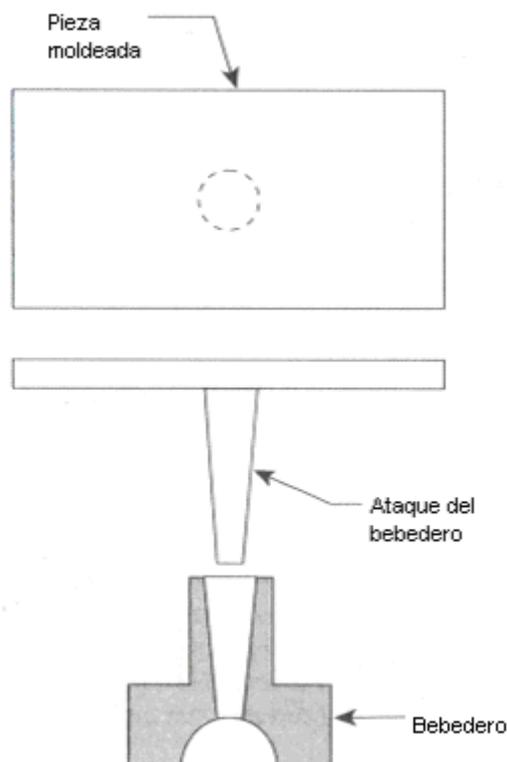


Figura 31 – Ataque de tipo mazarota

Dimensionar este tipo de ataque requiere que el diámetro donde el bebedero se junta con la cavidad sea ligeramente más grande que el espesor de muro de la pieza en la intersección. Esto asegura que la boquilla del bebedero



seguirá fundido aunque el material de la cavidad este solidificando. El estrechamiento interno es normalmente de 42 mm/m pero en la realidad se determina por la longitud total requerida, así como por el diámetro interior mayor ya mencionado. El diámetro interior menor debe de ser el mismo o 0,79 mm más grande que la boquilla de la máquina de moldeo. El orificio de la boquilla para la máquina de moldeo es intercambiable y determinado por la viscosidad del material.

La mayor desventaja en usar ataques mazarota es que deben de eliminarse de la pieza. Incluso los mejores procesos de eliminado dejan restos visuales del ataque mazarota y puede ser objeto de reclamación en algunos diseños de piezas. Se puede usar un dibujo para tapar el vestigio.

Varios ataques de superficie.

Esta sección describe los ataques de superficie, de eje, de disco y de anillo.

Ataque de superficie básico

Aunque un ataque de superficie con una sección transversal circular es ideal para crear la tensión mínima, es difícil mecanizarlo en un molde y mantenerlo concéntrico. Esto se debe al movimiento de expansión y contracción del acero en el tiempo. Es por ello por lo que los ataques de superficie rectangulares se han convertido en norma.

La figura 32 muestra como puede dimensionarse un ataque de superficie básico. El ataque de superficie básico es el ataque más popular. Es una abertura en un muro y tiene tres dimensiones: profundidad (D), anchura (A) y altura (P). Cada uno de ellos requiere de un dimensionamiento basado en la viscosidad del material que se moldea. Los materiales con alta viscosidad necesitan aperturas más grandes.

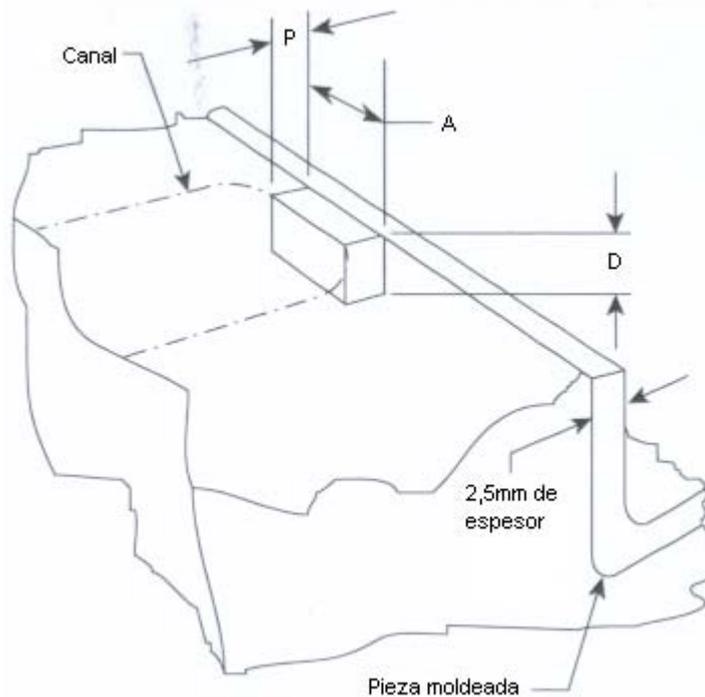


Figura 32 – Ataque de superficie básico

Comenzaremos con el dimensionamiento D. Reacuérdesse que queremos atacar la sección más ancha de la pieza. La profundidad de nuestro ataque será del 40 al 90 % de esa anchura. Por ejemplo, como se ve en la figura 32, si la anchura de muro es de 2,5 mm, la dimensión D de nuestro ataque estará entre 1 y 2,2 mm. El dimensionamiento más fino se usará para materiales de flujo fácil, como el Nylon, mientras que se usarán diemensionamientos más anchos para materiales más duros como el policarbonato. Queremos que el ataque sea lo más fino posible porque determina el tiempo de ciclo total (ataques más anchos necesitan más refrigeración). Por lo tanto, debemos empezar con la dimensión mínima y sólo incrementarla si es necesario. Una buena fuente de información la encontramos en el proveedor del material. Para ejemplo vamos a tomar exactamente el 50 % de la anchura de muro, siendo 1,27 mm.

Una vez determinada la dimensión D, podemos fijar la dimensión A. Como regla general, la anchura del ataque debe de ser por lo menos el doble de la profundidad, y como mucho, diez veces esta. Podemos comenzar con el doble. En nuestro caso serian 2,54 mm. Lo incrementaremos después si lo consideramos necesario.

Esto nos lleva al dimensionamiento P. Consideremos esto la altura del ataque. La dimensión P debe de ser la mitad de la profundidad y nunca mayor que 1,6 mm. Si la dimensión P es demasiado grande, provocara que el material empiece a solidificar porque el material debe de viajar una distancia larga por un orificio pequeño. El acero de alrededor evacua el calor del plástico más rápido si la dimensión P es corta. Un efecto típico de un pie muy grande es el “agusanamiento”, una apariencia de serpiente en la superficie de la pieza, que proviene del área de ataque.

Ataque eje

El ataque eje es una variación del ataque de superficie básico y se utiliza principalmente para moldear piezas con grandes superficies y muros estrechos, como placas planas. La figura 33 muestra un diseño típico de ataque eje. Vease que la altura (P) de este diseño de ataque es fina y estrecha, y existe un canal secundario (diámetro d) alimentando desde el canal principal. La altura fina actúa como un estrangulamiento y provoca que el plástico fundido llene el área del canal secundario antes de que entre la cavidad imagen. Esto lleva a un llenado uniforme a lo que el plástico fundido sale del área de la altura y continúa a través de la cavidad imagen. El resultado es una pieza con contracción uniforme en todas las direcciones (incluso en materiales cristalinos) y orientación molecular paralela a lo largo de la anchura del agujero, lo que es crítico para productos ópticos como lentes.

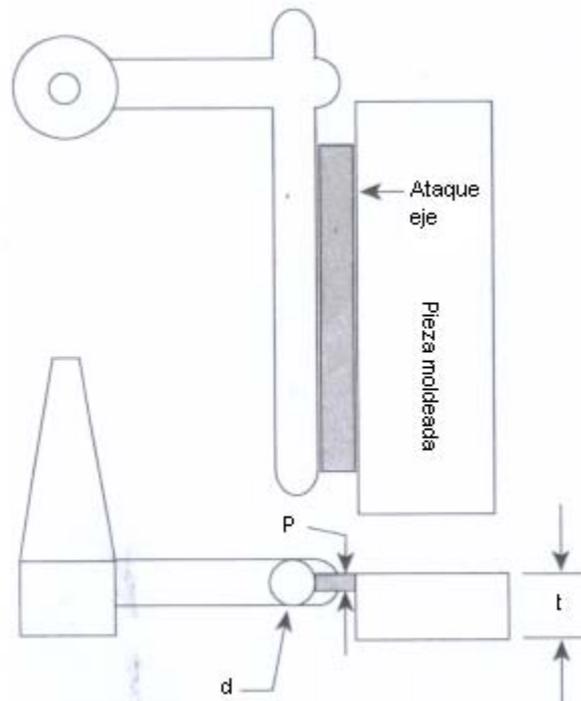


Figura 33 – Ataque eje

Dimensionar un ataque eje depende del material a moldear, pero, en general, se pueden utilizar los siguientes valores. La dimensión P debe estar entre 0,5 y 1,5 mm y debe de recorrer toda la anchura de la pieza. La anchura de P debe de estar entre el 25 y el 75 % de la anchura t de la pieza dependiendo de cuan fácil fluya el plástico, requiriendo valores más altos los plásticos más duros.

El diámetro del canal secundario debe de ir en rango de anchura desde la misma que t de la pieza hasta el 30 % más, dependiendo de la viscosidad del plástico. Si d debe ser mayor que t , el tiempo total de ciclo será excesivo porque a la dimensión d le costará más solidificar que a la pieza en sí. Como P , el canal secundario debe abarcar la anchura entera de la pieza.

Ataque disco

El uso del diseño de ataque disco permite el llenado uniforme en piezas cilíndricas y en forma de manga, como se muestra en la figura 34.

Un ataque disco es en realidad un diafragma. Expande la entrada en un extremo de una pieza en forma de manga y alimenta directamente la pieza. El diafragma es ancho en su cuerpo principal, igual o 25 % mayor que la anchura de muro de la pieza moldeada. Esta área, conocida como pie es directamente conectada a la pieza. La anchura de este pie debe de ser entre el 50 y el 75 % de la anchura de muro de la pieza. El pie debe de ser de 0,5 a 1,5 mm. en anchura alrededor de su perímetro.

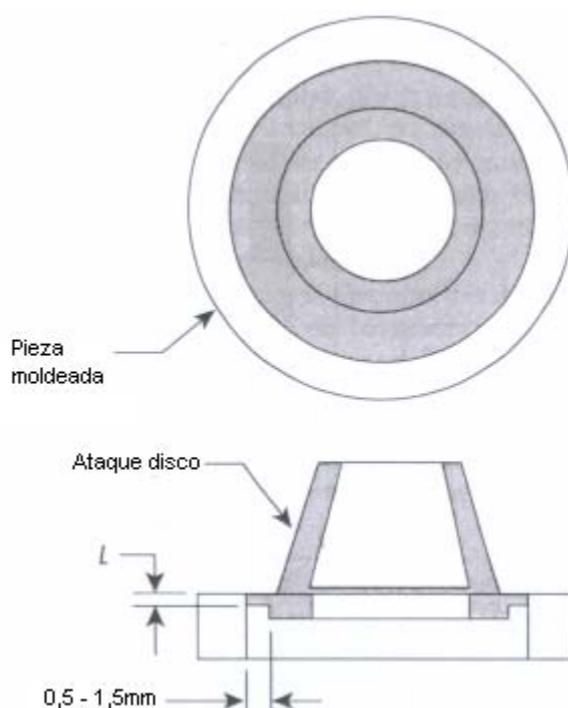


Figura 34 – Planta y alzado del ataque disco

Ataque anillo

Un ataque anillo es una variación del ataque disco y se usa para moldear piezas largas, con forma de manga y cilíndricas que necesitan núcleos internos para apoyarse en los dos extremos de la pieza. La forma de anillo viene del uso de dos canales, o canales de alimentación. El canal principal alimenta a un segundo que rodea circularmente (internamente o externamente) la cavidad imagen, como se ve en la figura 35.

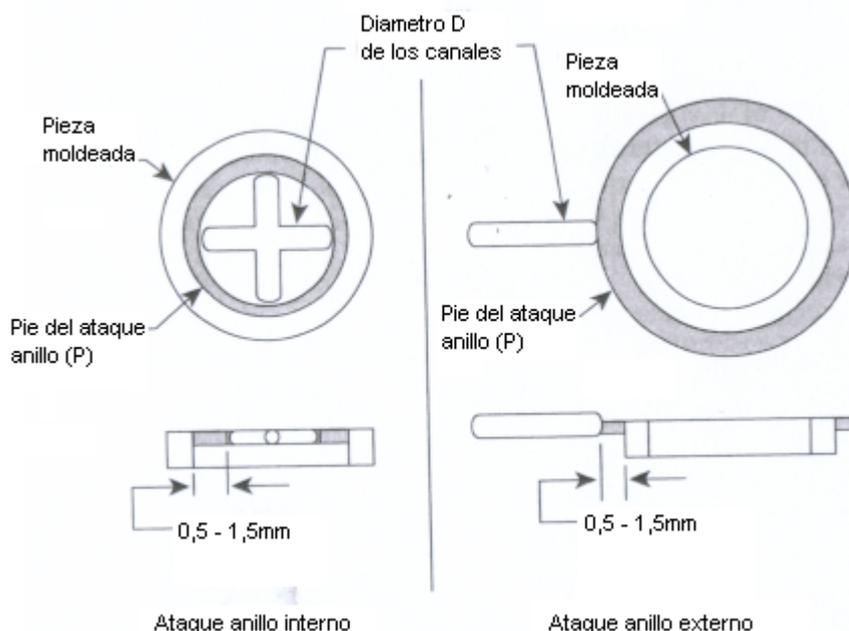


Figura 35 – Tipos de ataque anillo

Los ataques anillo externos son los más comunes, y pueden usarse si las líneas testigo son visualmente aceptables. Sino, se deben usar los ataques anillos internos; sin embargo, son más caros y crean líneas de soldado adicionales. La naturaleza del diseño del ataque anillo es lo que las provoca. Aunque son inevitables, pueden minimizarse a través de procesos. Las líneas de soldado de ataque anillo son siempre más marcadas que otras líneas de soldado.

Como siempre, la dimensión del ataque anillo depende de la viscosidad del material a moldear. La dimensión D de los canales principal y secundario debe de ser el 25 % más grande que la anchura del muro de la pieza a moldear. La anchura del pie debe de ser del 50 al 75 % de la anchura del muro de la pieza. La anchura del pie debe de ser del 0,5 al 1,5 mm alrededor del perímetro de la cavidad imagen.

Ataques perdidos

A veces llamados pernos ataque; los ataques perdidos son útiles cuando una pieza no puede ser atacada con los métodos de ataque de superficie debido a interferencias estéticas o mecánicas del vestigio del ataque en el ensamblaje posterior. Los ataques perdidos permiten el desatacado automático de la pieza del canal a lo que se abre el molde y se expulsa la pieza, como se ve en la figura 36. El ataque perdido es resultado del uso del molde de tres placas. El molde de tres placas permite colocar el sistema de canales entre las placas A y X. Después, se mecanizan agujeros cónicos del canal a la cara de la placa X. Estos son los que se denominan ataques perdidos, llamados así porque se caen del canal a la cavidad imagen.

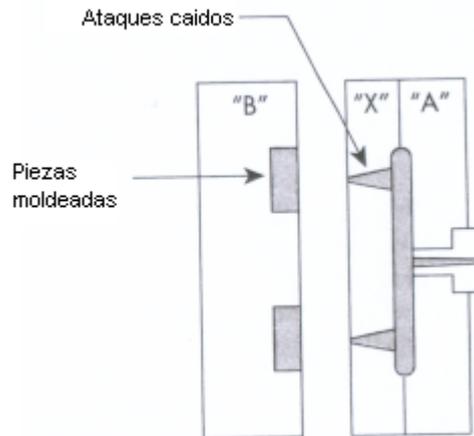


Figura 36 – Se necesitan 3 placas para los ataques perdidos

El uso de ataques perdidos requiere que el canal tenga un diámetro mayor para que pueda viajar el material suficiente la longitud incurrida. Además, el diámetro mayor del ataque perdido es grande para mantener el plástico fundido antes de que se llene la cavidad. Por lo tanto, el sistema de canales entero contiene mucho más material que el que contendría uno de canales de superficie y este material sólo vale como deshecho.

La mayor ventaja para un ataque perdido es la habilidad de colocarlo en cualquier parte de la pieza. Es especialmente fácil si el ataque puede colocarse en la superficie de la pieza formada entre las placas X y B. Con manipulación creativa, se puede poner el ataque dentro de la pieza, bajo la pieza o en los muros laterales de la pieza, casi igual de fácilmente. La ventaja de colocar el ataque donde sea es que permite un mucho mejor control del flujo en la cavidad imagen y puede incluso simplificar la construcción de algunos moldes. Como se ha mencionado antes, los ataques caídos permiten el desatacado automático de la pieza del sistema de canales.

Ataques túnel

Los ataques túnel, también conocidos como subataques, ataques submarinos y ataques banana, se utilizan para el desatacado automático del molde y colocar los ataques en áreas que no son accesibles por el atacado de superficie. Se usan comúnmente para moldes multi-cavidad con producción de piezas pequeñas, pero también se pueden usar con otros moldes.

Como se ve en las figuras 37 y 38, los ataques túnel tienen dos opciones de diseño básico: túnel punteado o túnel truncado. El túnel punteado da un orificio circular más pequeño que la versión truncada y provoca un enfriado más rápido del ataque. Sin embargo, al solidificar más rápido, la versión punteada no permite mantener mucho la presión, lo cual puede ser necesario para piezas de tolerancias finas o productos de alta resistencia.

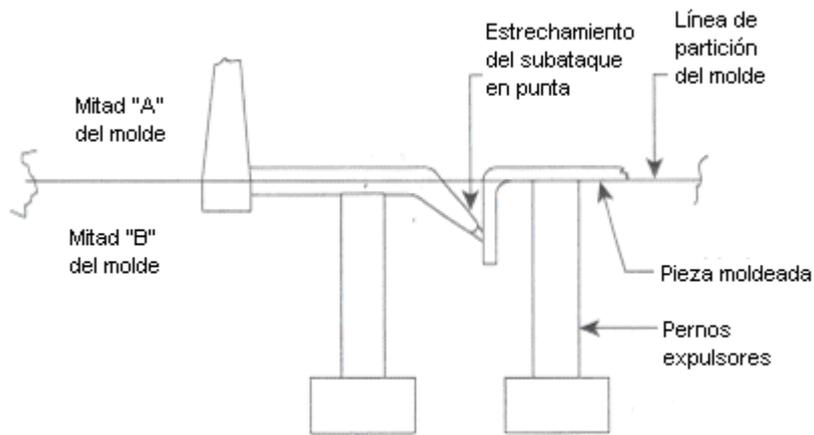


Figura 37 – Ataque túnel punteado

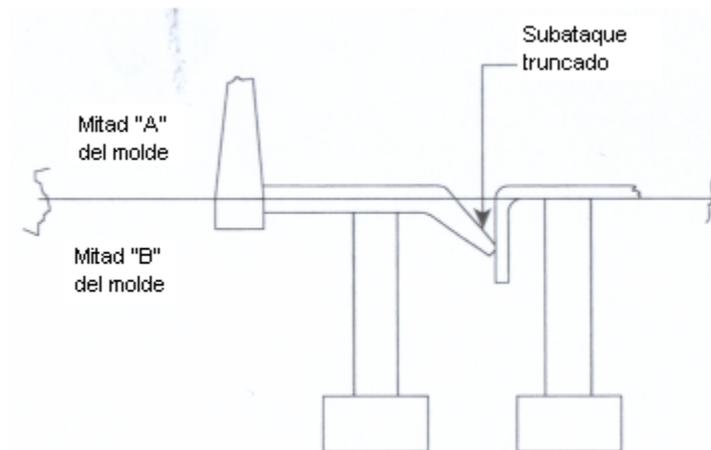


Figura 38 – Ataque túnel truncado

La figura 39 muestra un ataque curvado túnel, comúnmente llamado ataque banana. Los ataques banana no son comunes pero pueden usarse para piezas de baja profundidad, o cuando las esquinas afiladas del ataque túnel estándar son indeseables (porque causan tensiones o rasgaduras).

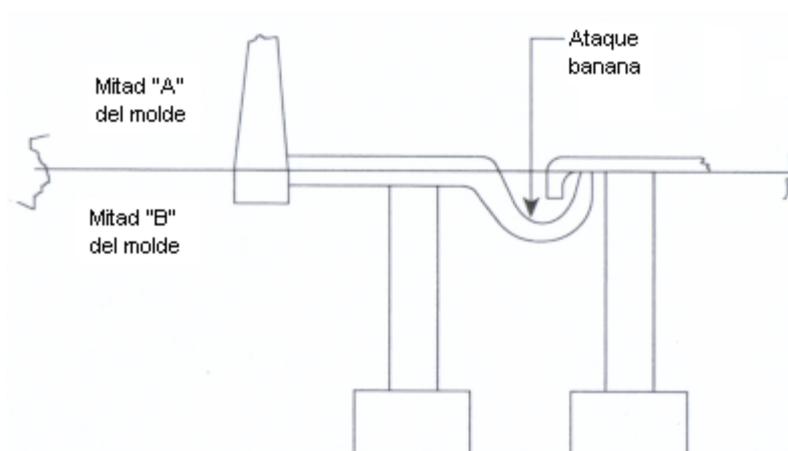


Figura 39 – Ataque banana

La figura 40 muestra un ataque túnel para atacar en un perno expulsor. Este concepto permite atacar en la cara interior (o cara B) de una pieza (similar al ataque banana), lo que puede necesitarse por motivos estéticos. Reacuérdesse que si la pieza es más ancha ahí que en ningún otro lado, hay que atacar en la sección más ancha.

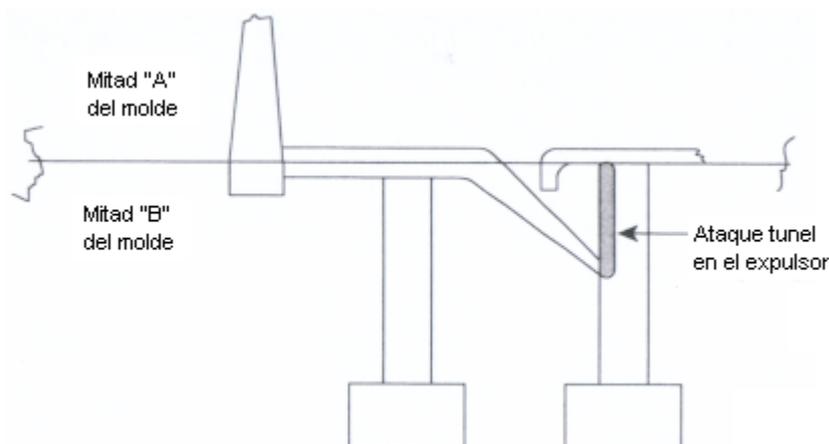


Figura 40 – Ataque túnel a través del perno expulsor

Una nota para todos los ataques, pero especialmente para los ataques de tipo túnel: se debe de colocar un perno expulsor lo más cerca posible de la intersección del ataque túnel y la pieza. Así aseguramos una separación adecuada del ataque de la pieza, y una eliminación correcta del ataque del molde. Sin esta expulsión, el ataque podría romperse de la pieza y del canal y permanecer en el molde provocando vacíos en el molde en ciclos sucesivos.

III.5.3- Localización y tipo seleccionado

Nosotros, habiendo elegido un sistema de alimentación de canal caliente, poseemos boquillas para la inyección del plástico en la cavidad. Ésta viene descrita en su catálogo en los anexos y tiene una longitud de 106 mm. Por lo tanto, no podemos hablar de ataque en sí mismo. Lo que sí podemos describir es la forma de la punta de la boquilla. Se podría decir que se asemeja de alguna manera a los ataques perdidos. Esta viene definida en los planos y consiste en una especie de tobera la cual realiza dos funciones al pasar el material a través de ella. Por una parte aumenta la velocidad de las moléculas para que entren a mayor presión a la cavidad y se produzca un mejor empaquetamiento. Su otra función es calentar el material, puesto que se produce un rozamiento con las paredes, como ya se ha comentado anteriormente.

En cuanto a la localización, hemos utilizado el programa de simulación por métodos finitos de moldeo Moldflow de cara a encontrar la ubicación más apropiada para el punto de inyección en la pieza de forma que el material se distribuya y compacte lo mejor posible.



Como se comprobará más adelante en la comprobación, la teoría coincide con el resultado que nos indica el programa, puesto que el punto de inyección se indica en una zona de las más anchas de la pieza, de tal manera que el flujo avance en la cavidad llenando las zonas más finas las últimas.

III.6- Vientos

III.6.1- Concepto de viento

En esta sección se analizan los objetivos, tipos, tamaños y localización de los vientos.

Los vientos son necesarios para evacuar el aire atrapado y los gases del proceso del moldeo. Cuando se cierra el molde en la preparación para inyectar plástico fundido, el aire se queda atrapado en toda cavidad o apertura del molde, incluido el sistema de canales. Sin ventilación, este aire se comprimiría bajo la presión del material entrante. De hecho, comprime tanto el material que ignicionaría y combustionaría ari el oxígeno disponible en él quemando el plástico. Además, se necesitaría una presión de inyección muy alta para superar la resistencia a compresión del aire atrapado y estas provocan tensiones innecesarias a la pieza de plástico moldeada.

Tipos, tamaños y localización de los vientos

La ventilación básicamente consiste en una serie de caminos mecanizados a través de la zona del cierre de la cavidad imagen como se ve en la figura 41

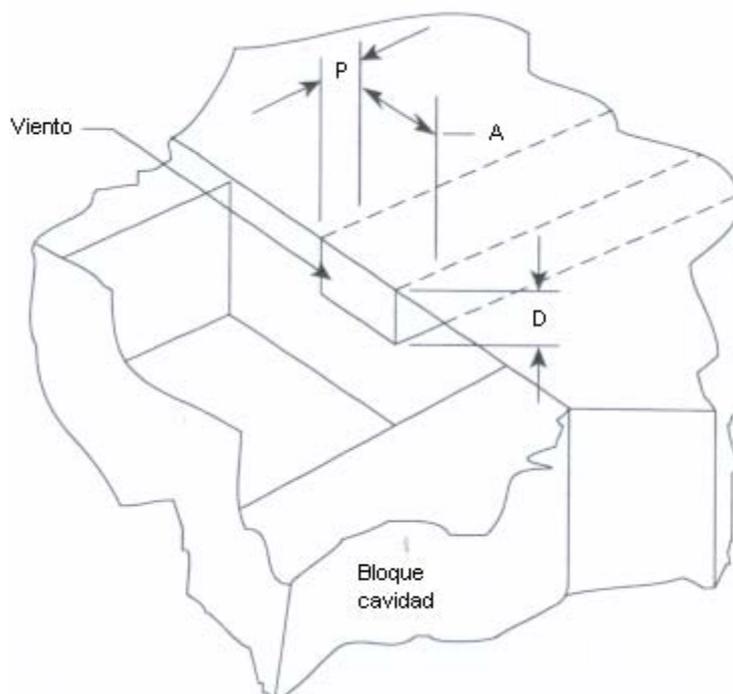


Figura 41 – *Disposición de un viento en la cavidad*

El viento tiene tres dimensiones: D de altura, A de anchura y P de profundidad. El viento puede concebirse como una ventana en un muro. El material plástico llena la cavidad imagen y empuja al aire atrapado hacia el viento. El viento es mecanizado de tal manera que es lo suficientemente estrecho para



evitar que el plástico pase a través suya, y es lo suficientemente ancho para permitir escapar al aire y los gases atrapados.

El dimensionamiento del viento comienza con determinar la altura D adecuada. Se puede tomar de la tabla 42 o estimarla en función de la viscosidad del plástico. Los plásticos de fluido fácil, como el nylon, requieren un viento fino, mientras que los vientos más anchos se pueden usar para materiales de alta viscosidad como el policarbonato.

Vease que la altura del viento para el canal, como se muestra en la tabla 42 es el doble de la altura del viento de la cavidad. Esto se debe a que no somos muy conscientes del potencial de ráfaga en el canal, pero ésta puede crear daños al usuario final de la pieza, y perder la presión acumulada en la cavidad. La columna que indica altura del viento para la cavidad recoge las dimensiones que permiten escapar al aire a la vez que retienen al plástico de entrar al viento.

Material	Cavidad	Canal
	mm	mm
ABS	0,05	0,10
Acetal	0,017	0,038
Acrilico	0,05	0,10
Celulosa acetosa	0,025	0,05
Celulosa acetosa modificada	0,025	0,05
Ionomero	0,017	0,038
Nilon	0,0127	0,025
Policarbonato	0,05	0,10
Polietileno	0,025	0,05
Polipropileno	0,025	0,05
Óxido de polipropileno	0,05	0,10
Sulfato de polipropileno	0,0127	0,025
Polisulfuro	0,025	0,05
Poliestireno	0,025	0,05
PVC	0,05	0,10

Tabla 42 – *Altura de viento recomendada para varios materiales*

Una vez hemos dimensionado la altura, determinaremos la anchura del viento. La dimensión mínima para ésta es de 3,2 mm aunque resulta más práctico y preferible usar 6,4 mm. Sin embargo, la anchura no tiene máximo. En teoría, la anchura del viento puede abarcar todo el perímetro alrededor de la línea de partición de la cavidad imagen sin parar. Como es evidente, se eliminaría a si mismo. Por lo tanto, necesitamos ser prácticos a la hora de determinar la anchura máxima. Como se muestra en la figura 43, usamos la regla general que dice que debe de estar ventilado al menos el 30 % del perímetro de la línea de partición de la cavidad imagen. Eso deja fuerza al acero que rodea la cavidad imagen y a la vez permite una ventilación adecuada.

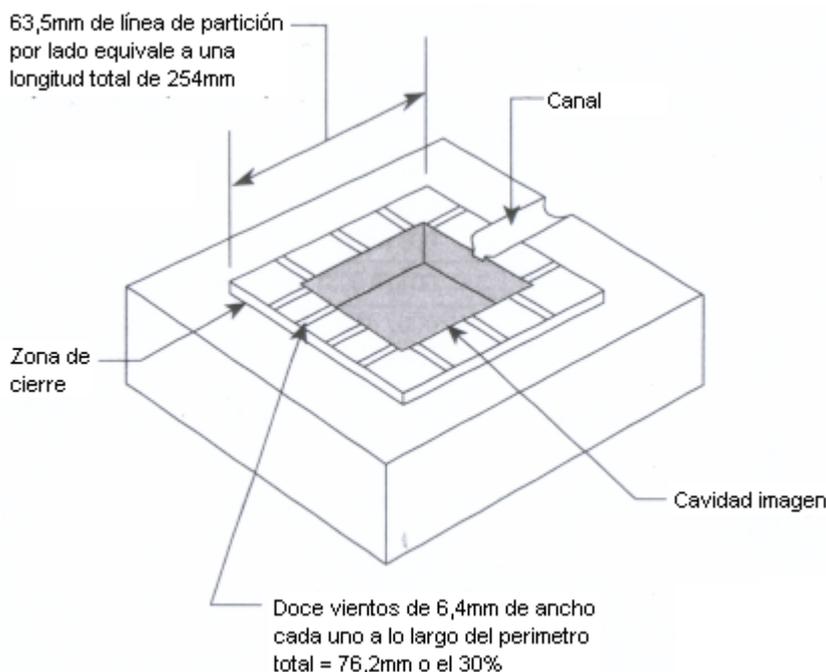


Figura 43 – Ejemplo de disposición de vientos en un molde

En la figura 43 se muestra una cavidad que tiene un perímetro total de 254 mm. Usando la regla general antes mencionada, necesitaremos un mínimo del 30 % de esos 254 mm para vientos, lo que supone 76,2 mm. Si se mecanizase un viento cada cuarto de la anchura, habría un mínimo de 12 vientos. Si cada viento midiese 13 mm de ancho, tendríamos 6 vientos, y así sucesivamente. Lo normal es asumir que el aire quedará atrapado en zonas como esquinas de las piezas, en el ataque y en su periferia. Por lo tanto es recomendable colocar un viento en cada esquina y colocar el resto uniformemente alrededor de la cavidad. Cuantos más vientos usemos más rápido eliminaremos el aire y el plástico fundido entrará en la cavidad más fácilmente (bajo presión menor). Una sugerencia es colocar vientos cada 25,4 mm de perímetro de la cavidad y a lo largo del canal.

Ahora podemos determinar la profundidad del viento. Esta dimensión determina cuanta acumulación se creará debido a la condensación del aire caliente pasando a través de la apertura relativamente fría. Cuanto más lejos viaje el aire, más probabilidades habrá de que condense y se forme un depósito en la apertura. Por lo tanto, la longitud debe mantenerse al mínimo sin ser menor de 0,79 mm. Si se reduce, podría haber problemas con el acero. Como máximo podemos tomar 3,2 mm. Si se supera se formarían depósitos debido a la condensación.

Para eliminar el aire atrapado de zonas inaccesibles se requiere muchas veces otro tipo de vientos. Por ejemplo, se pueden usar vientos en el fondo de un agujero ciego, en la base de valles profundos o esquinas, o donde las líneas de partición no son efectivas. La figura 44 muestra como pueden ventilarse estos lugares.

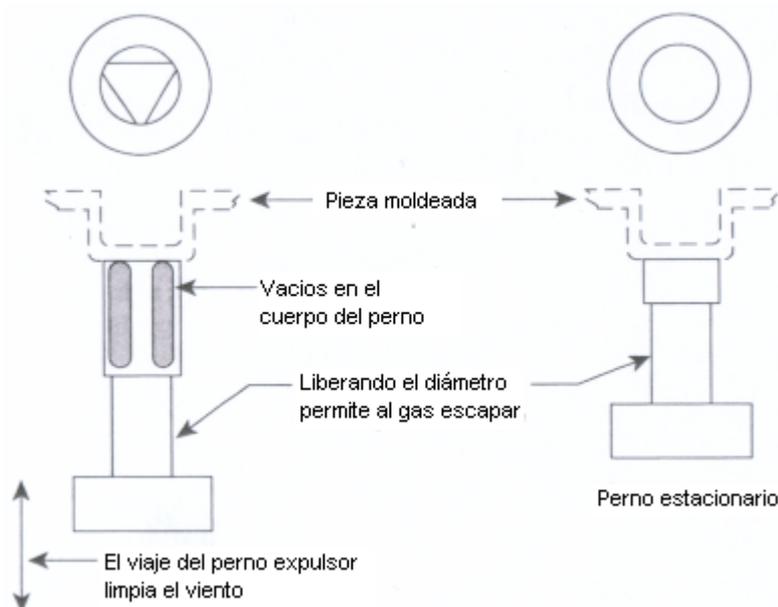


Figura 44 – Vientos mecanizados en perno móvil y perno estacionario

El viento puede mecanizarse en un lado de un perno. Si el perno es móvil, como un perno expulsor, el viento puede diseñarse para autolimpiado y permanecerá “abierto” un periodo de tiempo más largo antes de tener que limpiarse. La parte izquierda de la figura 44 muestra este tipo de viento. Cada vez que el expulsor se mueve hacia delante y vuelve, se limpia el área del viento. Aún y todo, un perno estacionario también funciona efectivamente. Se puede ver en la parte derecha de la figura 44.

De hecho, cualquier parte de la cavidad que sea laminada puede actuar como viento. Si el ajuste de la parte laminada es de apriete, se pueden mecanizar vientos en las superficies de unión del ajuste. Sino, se pueden colocar vientos a lo largo de los lados de las correderas y cámaras así como en elevadores y otras áreas correderas del molde. Estas aportarán la ventilación suficiente hasta que se atasquen, lo que puede tardar unos pocos miles de ciclos en ocurrir. Después se pueden limpiar fácilmente a mano usando un trapo de nylon.

Todo viento debe de hacerse utilizando los métodos de mecanizado adecuados. El proceso de esperar hasta moldear la primera pieza, buscar las partes quemadas de la pieza y colocar un viento en el molde ahí usando un taladro a mano está obsoleto. La ventilación debe de ser considerada una ciencia y no un arte, puesto que la presión de inyección debe de controlarse precisamente y la tensión debe de minimizarse. Se puede determinar las necesidades de ventilación precisamente antes de poner el molde a producir, reduciendo así el tiempo necesario para “depurar” el molde.

Reacuérdesse que no existe la ventilación excesiva. Sólo en el 30 % de los casos expuestos se debe de considerar un mínimo. La ventilación máxima (del 50 al 75 % del perímetro de la cavidad) permite una rápida eliminación del aire atrapado y una inyección más fácil del plástico entrante. Si se incorpora un sistema de aspiración en el molde se puede ayudar al ventilado. Consiste en



mecanizar un surco en forma de anillo alrededor de la línea de partición, situar una línea de aspiración, y ajustar la aspiración para que empiece a lo que cierra el molde. El aspirado absorbe el aire de la cavidad, a la vez que ayuda a entrar al plástico en la cavidad. Estos sistemas tienen un coste medio de 1000 € por molde. Ventilando el canal al menos cada 25,4 mm elimina el aire atrapado en el sistema de canales por lo que no se suma al volumen de aire ya atrapado en la cavidad.

III.6.2- Disposición de los vientos en nuestro molde

Para disponer los vientos en nuestra cavidad nos es de gran ayuda el programa Moldflow. Mediante uno de sus resultados de simulación podemos saber en que zonas de la cavidad tenderán a formarse burbujas en el llenado y es en esas zonas donde deberemos de poner los vientos. De todas formas, como ya se ha indicado, no existe la ventilación excesiva. Es por ello que para asegurarnos de la eliminación del aire atrapado no solo dispondremos de vientos en las zonas donde tiendan a formarse burbujas sino que también pondremos vientos en la zona de cierre de la cavidad.

Veamos las características de nuestras cavidades:

$$(55 \text{ mm} \times 2) + (65 \text{ mm} \times 2) = 240 \text{ mm de perímetro cada cavidad}$$

$$240 \text{ mm} \times 0,3 = 72 \text{ mm por lo menos deben de estar ventilados}$$

Entre las diferentes combinaciones posibles de anchura / nº de vientos nosotros elegimos la siguiente:

$$72 \text{ mm} \div 6 \text{ mm de anchura cada viento} = 12 \text{ vientos}$$

El siguiente paso consiste en definir la altura y la profundidad del viento. Utilizando la tabla 42 vemos que al acetal le corresponde una altura de 0,017 mm por lo que es esa la que escogeremos. En cuanto a la profundidad tomaremos 3 mm, dentro del rango anteriormente recomendado.

Finalmente hemos dispuesto los vientos de la forma que se ve en la figura 45, teniendo en cuenta los resultados que nos aporta Moldflow indicándonos cuales son las zonas más propensas para que se formen burbujas.

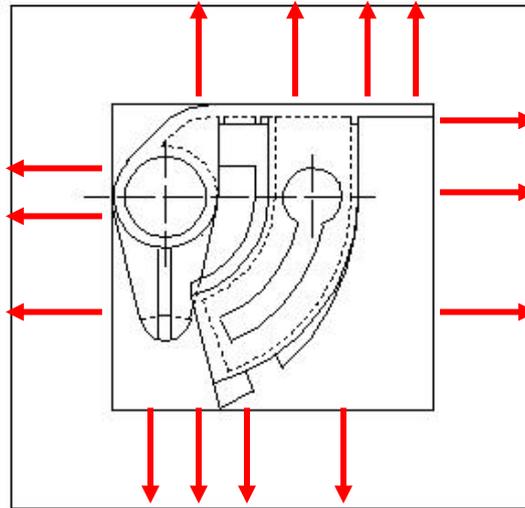


Figura 45 - *Disposición en planta de los vientos en nuestra cavidad*

III.7- Refrigeración

Después de inyectar el plástico fundido en la cavidad imagen, se le deja reposar, bajo presión, hasta que se enfría y solidifica lo suficiente para ser expulsado del molde. El plástico no necesita enfriarse totalmente, sólo lo suficiente para permitir la expulsión de la pieza sin distorsiones en el plástico. El enfriamiento se realiza usando un sistema de control de temperatura del molde que elimina el calor del molde y mantiene la temperatura del molde apropiada. En la siguiente sección, estudiaremos los métodos más comunes usados para conseguir este objetivo.

III.7.1- Taladros de refrigeración

El uso de taladros de refrigeración mecanizadas a lo largo del molde para permitir al agua fluir a través del molde es el método más común de controlar la temperatura del molde. Esto se realiza taladrando agujeros lo más próximo posibles al conjunto cavidad. Vease la figura 46.

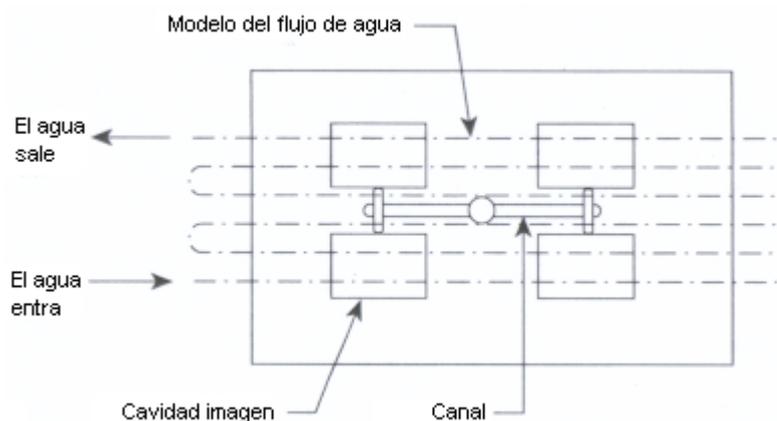


Figura 46 – Recorrido de los taladros de refrigeración en el molde

Como se necesita mucha precisión, los agujeros taladrados se realizan con un taladro. Después, se roscan y se ponen conectores rápidos y manguitos que se conectan a las unidades base de control de temperatura. La diferencia de temperatura nunca debe de ser de más de 5,5 °C entre dos puntos cualesquiera. Esto incluye las superficies de las cavidades de moldeo. Sino, se forma demasiada tensión en la pieza y se crea un flujo desequilibrado durante la fase de inyección. Además estas zonas se contraen más que otras secciones más frescas.

III.7.2- Localización de los taladros de refrigeración

Los taladros de refrigeración deben de localizarse lo más cerca posible a la superficie de la cavidad imagen. Pero en la práctica esto no resulta fácil. La razón es que los taladros deben de seguir direcciones rectas y las piezas tienen tres dimensiones. En muchos casos los taladros se colocan de tal manera que rodeen a la pieza lo más posible, pero no siguen el contorno perfectamente, como se ve en la figura 47. La cavidad de forma redonda se rodea por un taladro cuadrado. Esto

no es eficiente y provoca un enfriamiento indebido a la pieza. La razón es la mala colocación del agua usada para eliminar el calor del plástico. El enfriamiento indebido resulta en una tendencia en la pieza plana a arquearse puesto que algunas áreas enfrían rápidamente mientras que otras enfrían a una velocidad más lenta.

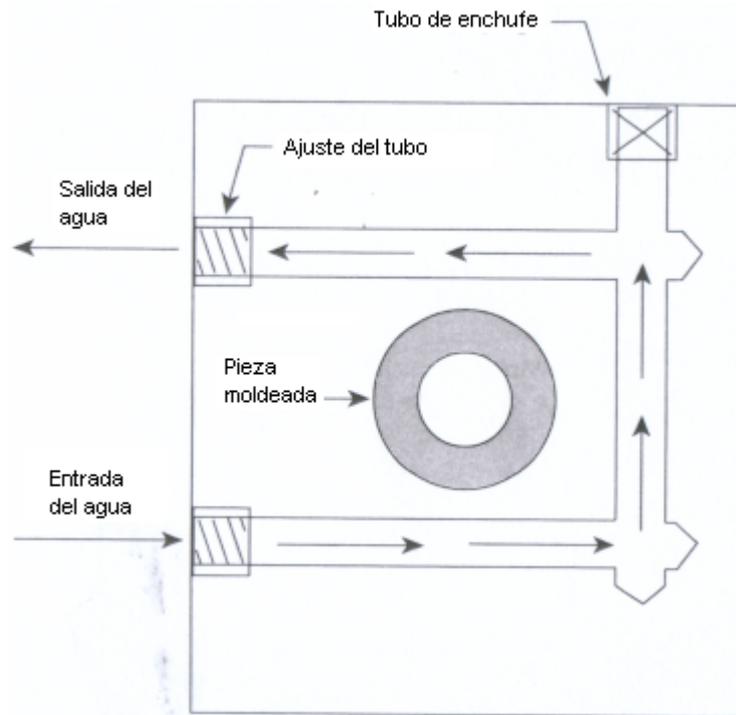


Figura 47 – Taladros de refrigeración rodeando en cuadrado a la pieza

La figura 48 muestra un taladro más aceptado para esta pieza. Se sigue una forma mucho más cercana a la forma real del producto. Pero para ello, se debe de crear un sistema de taladros y agujeros ciegos muy complicado. Esto es caro, y además tampoco crea la forma ideal. Una manera mejor sería la de la figura 49, donde el agua fluye de una forma muy cercana a la forma de la pieza. Sin embargo, para realizarlo hay que hacer un sistema de canales abiertos, conectados, y sellados con juntas para evitar escapes. Aunque esto nos daría la forma más aceptable, es caro de crear y requiere un mantenimiento continuo para evitar que se formen escapes y se dañen las piezas y el molde.

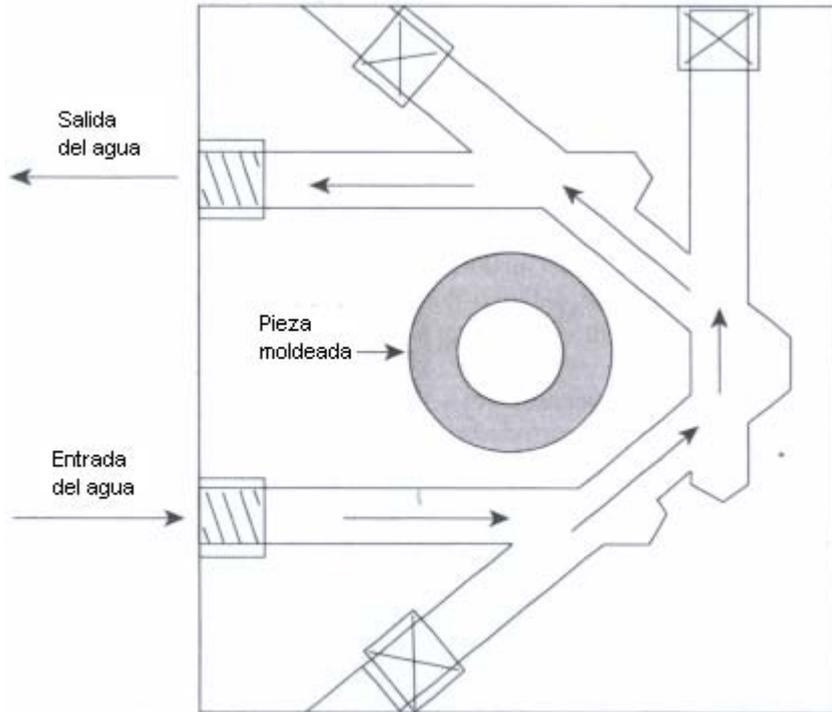


Figura 48 – Taladros de refrigeración más cercanos a la pieza

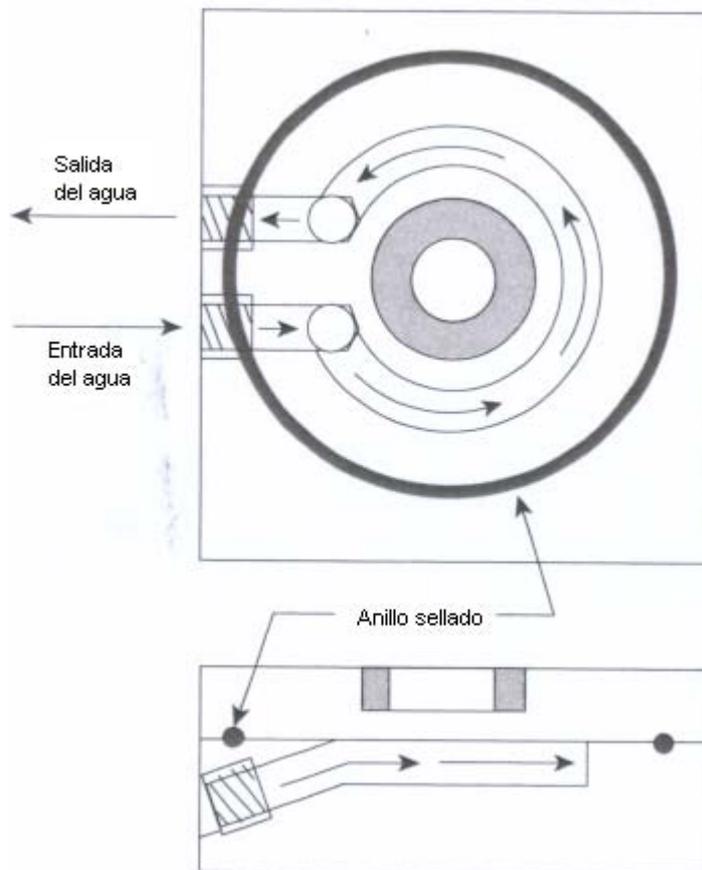


Figura 49 – Sistema de taladros de refrigeración ideal



Otro problema más complicado es que el acero que se usa para fabricar el molde debe de contener la alta presión de la fase de inyección en el proceso de moldeo. Por lo tanto, los taladros no pueden estar muy cerca de la cavidad o crearán grietas hasta la cavidad de acero. La regla general dice que los taladros no deben de estar a menos de 1,5 veces su diámetro, pero para estar seguros es mejor que no estén a menos de 2 veces su diámetro de la cavidad, como se ve en la figura 50. El diámetro se determina según sea necesario para obtener el número de Reynolds deseado. Sin embargo, eso no significa que sólo deba de haber un único taladro. Si la profundidad lo permite, se pueden usar más capas de taladros.

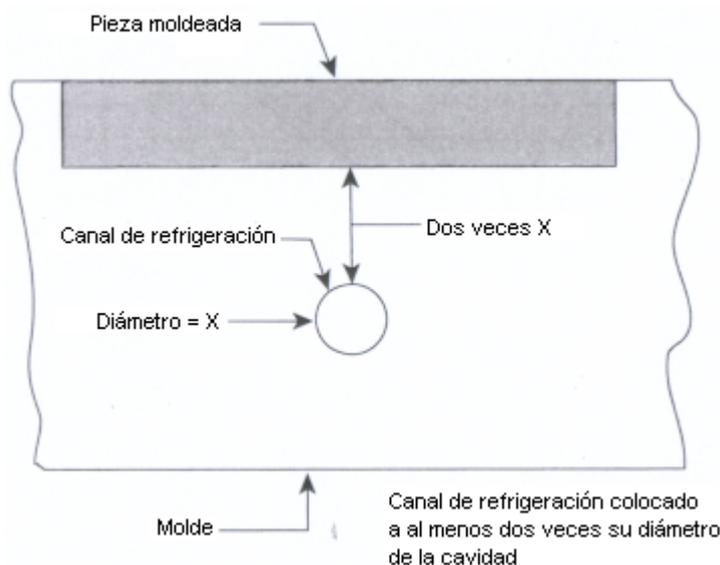


Figura 50 – *Distancia de seguridad en los taladros de refrigeración*

Cuando situamos los taladros, otros objetos que componen el molde podrían interferir con ellos. Por ejemplo, los tornillos que mantienen los bloques cavidad en su sitio. Surgen de debajo de los bloques cavidad y podrían interferir con cualquier taladro de refrigeración que esté bajo los mismos. También los pernos expulsores para la pieza y el canal deben de estar en la mitad B del molde, y podrían interferir como se muestra en la figura 51. Es muy importante que el diseñador del molde distribuya estos objetos con dos principios: primero, situar los bloques cavidad lo más cerca posible del centro del molde (para minimizar el viaje del flujo del plástico entrante); y segundo, situar los taladros lo más cerca posible del contorno de la cavidad imagen. Se debe de jugar con estos dos principios hasta que se de la condición de que se cumplen ambos.

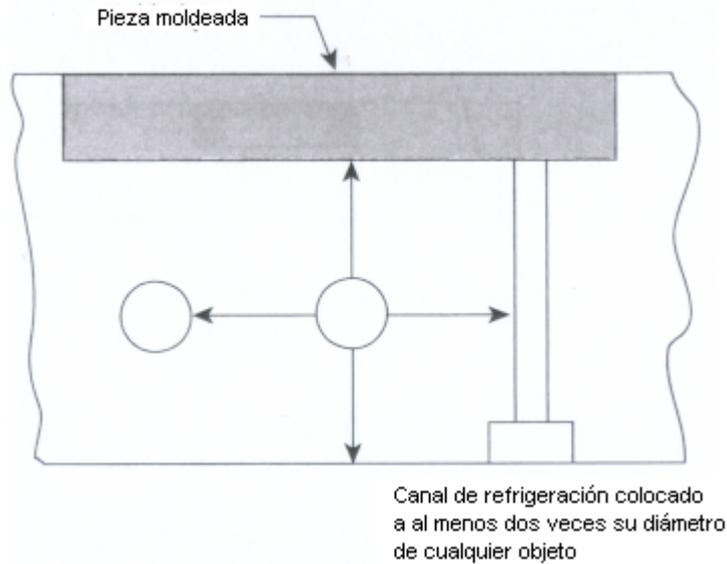


Figura 51 – *El taladro de refrigeración también puede interferir con los pernos o el canal de alimentación*

A veces es difícil situar el control de temperatura del agua cuando se necesita. Por ejemplo, el centro de un núcleo profundo de metal para hacer una papelera. En estos casos se pueden utilizar componentes especialmente diseñados. Un componente popular es la llamada cascada y se le suele llamar fuente, como se muestra en la figura 52.

En una fuente, el medio de refrigeración (usualmente agua) viene del canal principal de refrigeración, entra por el fondo de la fuente, fluye por un tubo, desemboca en el interior de la unidad y sale por un tubo exterior al canal principal de refrigeración. El agua que sale lleva consigo el calor de la unidad fuente al medio principal de refrigeración.

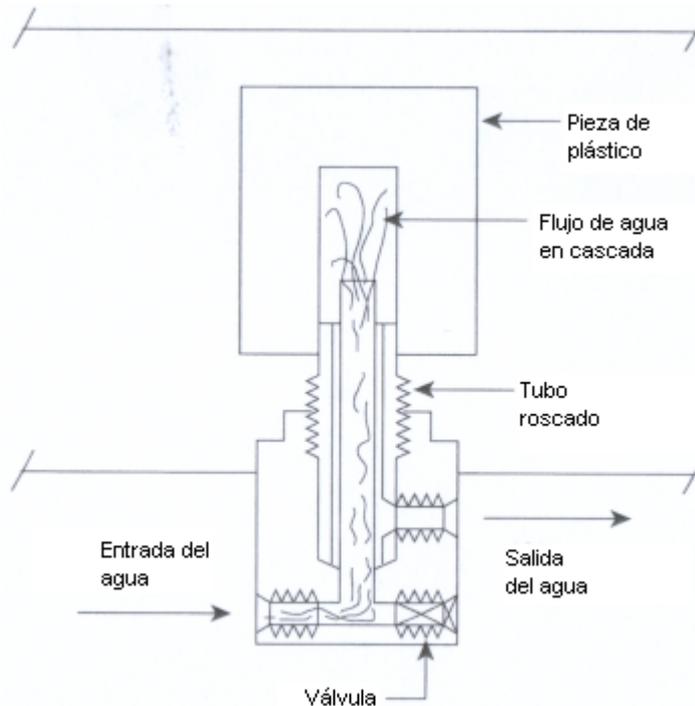


Figura 52 – Refrigeración mediante Fuente

Otra instalación se conoce como perno refrigerante (también denominado perno caliente o perno térmico), como se muestra en la figura 53. Esta unidad trabaja en el conducto principal y está hecho de un material térmicamente conductor, como el cobre. En la figura 53, se conecta el perno refrigerador a la superficie de moldeo de metal y la base del perno se asienta en el canal de refrigeración principal. El calor se transfiere del plástico al perno. El medio de refrigeración se lleva el calor del perno eliminándolo de la base del perno a donde se ha conducido el calor. En algunos diseños, el perno es hueco y contiene un líquido o gas que ayuda a la conductividad.

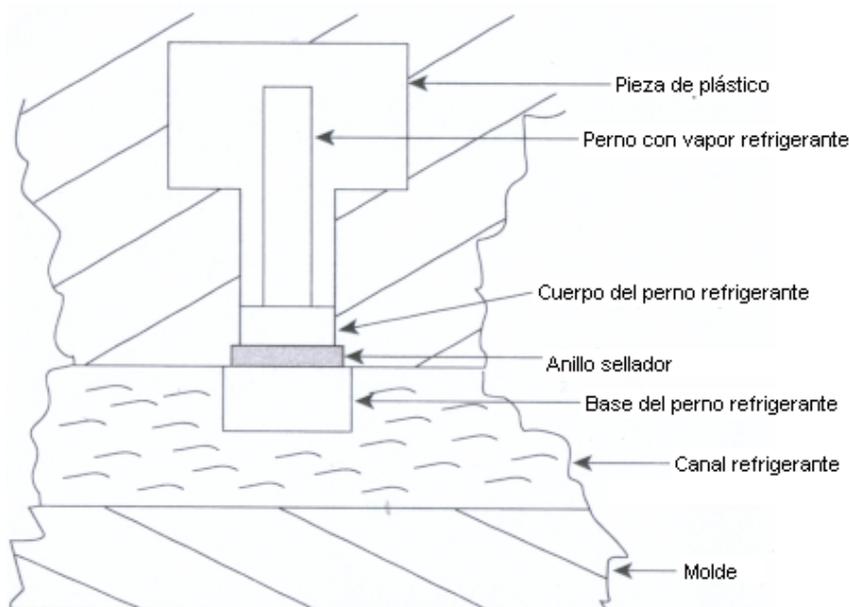


Figura 53 – Perno térmico para eliminar el calor

III.7.3- Unidades de control y colectores

Existen dos maneras principales para controlar la temperatura de los moldes: mediante el uso de unidades de control y de colectores. Aunque los métodos son diferentes, los resultados son los mismos.

La figura 54 muestra una unidad de control de temperatura. Si se usan unidades de control de temperatura base, se debe de usar una única unidad para cada mitad del molde. Así se elimina la práctica de usar el agua calentada de la primera mitad del molde para “enfriar” la segunda mitad del molde, que ocurre cuando sólo se usa una unidad de control.

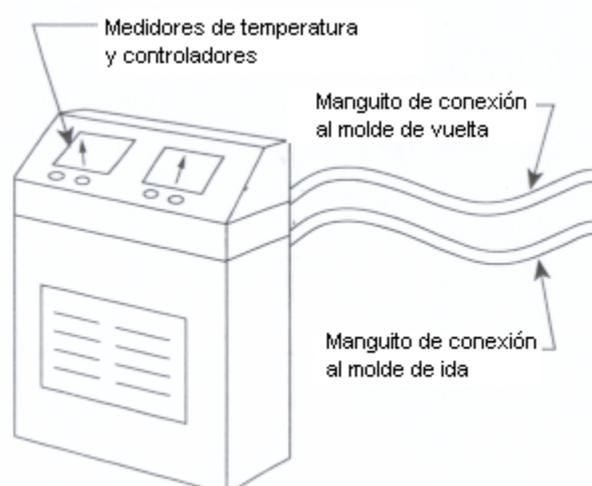


Figura 54 – Unidad de control de temperatura

La unidad tiene un punto de referencia que se determina por el usuario. El agua circula a través de la unidad y se calienta hasta el punto de referencia. A lo que el agua recircula y la temperatura aumenta, la unidad comienza a reemplazar el agua calentada por agua nueva para mantener la temperatura. Este proceso continua, puesto que la función de la unidad es mantener la temperatura del agua. La temperatura del agua recirculante se muestra en la unidad mediante el uso de un termómetro montado en la unidad. Reacuérdesse que es sólo una indicación de la temperatura del agua y no la temperatura del molde. La temperatura del molde debe de medirse mediante un pirometro de superficie en la superficie de las cavidades.

Si se usan colectores de agua, el flujo de agua es manipulado mediante válvulas en los puntos de conexión del colector. Cada línea puede controlarse independientemente. La temperatura del molde se determina por el flujo de agua que circula a través de estas válvulas, pero debe de medirse mediante un pirometro de superficie en la superficie misma del molde. En la mayoría de casos, los colectores se conectan a una fuente de agua enfriada, normalmente a una temperatura de 10 °C. El concepto de colector se basa en un sistema que puede controlar la temperatura del molde después de establecerse, pero requiere una ligera y lenta acumulación, puesto que el metal del molde absorbe calor del



plástico que se inyecta. El sistema del colector depende por lo tanto del continuo calor del plástico entrante para crear una acumulación de calor en el molde para alcanzar la temperatura de moldeo adecuada. Después de alcanzarla, el sistema del colector puede mantenerla. Sin embargo, este proceso puede costar una hora o dos y los parámetros de moldeo deben ajustarse constantemente mientras ocurre esto para asegurar piezas correctas. Esto hace que haya que “pellizcar” los colectores durante la primera hora de producción hasta que el molde alcanza la temperatura deseada.

Algunos moldeadores utilizan un molde más frío para ciclos más rápidos y mayores beneficios. Sin embargo, la mayoría de piezas necesitan un enfriado lento, especialmente las de estructura cristalina. Esto se traduce en un molde templado y ciclos de enfriado largos para crear el mayor nivel de fuerza física en la pieza. Los moldes fríos afectarán negativamente a las propiedades físicas de la pieza, mientras que los moldes templados harán lo contrario. Existen unas pocas ocasiones en las que se debe de utilizar moldes fríos. Si el sistema del colector está en su sitio hay una tendencia para el moldeador de rutinariamente bajar la temperatura del molde a la temperatura del sistema de colector, lo que significa a 10 °C. Esto implica ciclos más rápidos, pero puede hacer florecer un problema de falta de calidad si no se controla.

III.7.4- Flujo laminar y turbulento

Existen dos tipos diferentes de flujo para el agua que atraviesa el taladro de refrigeración de un molde: laminar o turbulento. La figura 55 muestra las diferencias entre los dos tipos. Ambos eliminan el calor del metal de su alrededor, pero el flujo laminar no es tan efectivo como el turbulento. Vease que en el diagrama de flujo laminar el agua viaja en capas separadas. Las capas más cercanas al exterior están cerca del metal del molde y en contacto directo con el calor que hay que eliminar. Estas capas se mueven lentamente (debido a la fricción) y transfieren algo del calor a las capas interiores que se mueven más rápidamente. Sin embargo, la capa del centro, que es la que más rápido se mueve, no recibe calor. En el modelo de flujo turbulento, el agua es volteada constantemente. Toda el agua está en contacto con el metal del molde en un momento o en otro y así se elimina calor del molde. Este es el efecto deseado.

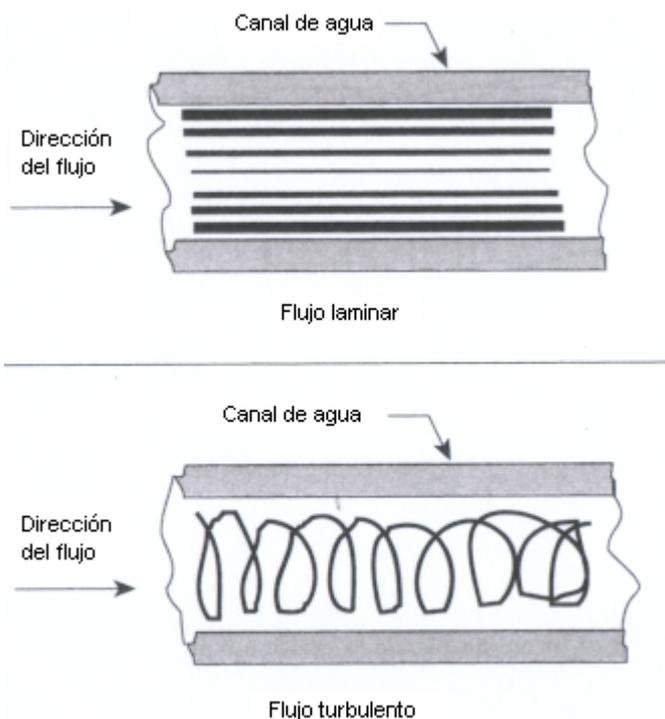


Figura 55 – *Movimiento de las partículas en los flujos laminar y turbulento*

La creación de turbulencia es función del diámetro del taladro, la viscosidad del agua y la velocidad del agua a lo que viaja por los canales. Ya nos refiramos al flujo turbulento o al laminar, se caracterizan por un índice conocido como número de Reynolds. Cuando este es inferior a 2000 hablamos de flujo laminar. La turbulencia ideal se encuentra entorno a 3500 o más. Entre los dos existe un área de transición que fluctúa entre los dos flujos.

Para determinar el número de Reynolds se puede usar la siguiente fórmula:

$$R = v * D / \nu$$

Donde: v = velocidad del agua

D = Diámetro del taladro de refrigeración

ν = índice de viscosidad del agua cinemático

La cuestión más importante que estamos intentando buscar es los metros cúbicos por minuto que se necesitan para alcanzar un número de Reynolds deseado. El caudal es fácilmente variable mientras que otras condiciones están fijadas.

Se puede hacer fácilmente si la temperatura de un molde se mantiene adecuadamente cuando nos fijamos en la diferencia de temperaturas entre el agua saliente y el agua entrante. Contrariamente a lo que se podría pensar, no debe de haber una diferencia superior a 5,5 °C entre las dos temperaturas. Si el agua que sale está más caliente, significa que hay demasiado calor en el molde y el agua no la está eliminando lo suficientemente rápido. Lo ideal es eliminar el calor al ritmo que se crea, saliendo así el agua a la temperatura que entra. Aunque esto no es posible al 100 %, no debe de haber una diferencia superior a 5,5 °C. Si los taladros



se han diseñado para un número de Reynolds adecuado y el agua de salida está más caliente, podrían estar acumulándose residuos o algo podría estar interrumpiendo el flujo.

III.7.5- Aire de refrigeración

Se puede utilizar aire comprimido para realizar la refrigeración que se necesita en la inyección por moldeo. Aunque este método no es tan eficiente como un método de refrigeración estándar, se puede utilizar en situaciones donde la refrigeración normal no es práctica o posible. Por ejemplo, si existe un taladro de refrigeración partido que hace que el agua presurizada penetre en la cavidad se puede usar aire en vez de agua. Esto puede ser aconsejable para terminar una tirada antes de quitar el molde y repararlo. Otro caso se da cuando los componentes específicos, tales como núcleos alargados, se enfrían con aire en vez de agua para equalizar la temperatura del molde sin depender de instalaciones de control de agua más sofisticadas.

III.7.6- Metales de transferencia de calor

La industria del moldeo usa muchos metales en los moldes para ayudar a mantener una temperatura de molde adecuada. Principalmente se usan el aluminio o aleaciones de cobre. La capacidad de estos metales para conducir el calor les permite ser usados en zonas tan profundas como los núcleos donde sería imposible que llegasen los taladros de refrigeración. En algunos casos, se pueden usar láminas de metal o tubos muy finos de metal estratégicamente situados para eliminar el calor de la cavidad.

Todo lo que se menciona en las siguientes secciones tiene grados de variación de expansión térmica y ninguno es idéntico al acero. En algunos casos, esto podría causar un problema para determinar los índices de expansión entre el acero del molde y el componente hecho de otro material. Se podría necesitar una tolerancia final una vez tengamos el molde a la temperatura de trabajo adecuada para solucionar estas diferencias, pero en la mayoría de casos, la práctica de mecanizado lo permite.

Aluminio

Existen diversas aleaciones de aluminio para componentes de moldeo por inyección, todas ellas resultando muy fuertes. Estos materiales de aluminio poseen un valor de conductividad de calor de cuatro veces la del acero de los moldes y esto implica que expulsan el calor de las piezas cuatro veces más rápido. Por esta razón el aluminio es un material de uso común en zonas donde el diseño y localización taladros estándares no proporcionan la disipación de calor adecuada. Como ejemplos tenemos las piezas profundas, cilíndricas, con líneas de partición múltiples o complicadas, o piezas que necesitan un núcleo estrecho y largo. En estos casos, podría resultar imposible conseguir refrigeración usando los métodos normales. El aluminio puede usarse para la porción de difícil refrigeración del molde como se muestra en la figura 56.

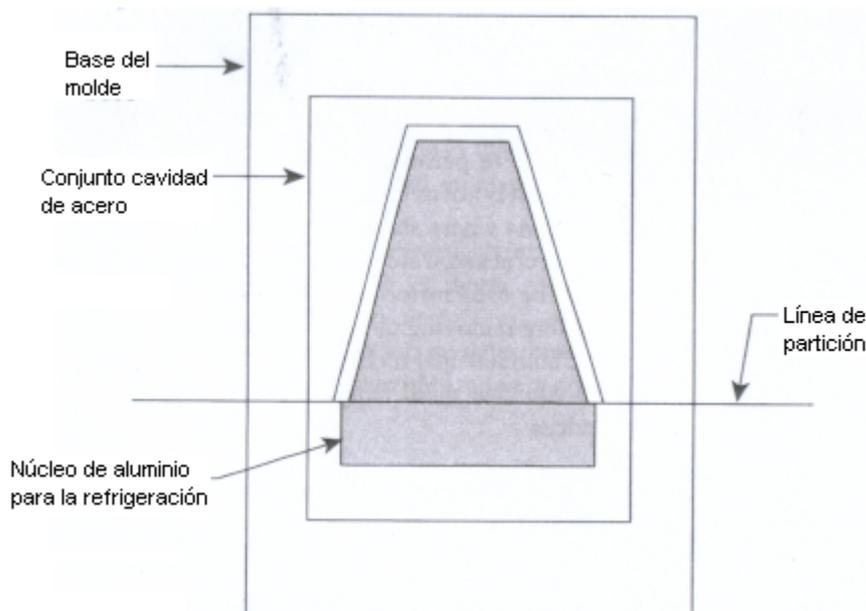


Figura 56 – Utilización de un núcleo de aluminio para la expulsión del calor

Para la mayoría de situaciones, las fuerzas de tensión y compresión del aluminio resultan adecuadas y la superficie puede soportar un alto grado de desgaste en condiciones normales. Si lo que preocupa es el rozamiento, se puede tratar la superficie con multitud de métodos, como el anodizado, para darle a la superficie una dureza de hasta 65 Rc.

Aleaciones de cobre

La dureza de superficie de las aleaciones de cobre (bronce) puede incrementarse del 35 al 43 Rc. La conductividad térmica puede ser más alta que la del aluminio y bronce y tiene un índice de cinco a seis veces el del acero de los moldes. Esto puede derivar en reducciones del tiempo de refrigeración de hasta el 40 % cuando se usan estas aleaciones para toda la cavidad imagen. Las aleaciones de cobre son ideales para zonas difíciles de refrigerar de los moldes de acero y núcleos y son perfectas candidatas para los componentes del molde que reducen las diferencias térmicas.

Aleaciones de zinc

En algunos casos, se han usado aleaciones de zinc para la fabricación de componentes de moldes tales como pernos del núcleo, que necesitan refrigerar en zonas donde de otra manera es imposible. Sin embargo, el desgaste de la superficie resulta un problema y los componentes no se comportan bien cuando el número de ciclos totales sobrepasa unos cientos. La conductividad térmica, de todas maneras, es dos o tres veces la del acero por lo que se debe de tener en cuenta estas aleaciones y muy especialmente en zonas de formas complicadas. Se puede moldear el molde en aleación de zinc y mecanizarlo para darle la forma final.



III.7.7- Refrigeración de nuestro molde

En lo que se refiere al molde para el obturador, éste se va a caracterizar de la siguiente manera.

El sistema de taladros de refrigeración va a estar dividido en dos partes, cada una de ellas en una parte del molde. Las dos son geoméricamente iguales y simétricas con respecto a las cavidades, de cara a que no haya desequilibrios. Envuelven a las piezas a lo largo en forma de “U” pero a la inversa, es decir, la entrada y salida del agua de cada una se realiza en extremos opuestos de cara a evitar desequilibrios de temperaturas. El material del molde que rodea a los taladros es el acero P-20, que lo elegimos especialmente por su alta conductividad térmica. Sus características son las siguientes:

- Densidad: 7800 kg/m³
- Calor específico: 460 J/kg °C
- Conductividad térmica: 29 W/m °C
- Módulo elástico: 200000 MPa
- índice de Poisson: 0,33
- Coeficiente de expansión térmica: 1,2 10⁻⁵ °C⁻¹

Cabe señalar que a la hora del diseño se ha tenido en cuenta la distancia de seguridad con respecto a otros elementos del molde. Esta debe de ser de dos veces el diámetro del taladro. Nosotros hemos tomado como diámetro del taladro 10 mm para lograr con ello alcanzar una refrigeración apropiada, por lo tanto se distanciarán los taladros 20 mm de cualquier elemento.

Otro aspecto que se ha tenido en cuenta es que el flujo que recorre los taladros sea turbulento, para así eliminar el calor con efectividad. Así, realizando los cálculos, éstos nos demuestran que efectivamente superamos el umbral del régimen laminar y tenemos un flujo turbulento:

$$R = v D/\nu$$

Como ya hemos indicado el diámetro de los taladros es de 0,01 m.

El índice de viscosidad del agua es de 1*10⁻⁶.

Tomando una velocidad de 0,5 m/s obtenemos un número de Reynolds de:

$$R = 0,5*0,01/1*10^{-6}$$

$$R = 5000$$



Vemos por tanto que supera ampliamente 2000, por lo que se trata de un flujo turbulento.

Introduciremos el agua al molde a una temperatura de 25 °C y como se verá en el análisis no tendremos ningún problema en cuanto a la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida se refiere. Todo ello viene descrito en otro apartado más adelante, donde se realiza un análisis de temperaturas con el programa Moldflow.

Finalmente hay que señalar que utilizaremos dos unidades de control de temperatura (una para cada mitad del molde) del tipo *Sentra*, cuyo catalogo viene en los anexos y cuyas características más importantes son las siguientes:

- Rango de temperatura: 2 - 150 °C
- Calentadores de 10 Kw
- Válvulas de enfriamiento
- Funciona con aceite también
- Posee equipo de purgación



III.8- Componentes de alineamiento del molde

El proceso de moldeo por inyección requiere un control muy férreo de varios parámetros para conseguir productos de alta calidad al coste más rentable. Una de las consecuencias de estos requerimientos es la necesidad de un alineamiento de cada uno de los componentes del molde con la máquina de moldeo muy preciso. Además, todos los componentes de la máquina de moldeo deben de alinearse entre sí. Sin un alineamiento correcto, las mitades del molde podrían no ajustarse y crear desviaciones en el espesor de muros y dimensiones impropias. El alineamiento, por tanto, puede definirse como la precisión de situar el componente en relación a su posición. Se consigue de varias maneras que se detallan en la sección siguiente

Normalmente, el método principal de alinear las dos mitades del molde (A y B) es usar pernos guía y casquillos. Existe una variedad de diseños para incorporar este concepto pero lo más común es el perno central (con o sin surcos para el aceite), y el casquillo estándar correspondiente. Este diseño permite mecanizar agujeros en las dos mitades del molde para una localización precisa del perno y el casquillo. Otro método popular de alinear mitades es con cierres, normalmente llamados interlocks.

III.8.1- Pernos guía y casquillos

El objetivo del perno guía y su casquillo es asegurar que las mitades del molde están alineadas correctamente antes de engranar los componentes móviles del molde entre sí y asegurar también que la alineación antes de cerrar es correcta. Por lo tanto, la longitud del perno guía y la forma del engrane en su casquillo resulta importante.

La figura 57 muestra un ejemplo típico de perno guía y casquillo. Obsérvense las tolerancias del perno y los diámetros del casquillo. Se fijan con precisión para asegurar el alineamiento de las mitades del molde durante el cierre. La figura 58 muestra como interactúan el perno y el casquillo para conseguirlo. Los agujeros en los que están los pernos y los casquillos deben de servir de guía base para poder situarlos y ajustarlos. Se debe de situar un perno guía en cada esquina del molde y uno de ellos debe de ser el que asegura que las dos mitades del molde sólo se pueden unir de una manera, como se ve en la figura 59.

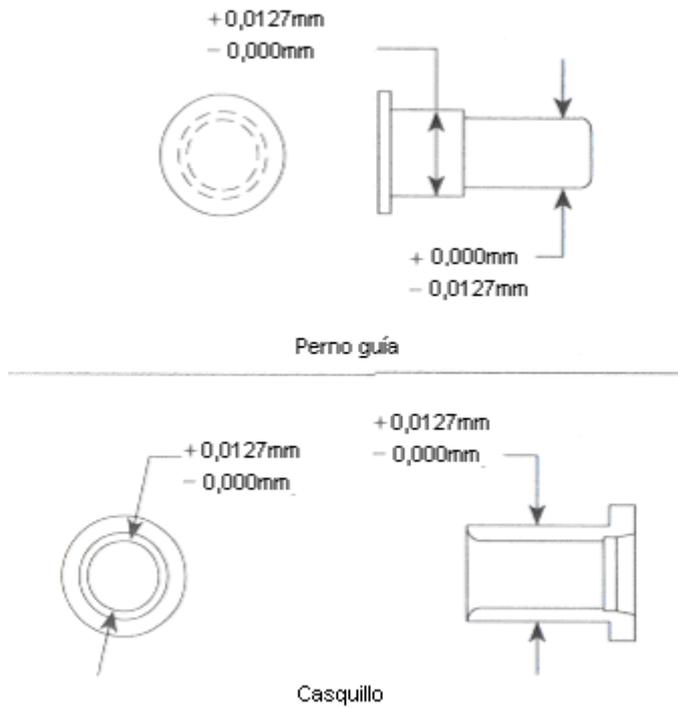


Figura 57 – Tolerancias en el perno y el casquillo

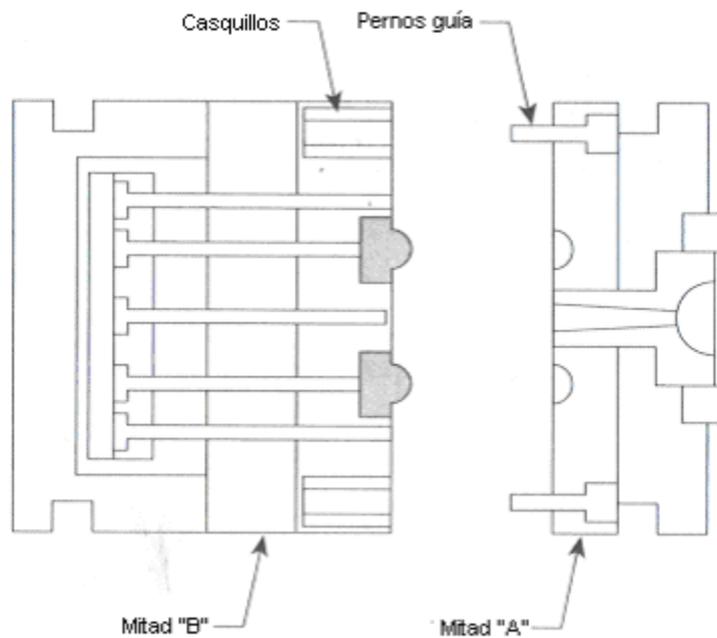


Figura 58 – Situación de los pernos y casquillos en el molde

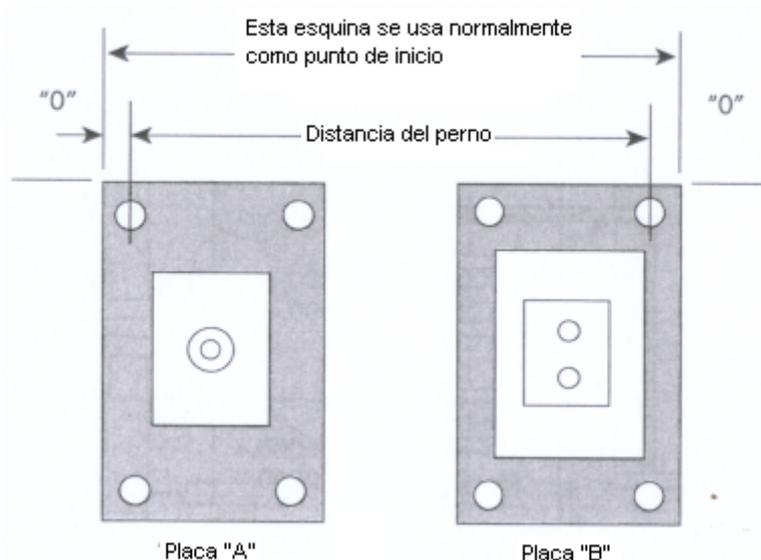


Figura 59 – Sólo se pueden unir las mitades de una forma

Los pernos guía deben situarse lo más lejos posible del eje del molde para permitir un área para la cavidad imagen y taladros de refrigeración máxima. Las dimensiones del perno guía se determinan por el tamaño del molde, con un rango de diámetro nominal normal de 19 a 38 mm. De todas formas existen de hasta 76 mm de diámetro. La longitud del perno se determina por el grosor de la placa molde y la localización de las mitades del molde justo antes de engranar.

El diámetro de los casquillos se ajusta al diámetro del perno adecuado y la longitud del casquillo debe de ser de 1,5 a 3 veces el diámetro del casquillo. Esto nos da un ajuste adecuado.

Los pernos guía y casquillos se hacen de acero colado endurecido con una dureza de 60 Rc. Se puede minimizar el desgaste usando lubricante. Existen casquillos o pernos con ranuras para el aceite y que también pueden contener al lubricante. Normalmente estos elementos se suelen incluir en la compra de un conjunto de molde estándar.

III.8.2- Componentes de accionamiento de cierre típicos

Algunos diseños de productos necesitan componentes móviles en el interior del molde. Estos componentes incluyen correderas, cámaras y elevadores...que se denominan accionamientos. Estos separan partes del molde en mitad A, mitad B o ambos cuando se abre el molde, y deben de alinearse para una situación precisa, puesto que se posicionan para volver cuando el molde cierra. Así se puede ver en las figuras 60, 61 y 62.



Correderas

Los mecanismos corredera son grandes zonas del molde que se retiran de la sección principal de la cavidad por muchos métodos. Lo más común es el sistema de pernos inclinados. Como se puede observar en la figura 60, el perno inclinado está estacionario (en la mitad A de este dibujo), y el mecanismo corredera tiene un agujero en el mismo que se ajusta al ángulo del perno estacionario. Cuando se abre el molde, la deslizadera es forzada a seguir un camino tirando de ella desde la sección principal de la cavidad debido a la combinación de perno inclinado y agujero. Cuando el molde cierra, la deslizadera es empujada hacia delante por la relación que mantienen el perno estacionario y el agujero inclinado hasta que el molde se cierra por completo y la deslizadera está lo más adelante posible. Sin embargo, debido a las fuerzas laterales de la presión de inyección usada en el proceso de moldeo, los accionamientos de las correderas son empujados ligeramente fuera de la sección de la cavidad. Esto provoca la aparición de rebaba y discrepancias dimensionales en la pieza moldeada. Para superar estas fuerzas se suelen incorporar mecanismos de cierre. En el dibujo se representan como bloques de forma de cuña de acero montados en la mitad A. La acción de encuñamiento se consigue usando un ángulo de aproximadamente 15° en las caras de unión del cierre y de la deslizadera. Al mecanismo de cierre también se le suele llamar cierre de cuña.

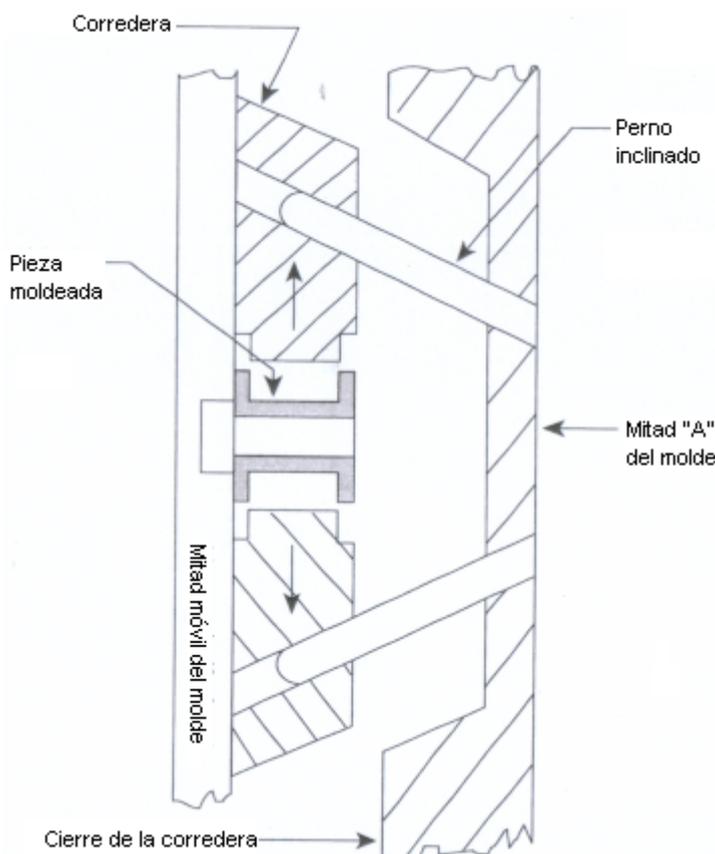


Figura 60 – Sistema de correderas con pernos inclinados



Sino, se pueden utilizar grandes cilindros hidráulicos para aportar la fuerza que aporta la cuña. Pese a ello, no son tan fiables como el cierre mecánico de cuña y deben de ser sincronizados electrónicamente para el cierre y la apertura del molde.

Cámaras

Los mecanismos cámara son similares a las correderas pero sólo necesitan un área pequeña de la parte móvil del molde. Por ejemplo, se pueden incorporar cuando usamos un perno central a través de un muro lateral o para tener partes de la pieza moldeada de un rasgado, como se ve en la figura 61.

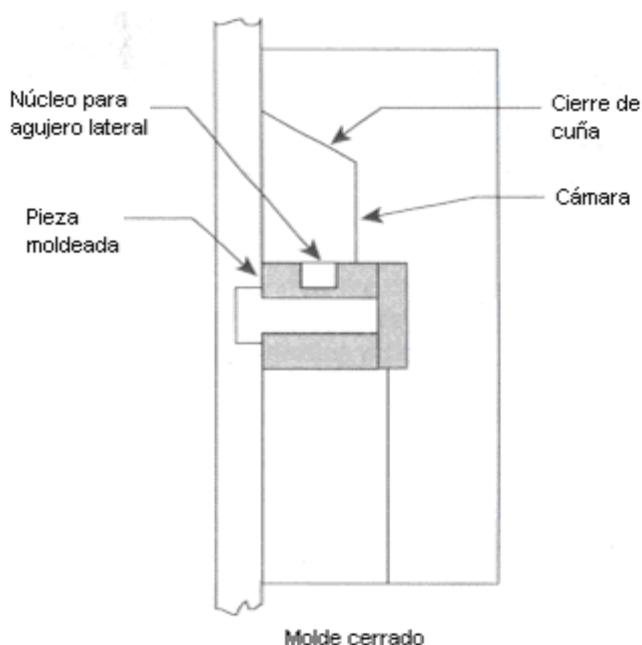


Figura 61 – El sistema de cámara permite crear rasgados

Como ocurre con otros sistemas en los que sus partes se separan cuando se abre el molde, los sistemas cámara deben reposicionarse adecuadamente y precisamente cuando cierra el molde. La cámara puede considerarse una pequeña corredera cerrada que usa una pequeña cuña como forma de cierre. Alternativamente se puede ajustar un pequeño cilindro hidráulico para aportar presión hidráulica constante contra la cámara durante el proceso de moldeo. Debe de controlarse el tiempo para operar precisamente y no es tan de fiar como los métodos estrictamente mecánicos.

Si la cámara está en un perno central, este debe de situarse en un casquillo que permita un alineamiento perfecto cada vez que el molde abre y cierra. Un perno que no esté alineado se desgastará indebidamente y no conseguirá un dimensionamiento correcto de la pieza que se esté moldeando en la zona de la cámara.

Sistema elevador

Los elevadores se usan formando un agujero interno, o algún rasgado en el muro interior de una pieza. Consiste en un área de acero que hay que quitar del camino a lo que el molde se abre para expulsar la pieza moldeada. Debe de retirarse hacia atrás a su posición original porque el molde cierra para formar el rasgado para el cual está diseñado. No hay que olvidar que para una localización correcta y precisa, debe de ser alineado. Para mantenerlo en su posición durante la fase de inyección del proceso de moldeo debe de fijarse. Esto se hace de la manera que se muestra en la figura 62.

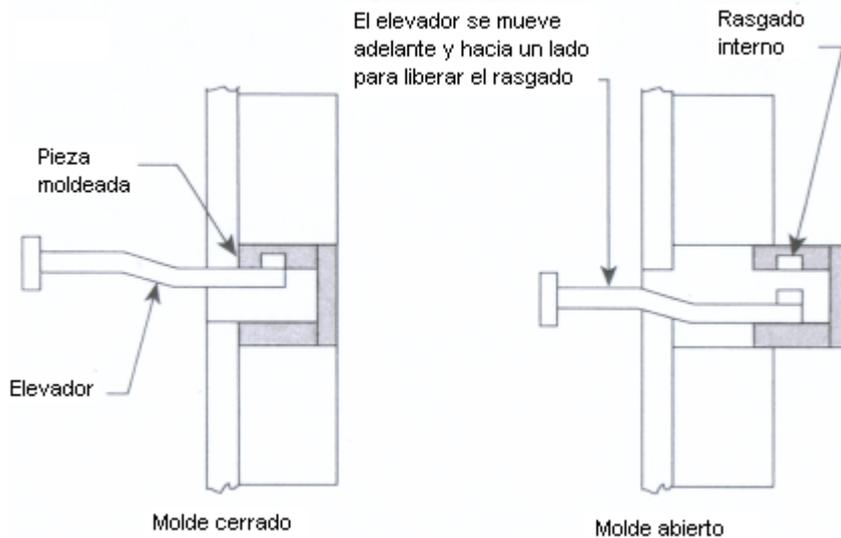


Figura 62 – Posicionamiento del sistema elevador con el molde abierto y cerrado

Componentes telescópicos

Cuando se moldea una pieza con un perno central largo o de características similares, es deseable apoyarle en la fase de inyección del proceso de moldeo o podría ser deformado por la presión de inyección dirigida contra él. Un buen ejemplo de esto lo tenemos cuando moldeamos la carcasa de un bolígrafo. La figura 63 lo muestra.

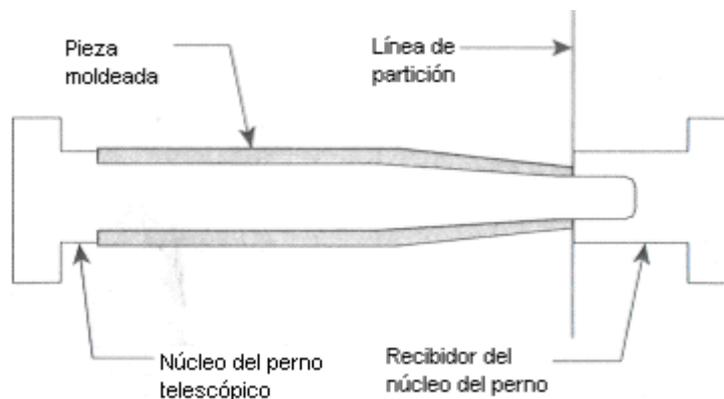


Figura 63 – Ejemplo de sistema telescópico para una carcasa de bolígrafo



Un método de darle apoyo al perno es engancharlo con otro componente al final del perno. A esto se le llama telescopio. Este método consiste en posicionar el perno central cuando el molde está cerrado. En este tiempo, la punta del perno central entra en un agujero que da apoyo al perno central hasta que se completa el proceso de inyección. Cuando abrimos el molde se desengancha el perno central del agujero para permitir la expulsión de la pieza

El telescopio puede usarse para el alineamiento del núcleo a la cavidad. Sino, puede usarse en cualquier caso que necesite de soporte o alineación de algún componente del molde. Lo más delicado es diseñar y construir la instalación telescópica con las tolerancias adecuadas para asegurar un alineamiento adecuado sin permitir que el material escape entre los componentes telescópicos. El telescopismo no sólo necesita adecuados métodos de mecanización sino también una refrigeración correcta en todo el molde para que haya una expansión y contracción de todos los componentes del molde equilibrada y consecuentemente se minimicen las posibilidades de interferencia que se crean con las diferencias de expansión entre los diferentes componentes del molde.

Muchos diseñadores de moldes insisten en usar pernos centrales telescópicos en todas las situaciones en que se necesitan agujeros, incluso aunque este sea corto para su longitud. La razón reside en la expansión térmica normal que ocurre en el proceso de moldeo. Cuando el molde se calienta y se expande, la longitud del perno central no se alarga lo suficiente como para continuar estrechándose si se hace que el perno ajuste perfectamente contra la mitad en la que está el estrechamiento. Se podrían producir escapes a través del agujero como se puede ver en la figura 64. Para solucionar este problema la mayoría de fabricantes de moldes precargan el perno construyéndolo ligeramente más largo de lo necesario. Luego, cuando se expande el molde, esto sirve para evitar fugas de material. Sin embargo, los pernos precargados pueden producir la creación de una especie de forma de champiñón en la cara del perno que provocaría problemas al sacar la pieza del molde. Al hacer telescópico el perno central en la otra mitad del molde se elimina este problema, como se observa en la figura 64.

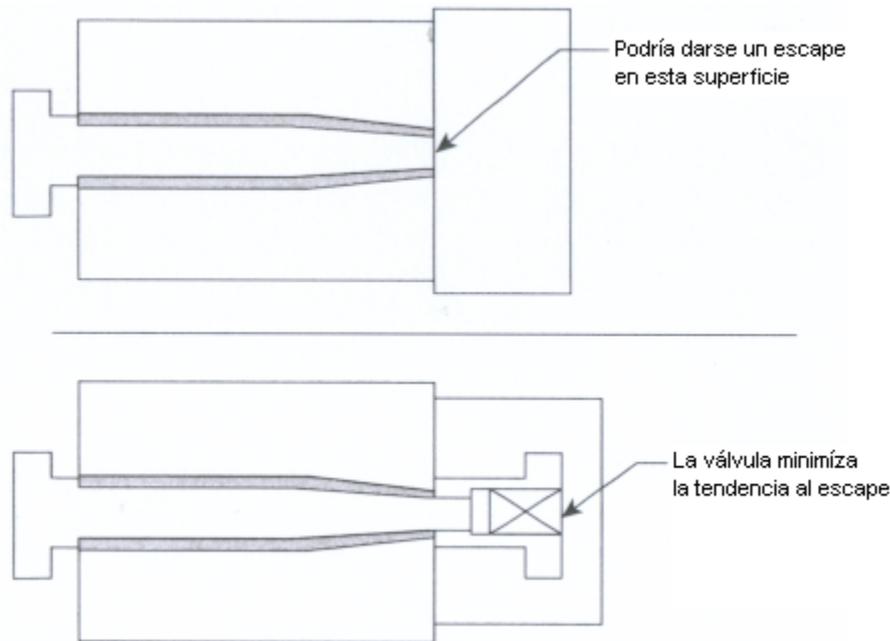


Figura 64 – Con el sistema telescópico se soluciona el escape

III.8.3- Alineamiento del molde a la máquina

El molde debe de alinearse a la máquina de moldeo. Esto se realiza mediante el uso del anillo localizador y el bebedero. Aunque estos componentes son parte del molde, interactúan con la máquina para conseguir el alineamiento necesario entre el molde y la máquina. El objetivo del anillo localizador es posicionar el molde en la placa de la máquina de moldeo precisamente en la preparación para cerrar las abrazaderas, como se muestra en la figura 65.

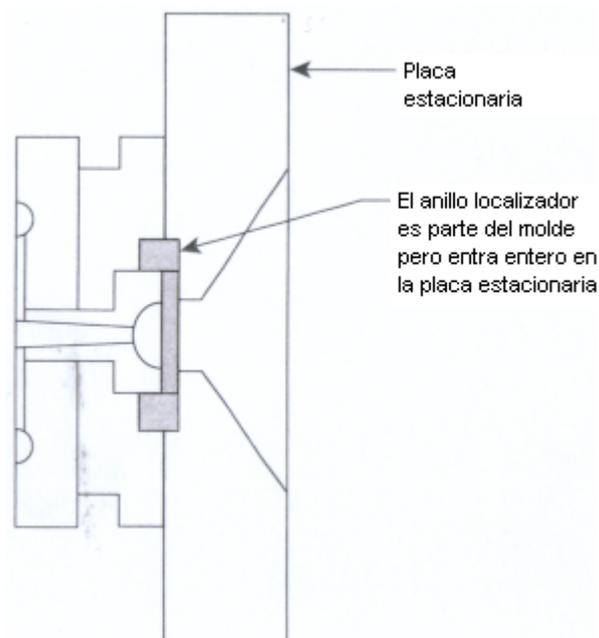


Figura 65 – Situación del anillo localizador

El diámetro exterior va desde 101,6 hasta 139,7 mm siendo lo más común 101,6 mm. El diámetro interior une el diámetro de la cabeza del bebedero, de normalmente 50,8 mm de diámetro. La profundidad del anillo es ahuecada en la placa de encima del molde base en 5,5 mm y se eleva de la superficie de la placa superior la misma dimensión. A pesar de ello, existen algunos diseños que requieren una elevación diferente a esta.

El diámetro exterior del anillo localizador forma un pliegue con un agujero cónico localizado en la placa estacionaria de la máquina a la que el molde se une. Después de situar el molde usando el anillo, debe de cuadrarse para ser paralelo a tierra usando un nivel en la placa superior.

El objetivo del cabezal del bebedero es posicionar la boquilla de la máquina de moldeo (que es ajustable) con precisión para asegurar el ajuste y sellar la boquilla al molde, como se muestra en la figura 66. Así, el plástico fundido puede entrar en el molde bajo la presión de la máquina de moldeo. Si no se alinea el cojinete del bebedero correctamente o no es del tamaño adecuado, ocurrirá una fuga de material y se perderá presión para el llenado del molde. Además la fuga retornará hasta la boquilla y cubrirá el calentador causándole daños.

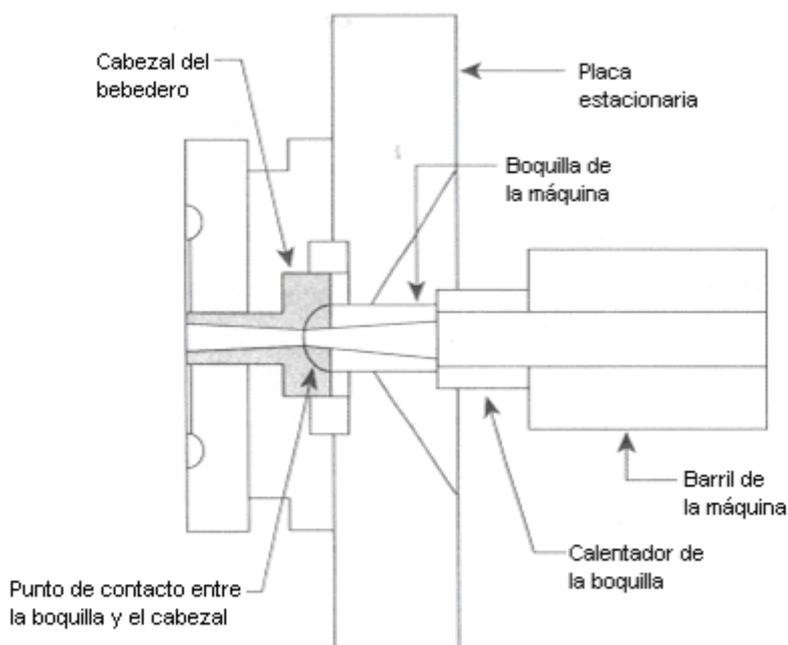


Figura 66 – El ajuste debe de realizarse con precisión

Placas, barras de amarre y casquillos

Las placas de la máquina son placas grandes de acero usadas para soportar y fijar el molde de inyección y abrir y cerrar el molde durante la producción. Existen de hecho tres placas en la máquina estándar, dos de las cuales son estacionarias y están sujetas con barras de gran diámetro conocidas como barras de amarre, como se muestra en la figura 67.

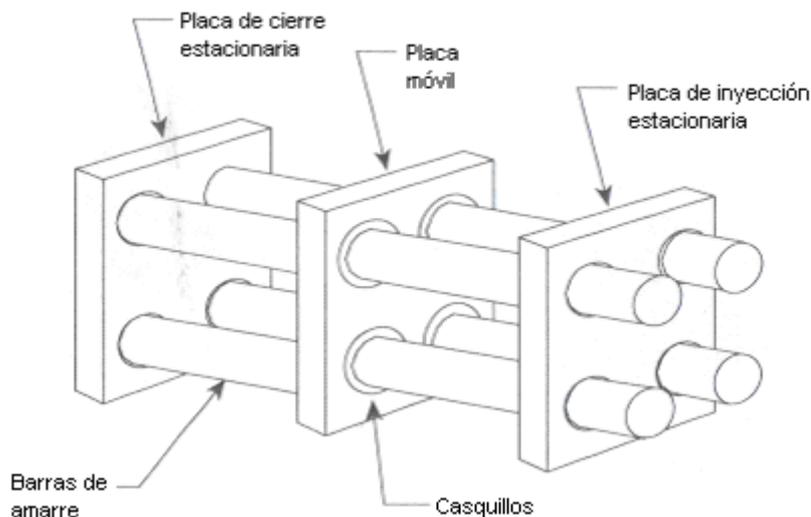


Figura 67 – Componentes de la máquina para fijar el molde

Entre las dos placas estacionarias existe una placa móvil que viaja a lo largo de las barras de amarre mediante casquillos de ajuste fino que están en cada esquina de la placa móvil. El molde de inyección se sitúa entre la placa estacionaria de la máquina y la placa móvil. Se cierra en el sitio mismo y se abre y cierra mediante la acción de las placas móviles por un mecanismo hidráulico o de interruptor de palanca. La integridad estructural de las placas y las barras de amarre le proporcionan robustez y un alineamiento preciso para asegurar que el molde esté bien posicionado en relación a la máquina en el proceso de moldeo.

El grado de paralelismo entre las placas determina la habilidad de la máquina para situar y cerrar el molde con precisión. Esto se controla por medio de micrómetros en los tornillos que unen las placas a las barras de amarre. Las caras de las placas deben de ser planas y paralelas a unas tolerancias muy estrechas y se les debe de realizar un estricto mantenimiento para que se mantengan así. Además, las barras de amarre deben de comprobarse frecuentemente para asegurar que son rectas y paralelas. Asimismo, se deben de reemplazar los casquillos de las barras de amarre cada vez que se desgasten y hay que lubricarlos para minimizar el desgaste.

Para un seguimiento y ajuste del paralelismo y el alineamiento de toda la máquina y el molde, el bastidor de la máquina debe nivelarse para que sea paralelo al suelo. Esto se hace usando la vibración de unos acolchados colocados en el suelo de la habitación de moldeo y bajo puntos específicos de nivelado de la máquina de moldeo. Los acolchados de vibración se pueden ajustar en altura para acomodar el proceso de nivelado y absorber la mayoría de la vibración que se genera en la máquina de moldeo durante el proceso de moldeo.

III.8.4- Componentes de alineamiento en nuestro molde

En el molde para fabricar obturadores utilizaremos de cara al alineamiento de las dos mitades del molde cuatro pernos guía como se puede ver en la figura 68. Cada uno de ellos irá situado en una esquina del molde, con una distancia

entre ellos de 360 mm a lo largo y 246 mm a lo ancho, apurando al máximo las dimensiones del molde para dejar sitio en la parte central a los 8 núcleos. El diámetro de cada perno es de 30 mm, suficiente para conseguir un alineamiento óptimo. Además cada perno irá ajustado en su casquillo correspondiente que poseerá una altura de 45 mm, es decir, vez y media el diámetro del perno guía.

Por otra parte, en lo que se refiere al bebedero, este viene definido geoméricamente en los planos del molde, siendo las dimensiones más importante las de la altura que sobresale la cabeza del bebedero, 5,5 mm y la del radio del diámetro interior para acoplar a la maquina de inyección, tomando esta 13,5 mm.

Este molde no posee ningún mecanismo de acción ya que nuestra pieza, por su geometría, no requiere las funciones que estos realizan para formar la pieza.

El sistema placas, barras de amarre y casquillos es el propio de la instalación de inyección, que viene definido en los planos

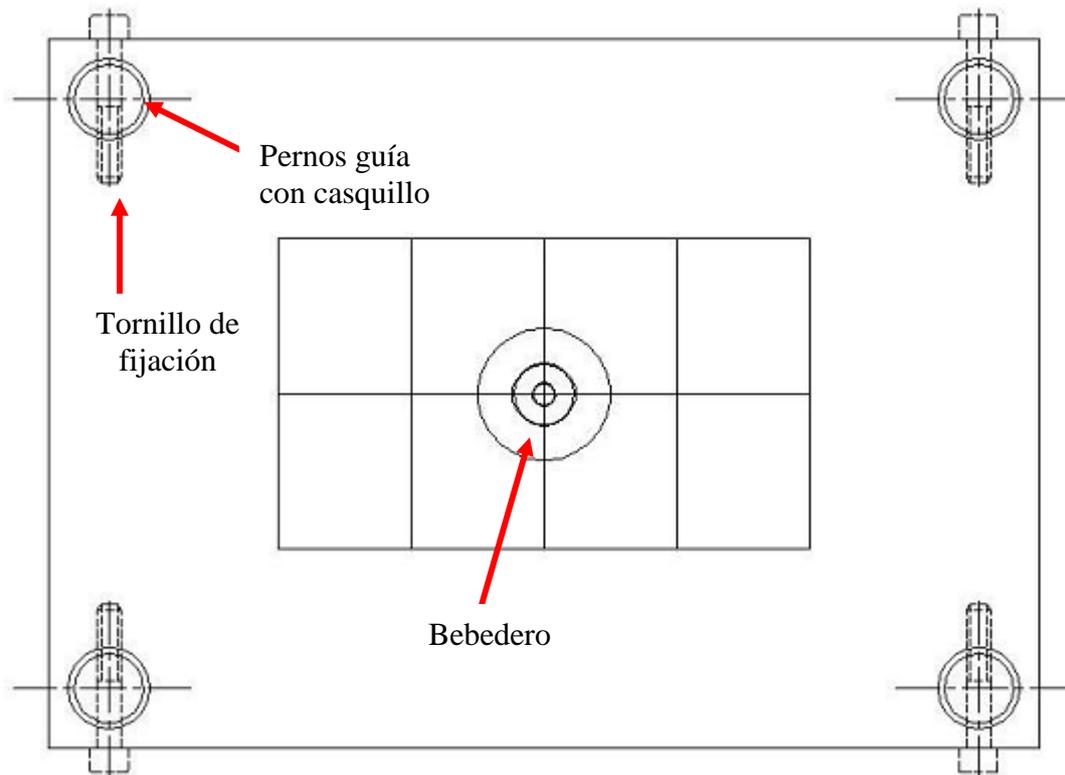


Figura 68 – Distribución de los pernos guía, casquillos y bebedero en el molde en planta



III.9- Sistemas de expulsión

Una vez que se moldea la pieza debe de ser expulsada del molde. Esto se realiza usando mecanismos que empujan la pieza solidificada fuera del conjunto cavidad. Aunque existen muchas maneras de realizar esto, analizaremos los métodos más empleados. Esta sección analiza el diseño de un proceso estándar de expulsión, sistema expulsor manual, el concepto de cavidad partida, un sistema de tres placas con expulsión retrasada y la expulsión por aire comprimido.

III.9.1- Tipos de sistemas de expulsión

Diseño del sistema de expulsión estándar

En el diseño estándar, la pieza se expulsa usando un conjunto de pernos expulsores. La forma más común es la que se muestra en la figura 69. El perno se compone de cabeza, cuerpo y cara, normalmente forjada en acero H-13 endurecido. La cara es normalmente plana pero puede ser mecanizada de la forma que se desee. Estos pernos se venden en modelos estándar con diámetros de cuerpo desde 3,2 a 25,4 mm y con longitudes que van desde 15 hasta 91 cm. Se mecanizan a la longitud deseada y se ajustan a su emplazamiento por el fabricante del molde. Para evitar que los pernos expulsores penetren en el plástico durante la expulsión, los diámetros deben de ser lo mas grande posibles para que la presión de expulsión se distribuya sobre un área grande. Esto ayudara también a minimizar la distorsión del plástico durante la expulsión.

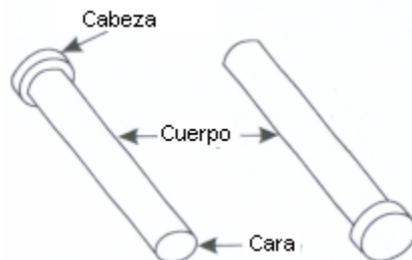


Figura 69 – Partes de un perno expulsor

Los pernos expulsores se montan en una placa expulsora (llamada placa retenedora) que tiene una placa de apoyo debajo, como se muestra en la figura 70. Este conjunto entero se sitúa después en un alojamiento de expulsor, montado directamente debajo de la placa B del molde, como se muestra en la figura 71.

En la mayoría de casos, el sistema de expulsión entero se guía usando pernos y casquillos para minimizar el rozamiento y la distorsión que se produce durante su uso. Esto es necesario especialmente en los moldes grandes, de vida larga o en condiciones de gran producción. Por lo tanto no es necesario aplicar este concepto para volúmenes menores o moldes pequeños.

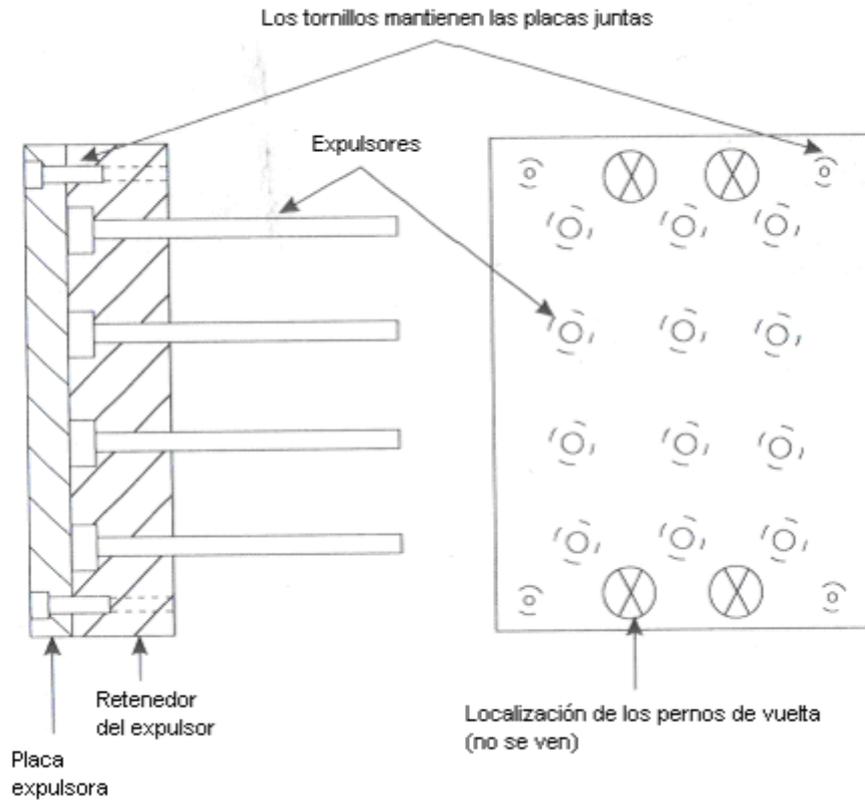


Figura 70 – Composición de un sistema de expulsión

Vease que en la figura 71 el sistema de expulsión tiene otros pernos que todavía no se han descrito. Estos son los pernos de retroceso y el expulsor del bebedero. Los pernos de retroceso devuelven el sistema de expulsión a su posición inicial para el siguiente ciclo. Esto se hace cuando la mitad B del molde cierra contra la mitad A del molde. El perno de expulsión del bebedero se usa para ayudar a extraer el bebedero de su alojamiento justo cuando se abre el molde en caso de que sea necesario. Después, se usa como perno expulsor para empujar el bebedero de la mitad B del molde durante el proceso de expulsión

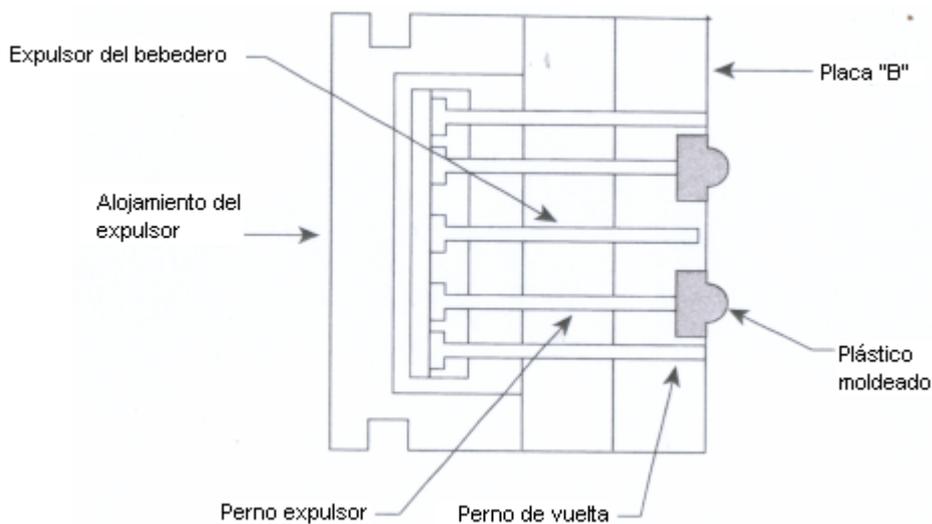


Figura 71 – Sistema de expulsión montado en el molde



El perno expulsor se mecaniza para que se forme rebaba en el fondo de la cavidad. Sin embargo, debido a las tolerancias que se exigen y la expansión/contracción de las placas del molde durante el proceso de moldeo, es imposible mantener la rebaba original de estos pernos. Por lo tanto, se debe determinar si hacer los pernos más largos o más cortos para compensar estos factores. El efecto será uno de dos: o la pieza cae libremente del molde o la pieza se queda pegada a los pernos expulsores y necesita quitarse manualmente (o con el uso de un robot). La razón de esto se entenderá mejor si examinamos la figura 72.

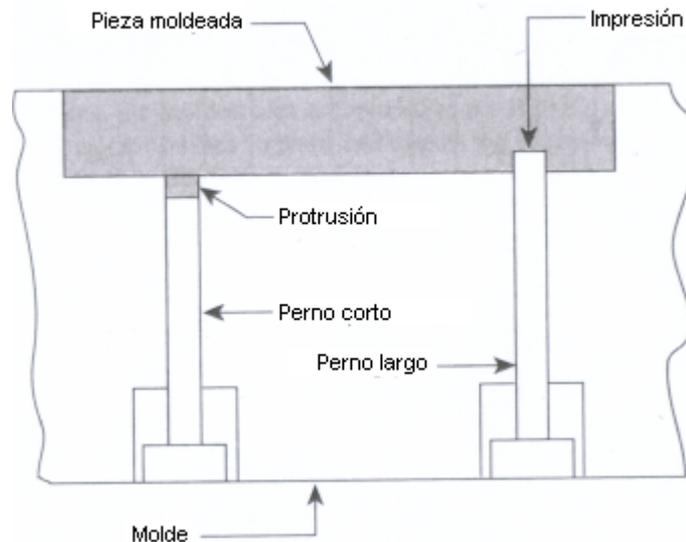


Figura 72 – Problemas causados en la pieza por pernos largos y pernos cortos

Si el perno expulsor es demasiado corto, se forma un acolchado de exceso de material porque el plástico que entra rellena el área vacía de enfrente de la cara del perno expulsor. Ahora, cuando el perno expulsor se mueve hacia delante empuja contra el acolchado y la pieza moldeada sale de la cavidad y cae libremente del molde. A pesar de ello, el acolchado de exceso de plástico es permanente y podría ser objeto de reclamación por parte del diseñador o del cliente.

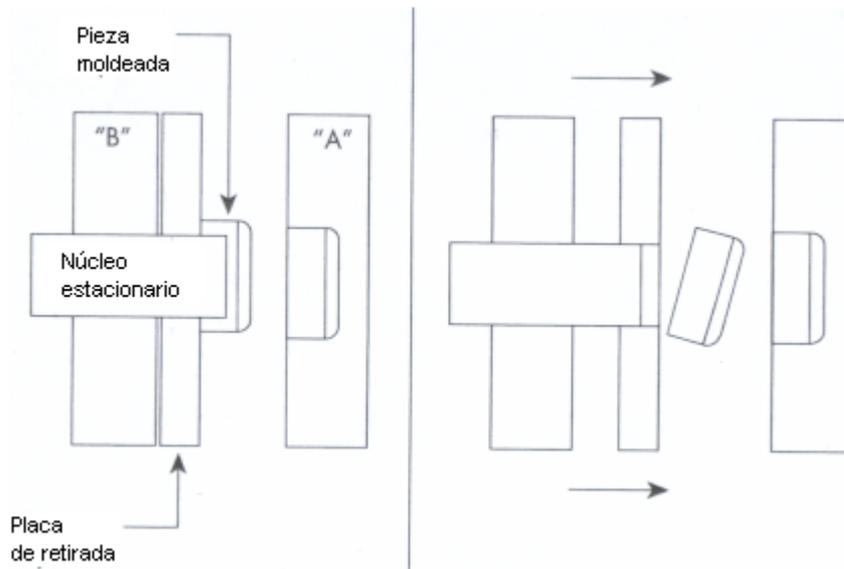
Cuando el perno de expulsión es largo, crea una depresión en la pieza porque el plástico entrante moldea alrededor del cuerpo del perno. A lo que el plástico se enfría, se contrae hacia el perno expulsor. Después, cuando el perno se empuja adelante por el sistema de expulsión, la pieza moldeada se empuja fuera de la cavidad pero queda sobre el perno expulsor y no cae del molde.

Los pernos expulsores deben de ser diseñados para que sean o más largos o más cortos que la superficie del molde. Si la depresión o el acolchado son reclamables se necesitará reconsiderar otro método de expulsión.

Sistemas de expulsión manual

Existen situaciones en las que los sistemas de expulsión con pernos estándar no pueden utilizarse debido a que los pernos son tan pequeños que pueden punzonar la pieza o el área en la que se pueden colocar los pernos está limitada. En ocasiones como esas, podemos acudir a los sistemas de expulsión manuales para solventar el problema.

Existen dos versiones de estos sistemas: mangas y placas. Estas se muestran en las figura 73 y 74.



Figuro 73 – Sistema de expulsión con placa de expulsión manual

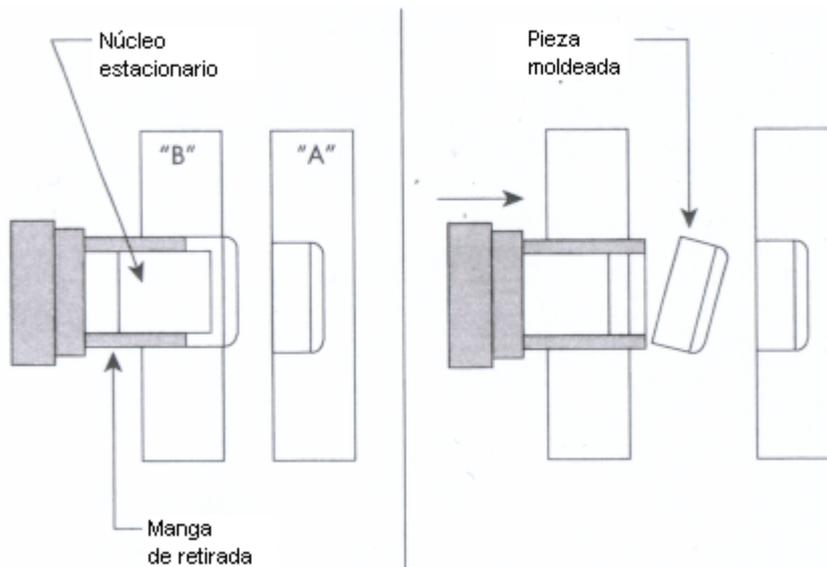


Figura 74 – Sistema de expulsión con manga



Una placa de retirada es una tercera placa añadida al molde principal entre las placas A y B. Se fija de tal manera que se une a la mitad B del molde y forma las áreas bajas de la pieza de plástico reponiendo esa sección del núcleo del molde. Como se puede ver en la figura 73, cuando el molde se abre, la pieza se queda en la mitad B porque se ha contraído al núcleo. Cuando se activa el sistema de expulsión, el perno de retorno empuja a la placa de retirada hacia delante. Esta acción quita la pieza del núcleo y expulsa el producto final del molde.

Cuando se utiliza una manga, esta consiste en un perno expulsor hueco. La manga se ajusta alrededor de un núcleo como se puede ver en la figura 74. De nuevo, la pieza moldeada se contrae entorno al núcleo y se queda en la mitad B cuando el molde se abre. Cuando se activa el sistema de expulsión, la manga expulsora abandona la pieza por el núcleo y expulsa la pieza final.

III.9.2- Características del sistema de expulsión

En nuestro molde disponemos de 8 pernos expulsores, todos ellos fijados a la placa retenedora que unida a la placa expulsora por tornillos, esta en el alojamiento del expulsor. No existe ningún perno de expulsión para el bebedero, puesto que no es necesario.

Además, cabe señalar que hemos puesto en nuestro molde unos tacos de 34 mm de diámetro por 78 mm de alto junto al sistema de expulsión. Estos tacos, llamados anti-flexión, tienen la función de apoyar mecánicamente a la mitad B del molde para que no se flexione al producirse la inyección del plástico, puesto que la presión que se alcanza en la cavidad puede dar lugar a ello. Todo ello se puede ver en la figura 75.

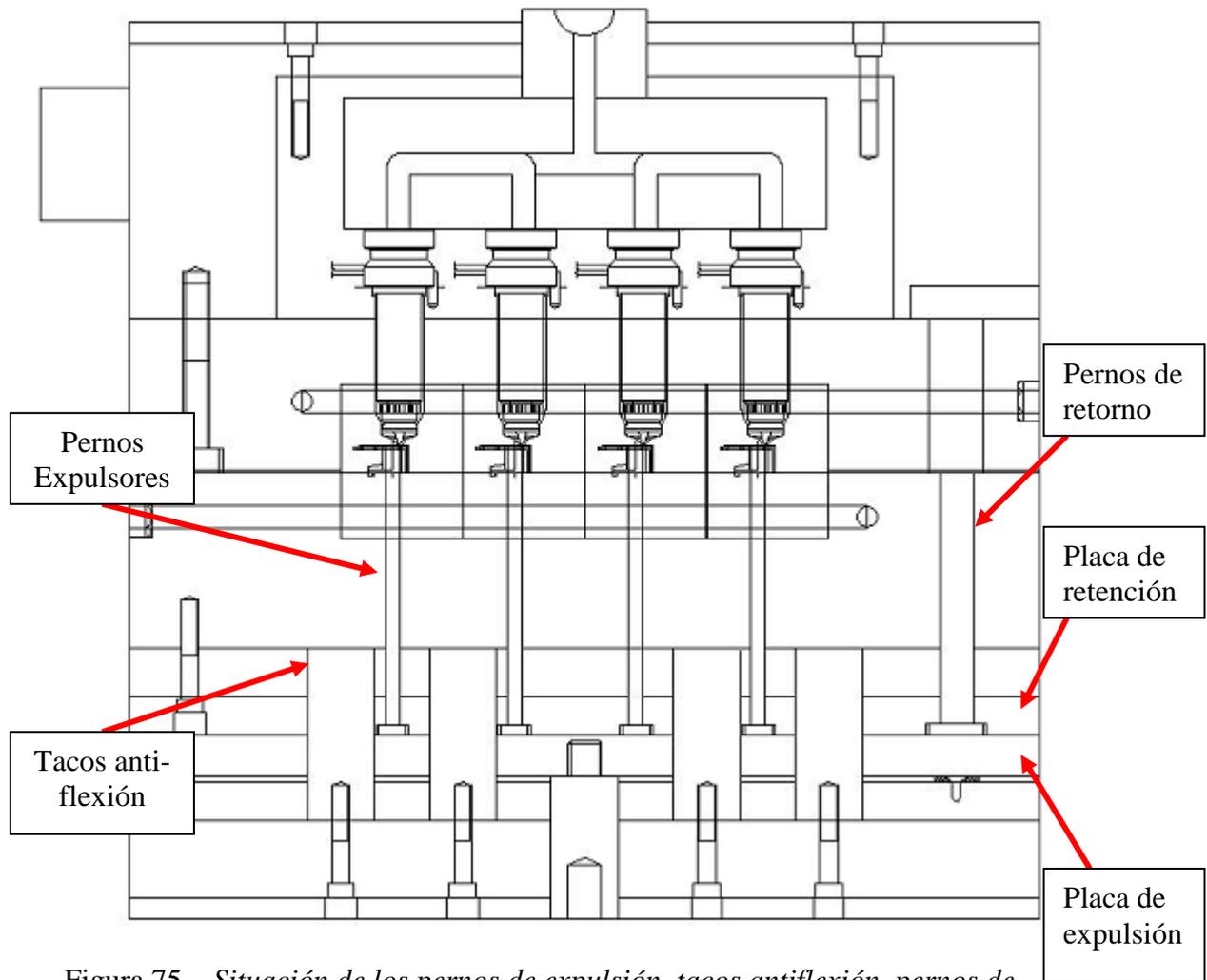


Figura 75 – Situación de los pernos de expulsión, tacos antiflexión, pernos de retorno y placas en el molde en alzado



III.10- Fabricación del molde

III.10.1- Mecanizado

Métodos de mecanizado

Hay muchas maneras de crear los detalles del molde de inyección. Algunos de los componentes pueden comprarse en un estado acabado o semi-acabado a los proveedores de bases de molde. Pese a ello, la cavidad final, núcleos y detalles específicos de un diseño en concreto, deben de hacerse usando el equipo designado para producirlos de manera precisa y adecuada. Los fabricantes de moldes tienen a su disposición una variedad de métodos y equipos para ello.

El equipo estándar se compone de fresadoras, tornos y equipo de taladrado. Si un fabricante de moldes no tiene ninguno de estos equipos este trabajo se puede subcontratar a una compañía. El mecanizado de los taladros de refrigeración es un ejemplo de esto. Este proceso requiere un taladro horizontal preciso, y existen tiendas especializadas que ofrecen este servicio para aquellos que no quieren realizar una inversión desorbitada en el equipo de taladrado porque sólo se va a utilizar una vez.

En la mayoría de casos la cavidad y el núcleo se fabrican usando un modelo, ya sea real o virtual. El modelo real se fabrica en madera, plástico, epoxy, o cualquier otro material fácilmente mecanizable con la forma exacta y contornos del diseño del producto deseado, algunas veces con el factor de encogimiento. En otros casos, el factor de encogimiento se determina separadamente en la fase de mecanizado y el modelo se crea con las dimensiones exactas de la pieza que se desea. El modelo virtual se crea en cualquier programa de CAD en tres dimensiones. Los detalles del dibujo se traspasan como archivo al centro de mecanizado que convierte los archivos en patrones de corte para el equipamiento de mecanizado. En este caso, el factor de encogimiento lo calcula el centro de mecanizado. Cuando se usa cualquier tipo de modelo no conviene incluir el factor de encogimiento en el modelo original. Esto se debe a que puede cambiar el material seleccionado (o se puede agregar otro) con el consiguiente cambio de factor de encogimiento. Si el factor de encogimiento se deduce durante la fase de mecanizado en vez de en la fase de diseño, se puede usar el mismo modelo para cualquier material plástico.

Al diseñador del molde le deben de ser familiares los métodos de mecanizado que se usan para fabricar los componentes. La alimentación y velocidad de estos equipamientos se detalla en muchos libros de referencia de mecanizado. El diseñador del molde debe señalar estas fuentes de información para un análisis detallado de cómo mecanizar los componentes.

Otros métodos de mecanizado

En esta sección se analizan métodos de fabricación tales como el colado, fresado, electro-erosión, mecanizado electroquímico, el uso de disolventes, el



electro conformado (deposición electrolítica), el formado de capas de níquel, y los aparatos de estereolitografía.

Colada (Cerámica)

El equipamiento de colada se reserva normalmente para el diseño de productos de formas complejas y configuraciones contorneadas, así como para superficies decorativas (relieves p.ej) y difíciles de obtener usando los métodos de fabricación convencionales. Los moldes para reproducir formas anatómicas o detalles florales duplican su precisión utilizando moldes de colada.

El proceso de colada de la cerámica requiere un modelo natural, normalmente de un material fácilmente mecanizable como puede ser el plástico, la cera, madera blanda, o metales de bajo punto de fusión. Este modelo debe de incorporar el pertinente factor de encogimiento para el plástico que se va fabricar. Se toma un patrón inverso de esta forma usando silicona, goma u otro material similar y se coloca en una caja de molde en la que se vierte el líquido cerámico. El componente cerámico esta basado en arena de circonium mezclada con un líquido termo sellador que hace que se cure y endurezca. Después del proceso de post-curado metiéndolo en un horno, el modelo está listo para ser usado en un proceso de colada con material plástico.

Avellanado

El avellanado es un método de creación de moldes o conjuntos cavidad de metal con eliminación de material. Una fresa pulida y endurecida es poco a poco introducida en un bloque de acero sin templar con un avance de entre 0,79 a 9,5 mm/min. El patrón se convierte después en una imagen negativa de la fresa. Si precalentamos el bloque se incrementará la profundidad del fresado. Normalmente la profundidad del avellanado esta limitado al tamaño del diámetro de la fresa pero cambia a 1:1,5 si la fresa no es cilíndrica.

A lo que la fresa va penetrando en el bloque, aparece una tensión endurecedora en el bloque y funde el bloque. La superficie de la fresa y del bloque debe mantenerse limpia en todo momento o el avellanado se interferirá por la creación de una capa de suciedad. A pesar de ello, se debe utilizar un lubricante para permitir un flujo constante del material del bloque durante el avellanado. El aceite no proporciona la resistencia a presión suficiente y el disulfuro de molibdeno es más efectivo. Para reducir la fricción, la fresa se suele pulir y se le añade una capa de cobre de vez en cuando.

El avellanado se suele reservar para pequeñas cavidades con poca altura y puede ser más rentable que el colado. Además, una sola fresa puede usarse para hacer diferentes series de cavidades en muy poco tiempo.

Electro erosión

El proceso de electro erosión surge en la industria automovilística. Se creó una máquina para que hiciera saltar una chispa para que erosionase su entorno en los bloques motores. Esto ayudó a reducir en tiempo las líneas de montaje y la máquina se conoció como sparker. El proceso se fue refinando hasta que la industria de los moldes empezó a usarlo para eliminar resaltos de metal durante la construcción de los moldes. El proceso se muestra en la figura 76.

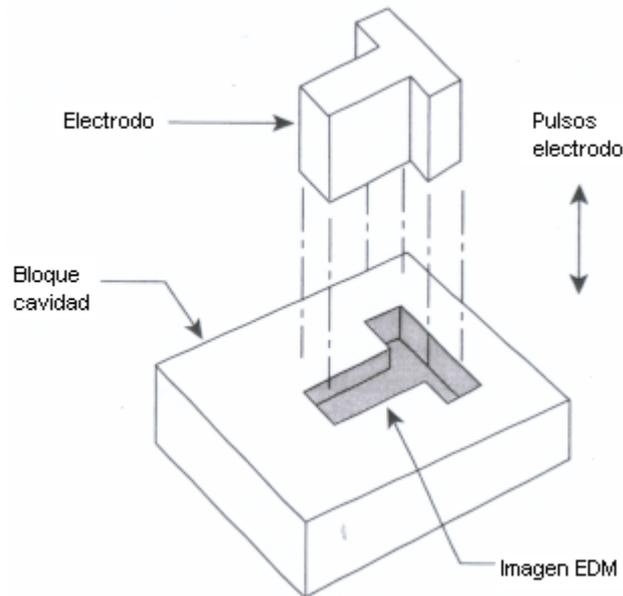


Figura 76 – *Mecanizado por electro erosión*

Un material conductor (normalmente carbono o grafito) se usa para fabricar el electrodo. A este se le da la forma para duplicar el producto que se va a moldear y debe de incluir el factor de encogimiento que le corresponde. Cuando el electrodo se acerca al metal de la cavidad del molde, se produce la chispa entre los dos objetos al estar conectados a una fuente de alimentación. Esta alimentación se aplica en una acción de pulsos que crea la chispa a una frecuencia de 40000 Hz. Esto hace que se elimine una cantidad de material de 19 a 64 mm³ por minuto. Cuanto más lento se elimine el material, mejor será el acabado. De hecho, se puede usar la electro-erosión para crear un acabado de tipo lente. El coste medio de este método es del 75 % de fabricarlo por otro método convencional.

La electro erosión por hilo es un método de eliminación de metal utilizando el proceso de electro-erosión pero con un hilo continuo que actúa como electrodo. Este hilo se alimenta a través de un agujero en el acero a fabricar. A lo que el hilo pasa a través del agujero, este se proyecta en la dirección necesaria para hacer la forma o el contorno deseado. En algunos casos, el agujero guía puede hacerse usando equipo de electro erosión.



Mecanizado electro-químico

Este proceso se basa en usar el principio de la acción de la disolución electrolítica de un material conductor. La disolución se produce por un intercambio de descargas eléctricas entre el ánodo (la pieza de trabajo) y el cátodo del utillaje. Raramente se utiliza para crear cavidades por su alto coste económico y la falta de precisión en zonas de pequeña tolerancia.

Mecanizado químico

El proceso de mecanizado químico se ha vuelto popular en aplicaciones para superficies con texturas y cavidades de moldes. Estas superficies producen un acabado en la pieza que va desde una apariencia lisa hasta resultados más toscos. Existen literalmente cientos de grados entre ellos dos.

Estas texturas se necesitan por variedad de razones, incluyendo el cambio de apariencia de piezas que, de otra manera, no darían sensación al tocar, el eliminado de imperfecciones tales como marcas de soldado o marcas debido a un procesamiento difícil.

El éxito del proceso se basa en el hecho de que los metales se disuelven en ácidos, bases y soluciones salinas. Los átomos de los metales se fuerzan a emitir electrones y son descargados. Estos iones libres se usan para acortar los procesos con cationes y aniones que se presentan en el agente disolvente. El material eliminado se combina con los aniones para formar una sal de metal insoluble que se quita después del disolvente por filtrado.

Las formulas exactas de los agentes disolventes son guardadas en secreto y casi todos los aceros y metales no ferrosos pueden ser disueltos químicamente. Los dos métodos principales de disolución son capaces de eliminar metal a una velocidad de 0,01 a 0,089 mm por minuto, proceso que se incrementan con el calor.

Es importante ver que las superficies con textura actúan como socavones. Si la textura se presenta en un flanco, se debe dejar una tolerancia de giro de 1° extra por cada lado por cada 0,03 mm de profundidad de textura. Esto nos asegurará que la pieza pueda ser expulsada del molde sin dificultad.

Electro conformado

Los conjuntos cavidad pueden crearse mediante la electro deposición de una placa de metal (normalmente níquel) en la superficie de un modelo que sea conductivo. La anchura de la capa puede variar entre 3,2 y 6,4 mm, pero el proceso es lento y puede durar hasta 4 semanas completar la deposición.

Después de crear la capa, se elimina del molde (que puede ser reutilizado) y se coloca en un forro grueso. La forma y tamaño del material del forro depende de cómo se vaya a usar el molde. Para moldeo por inyección, el forro es una



inserción de acero colocada directamente sobre la base del molde. También se puede usar aluminio si las fuerzas de compresión no son muy altas.

El electro conformado es muy costoso en tiempo pero no es caro (la mayoría del tiempo se pasa esperando a que se complete). Se pueden incorporar taladros de refrigeración al forro si la producción va a ser de más de unos pocos ciclos. La mayor ventaja del electro conformado es que puede usarse económicamente para producir piezas con líneas de partición complicadas y características de superficie inusuales. Conseguir esto por otros métodos resulta prohibitivo debido al alto coste económico.

Conformado por deposición con vapor de níquel

Este es otro método de crear capas de níquel para moldes. A pesar de tener más de 100 años, las actuales demandas de moldes económicos para el moldeo por inyección lo han vuelto a poner de moda. El conformado químico de metal es un proceso de deposición en el cual el níquel forma una placa al dejar los vapores de un gas de níquel carbonado entrar en contacto con el objeto a cubrir que está caliente y recibe una capa uniforme de níquel de los vapores descompuestos. En poco tiempo (0,25 mm por hora) se forma una capa que reproduce adecuadamente el acabado y la forma del objeto.

Aparatos de estereolitografía

Los aparatos de estereolitografía utilizan el calor de una radiación ultravioleta para curar la superficie de una piscina de polímetro líquido sensible a la radiación ultravioleta. Es similar al proceso de imprimir en un papel con una impresora láser. La porción curada del plástico líquido tiene sólo 0,13 mm de espesor. Esta capa se sumerge después formándose otra capa encima de la misma. El proceso continua hasta que se hace la pieza. Una vez obtenida la pieza se puede usar como modelo o ser utilizada para colado o mecanizado de un conjunto cavidad. El conjunto cavidad se coloca después en un molde estándar para el proceso de moldeo por inyección.

Este proceso se utiliza también con una resina epoxy especial que se usa como líquido en la piscina de plástico. Se forma una capa y después se cura con un material muy duro. Puede hacerse con aluminio para moldes de vida corta, o con níquel para obtener una dureza alta y así moldes de larga duración (más de 1000 piezas). La mayoría de materiales plásticos pueden usarse con la resina epoxy y se puede usar el diseño de ataques y sistema de distribución típicos. Además, el tiempo de ciclo, las presiones, y los puntos de fusión pueden acercarse mucho a los parámetros de moldeo por inyección estándar. Este sistema permite construir los moldes en aproximadamente tres días desde que se acaba el diseño usando sistemas CAD.



III.10.2- Acabados

Pulido y acabado

Normalmente, después de haber creado un conjunto cavidad a través de uno de los métodos ya mencionados se debe de preparar un acabado de superficie aceptable para moldear la pieza. El plástico fundido que se usa en el proceso de moldeo por inyección reproduce fielmente el acabado de la cavidad. Existen muchos métodos para medir la rugosidad o el acabado de una cavidad y se han establecido estándares comparativos para definir esta rugosidad. Sirva como ejemplo el estándar de comparación de acabados SPI/SPE.

Cuando se especifican acabados específicos en los planos de diseño del molde, normalmente se usan diferentes acabados para el núcleo y la cavidad. La cavidad es la superficie que moldea la superficie exterior de la pieza. Esto requerirá normalmente de un acabado de serie B o más alto, mientras que el núcleo puede utilizar un acabado de serie C porque no es visible. Como el coste del acabado de una superficie es notable, sólo usamos ese nivel de acabado que nos sirve para la función que lo queremos.

El pulido y el acabado son considerados un arte en la industria del moldeo. Deben de realizarse de tal manera que quede un dibujo que permita a la pieza moldeada ser expulsada del molde sin ralladuras o imperfecciones causadas por las operaciones de mecanizado o pulido. Además el acabado debe de realizarse por fases, yendo de la más tosca a la más fina. Esto requiere un profundo conocimiento de lo que se quiere, así como del material que se emplee para hacer el núcleo y las cavidades. Se han hecho muchos intentos de automatizar el proceso de pulido pero la implicación humana no se ha logrado eliminar. Se requiere gran experiencia, paciencia y un alto nivel de coordinación para realizar las operaciones de pulido.

La limpieza es un aspecto crítico en las operaciones de pulido y acabado de una superficie. Un mezclado accidental de abrasivos puede dar al traste con un acabado carísimo de un molde. El equipamiento, herramientas y fuentes usadas en los diversos pasos de pulido deben de ser limpiados concienzudamente antes y después de comenzar y acabar cada paso. Lijas, muelas, y cepillos deben de ser guardados por separado y corresponder a un grado de abrasión específico.

Texturas

Se pueden necesitar texturas en superficies de una pieza por multitud de razones. Normalmente estas están ligadas al aspecto visual. Por ejemplo, una herramienta podría requerir de una superficie que proporcione agarre para que no se deslice de la mano del operario. Pero también existen otras razones, como ocurre en el caso de las puertas de los frigoríficos donde las huellas de los dedos y la suciedad se ocultan a través del uso de una textura determinada. También es muy común usar la textura para ocultar imperfecciones del molde, como las marcas de sumersión y las líneas de soldado.



La textura de la superficie de la cavidad se puede realizar de varias maneras, incluyendo mecanizado, electro-erosión, disolución química y foto-disolución. Este último es el proceso más utilizado. Se pueden conseguir cientos de texturas y la empresa de texturas nos puede dar muestras de piezas con acabados desde muy rugosos hasta el más liso. Hay que tener en cuenta que el acabado particular dependerá del tipo de plástico, color o brillo. Aunque no siempre resulta práctico, es aconsejable obtener una muestra de cada tipo concreto de plástico para la pieza.

Se use el método que se use para aplicar la textura final al molde, cuanto más rugosa sea la textura, más profunda será. Por cada 0,03 mm de profundidad de textura, se debe de dar 1º más a los muros laterales de la cavidad para asegurar que se pueda expulsar la pieza sin problemas. La mayoría de texturas tienen una profundidad de 0,013 a 0,05 mm.

Recubrimiento

En la industria se utilizan básicamente dos tipos de recubrimientos: el de níquel y el de cromo. El níquel se utiliza para cuando se necesita resistencia a desgaste o un ligero forjado en la superficie del molde. El cromo se utiliza principalmente como superficie fina y dura contra el desgaste, o para dotar de mejor apertura del molde al acero de la cavidad. Existen ventajas y desventajas con estos dos materiales pero el níquel resulta más eficiente y económico que el cromo. El níquel tiende a imitar la superficie del molde con exactitud, mientras que el cromo tiende a acumularse en las esquinas afiladas. Además, aunque los dos materiales resulten duros, el cromo es más duro, aunque tiene como inconveniente que también lo hace a la vez más quebradizo, y tiende a resquebrajarse con más facilidad. El cromo tiende a provocar la quebrantabilidad del hidrogeno, causando roturas, hecho que no ocurre con el níquel. El cromo no se puede aplicar afectivamente a un espesor mayor de 0,005 mm, mientras que el níquel puede aplicarse hasta los 0,03 mm. Si se desea recubrir, con el níquel se puede eliminar y aplicar otra capa mucho menos cara y más fácil que si lo hiciésemos con el cromo.

Sin tener en cuenta que material se use lo que está claro es que el recubrimiento es un arte que debe de ser dejado en manos de gente con experiencia. Cada empresa de recubrimiento tiene su especialidad.

Acabado de la superficie y requerimientos especiales del producto

Para la mayor parte de las aplicaciones la apariencia de superficie de la pieza moldeada es importante ya sea desde un punto de vista estético o porque se necesiten acabados adicionales como el sello de la compañía o cualquier detalle decorativo. La condición y apariencia de la superficie moldeada depende directamente de de la superficie de la cavidad del molde y de los parámetros de inyección del proceso. Aunque los parámetros del proceso no pueden ser



controlados por el diseñador del molde es necesario para este definir los requerimientos de apariencia del producto para que el molde pueda ser fabricado con las condiciones de superficie óptimas.

Cada tipo de proceso de mecanizado da una rugosidad de superficie, la cual debe de ser analizada para el acabado adecuado de la superficie. Por ejemplo, si usamos electro-erosión obtenemos una rugosidad estándar de entre 250 y 2500 μm . Cuanto más alto sea este valor más rugosa será la superficie. Un acabado espejo requiere de menos de 25 μm . Un valor medio para la mayoría de piezas es entre 500 y 1000 μm .

A grandes rasgos, cuanto más liso es el acabado de la cavidad, más fácil es expulsar la pieza. Esto puede conseguirse minimizando las montañas y valles que se crean durante los métodos de mecanizado estándares. Estos se muestran en la figura 77. La línea gorda nos muestra el grado de rugosidad de la superficie de la cavidad. En la mitad superior podemos ver un acabado típico después del proceso de electro-erosión. Después del proceso adecuado de pulido, la rugosidad se reduce a lo que se ve en la mitad inferior del dibujo.

La Sociedad de la Industria Plástica (SIP) ha creado un conjunto de estándares asociados con el acabado de superficies de cavidades. Este rango va desde A-1 para el acabado más liso posible hasta D-3 para el acabado más basto y grueso. Existen tres niveles (1, 2 y 3) y en cada uno de ellos cuatro grados de acabado (A, B, C y D). La SIP ha hecho posible un kit de muestras de estos tres acabados en ejemplos de metal. El A-1 equivale a un acabado de 0 a 25 μm , el D-3 equivale a 4500 μm y entre ellos se intercalan los demás grados y niveles.

Es posible crear una superficie demasiado lisa. Dependiendo del plástico que se moldea un acabado ultra-liso podría crear una aspiración entre la superficie metálica y el material plástico, especialmente cuando el plástico se arruga en un núcleo. En ese caso se le puede dar a la superficie metálica rugosidad para que se minimice el efecto de aspiración. De otra manera, si el diseño del producto lo permite, se puede instalar una válvula especial para que inyecte aire hasta el núcleo. Esto eliminaría la aspiración y permite a la pieza plástica ser expulsada.

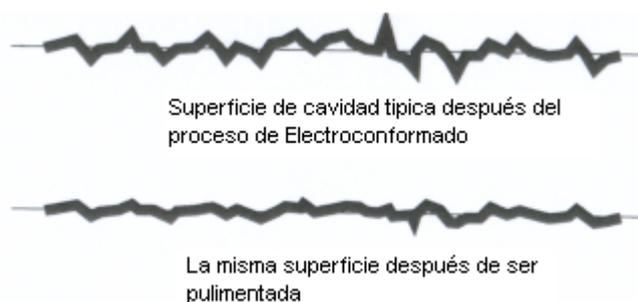


Figura 77 – Diferencia de rugosidad al darle a la superficie un acabado

Si la pieza moldeada recibe un acabado después de ser moldeada, la superficie requerirá normalmente de preparación. En el caso de los poliofinos, por



ejemplo, la superficie se oxida para que pueda aceptar cualquier tipo de pintura, estampado en caliente, cualquier otro acabado decorativo. Es necesario eliminar la necesidad de agentes para la apertura del molde durante el proceso de moldeo por inyección cuando sea posible porque estos interfieren en el proceso de adhesión. Es por ello que esta es otra razón para utilizar niveles de pulido altos en la superficie del molde. Ayudará en la expulsión y minimizará la necesidad de agentes para la apertura. Cualquier pieza que vaya a ser decorada después de moldeada debe de estar indicada en los planos. Así se advertirá al fabricante del molde sobre que superficies requieren especial atención.

III.10.3- Materiales

Existen docenas de materiales que pueden ser usados para fabricar moldes para producir piezas plásticas, entre los que hay de aluminio, bronce, cobre, epoxy y muchos otros, así como combinaciones de estos. La sección siguiente describe algunos de los materiales más comunes con la denominación en el sistema AISI y el papel que juegan en la fabricación de moldes.

Aceros

Al carbono

1020: Usado para placas de expulsión y placas que retienen al expulsor y es fácilmente mecanizable y soldable. No se suele endurecer debido a la distorsión y el pandeo y si se quiere endurecer se debe primero carburizar.

1030: Usado para las bases del molde, alojamiento del expulsor, y placas abrazaderas, este acero tiene un 25 % más de fuerza de tensión que el 1020 y es fácilmente mecanizado y soldado. Puede ser endurecido a la dureza C de la escala Rockwell (20-30).

1040: Normalmente usado para los pilares de soporte éste duro acero tiene una buena resistencia a compresión y puede ser también endurecido.

Aleados

4130: Es un acero de gran fuerza usado principalmente para la cavidad y las placas de retención del núcleo, placas de soporte, placas de abrazadera y se suministra con durezas del 26 al 35 escala Rockwell (Rc).

6145: El principal uso para este tipo de acero es para el bebedero y se suministra con durezas 42-48 (Rc).

De herramienta

S-7: Resistente a los golpes con buena resistencia al desgaste, este acero se usa para el cierre con durezas del 55 al 58 (Rc).



O-1: Usado para pequeñas aberturas y núcleos y endurecido a 56-62 (Rc).

A-2: Este acero tiene una buena estabilidad dimensional y resistencia a abrasión y se usa para los laterales con durezas del 55 al 58 (Rc).

A-6: Su principal uso es para cavidades y núcleos de calidad óptica con dureza 56-60 (Rc).

D-2: Este acero tiene un alto contenido en carbono y cromo y es difícil de desbastar, además de tener una excelente resistencia a abrasión. Se usa para la entrada de ataques con dureza 58-60 (Rc).

H-13: Altamente tosco, acero de baja dureza usado para cavidades y núcleos de alta calidad. Principalmente se usa para los pernos de expulsión, pernos de retorno y expulsores del bebedero.

P-20: Un 4130 modificado que aporta alta dureza moderadamente, buena mecanización y un pulido excepcional. Para núcleos y cavidades. Durezas de 28-40 (Rc).

Inoxidable

420: Para cuando se necesita una resistencia química especial (como con resinas de PVC) se suministra en condiciones no aleadas (15-25 Rc) pero puede ser endurecido a 55-60 Rc. Principalmente para núcleos y cavidades.

Aluminio

Aunque existen muchas calidades de aluminio para fabricar moldes el más común y que más eficiencia posee para trabajar con él es la calidad aircraft 7075 (T6). El molde entero puede ser fabricado usando el mismo material y mediante un proceso de anodizado se le puede dar a la superficie una dureza de 65 Rc para resistencia a desgaste. No obstante, debido a la tendencia a pulir la superficie del aluminio se puede moldear sin tratamiento de superficie. Se puede reducir el tiempo de construcción del molde en un 50 % debido a mecanizados más rápidos y el ciclo de inyección se puede reducir en hasta un 40 % debido a una disipación del calor más rápida, todo ello dependiendo del tamaño y la complejidad del producto a moldear.

Hasta hace poco el aluminio era considerado como un material para fabricar moldes para producir poco volumen o prototipos pero el uso de la aleación 7075 ha dado la oportunidad de usarlo para fabricar en altos volúmenes.

Aleaciones cobre-berilio

Los altos niveles de resistencia y de conductividad térmica hacen de esta aleación una excelente elección para hacer núcleos y cavidades para moldes de inyección. Se suelen usar como componentes que son ajustados a las bases de



molde de acero pero también se pueden usar conjuntamente con bases de molde de aluminio para que salga más económico. Son particularmente útiles para las ocasiones en que los canales de refrigeración en el molde tienen dificultades para eliminar el calor, como en dibujos profundos o piezas con contornos inusuales. Si se colocan estratégicamente pueden servir para disipar el calor de áreas a las que es difícil que lleguen los canales de agua. Tienen rangos de un bajo de Rb 40 para un CuBe 10 hasta un máximo de 46 Rc para CuBe 275

Otros materiales

En este apartado se incluyen epoxys, aleaciones aluminio-epoxy, gomas de silicona e incluso madera. Pese a todo se suelen reservar para volúmenes pequeños, como por debajo de 1000 piezas. En la mayoría de casos representan volúmenes prototipo y no se espera que los moldes produzcan altos volúmenes.

III.10.4- Fabricación de nuestro molde

La fabricación de las piezas de nuestro molde se realizará por dos métodos. Excepto la cavidad del núcleo, el resto de piezas se fabricarán en el centro de mecanizado con el torno y la fresadora. Los únicos elementos que se fabricarán con un método diferente serán las cavidades, que debido a que son elementos que desempeñan un papel fundamental en la producción de la pieza, serán fabricados por electro-erosión. Este método nos proporciona unos resultados de gran acabado superficial además de un ahorro económico respecto a otros métodos. El único inconveniente es que el tiempo de mecanizado es mayor comparándolo con otros métodos, pero lo podemos asumir.

En lo que se refiere al acabado de la pieza, esta no recibirá ningún tratamiento ya que al tratarse de una pieza que no va a ser visible, ni por tanto tangible, basta con el acabado que le proporcione la cavidad mecanizada por electro-erosión. Así, la pieza tendrá una rugosidad bastante baja, entre 250 y 2500 μm suficiente para asegurar que en la expulsión no tendrá ninguna dificultad para ser expulsada.

Los materiales que se van a utilizar para las diferentes partes son los siguientes:

- Bebedero: Acero aleado 6145
- Placas A y B: Acero al carbono 1030
- Pernos expulsores: Acero de herramienta H-13
- Placa retenedora: Acero al carbono 1020
- Placa de expulsión: Acero al carbono 1020



- Alojamiento del expulsor: Acero al carbono 1030
- Núcleos: Acero de herramienta P-20
- Pernos guía: Acero al carbono 1040



III.11- Equipo de inyección

Un equipo de inyección de plásticos se compone básicamente de dos unidades: la de inyección y la de cierre. Veamos en que consiste de cada una de ellas.

III.11.1- Unidad de inyección

La función principal de la unidad de inyección es la de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se utilizan husillos de diferentes características según el polímero que se desea fundir. El estudio del proceso de fusión de un polímero en la unidad de inyección debe considerar tres condiciones termodinámicas: la temperatura de procesamiento del polímero, la capacidad calorífica de éste y el calor latente de fusión en caso de que el polímero sea semicristalino.

El proceso de fusión involucra un incremento en el calor del polímero, que resulta del aumento de temperatura y de la fricción entre el barril y el husillo. La fricción y esfuerzos cortantes son básicos para una fusión eficiente, dado que los polímeros no son buenos conductores de calor. Un incremento en temperatura disminuye la viscosidad del polímero fundido; lo mismo sucede al incrementar la velocidad de corte. Por ello ambos parámetros deben ser ajustados durante el proceso. Existen, además, metales estándares para cada polímero con el fin de evitar la corrosión o degradación. Con algunas excepciones (como el PVC), la mayoría de los plásticos pueden utilizarse en las mismas máquinas.

La unidad de inyección, que se puede ver en la figura 78, es en origen una máquina de extrusión con un solo husillo, teniendo el barril calentadores y sensores para mantener una temperatura programada constante. La profundidad entre el canal y el husillo disminuye de forma gradual (o drástica, en aplicaciones especiales) desde la zona de alimentación hasta la zona de dosificación. De esta manera, la presión en el barril aumenta gradualmente. El esfuerzo mecánico, de corte y la compresión añaden calor al sistema y funden el polímero más eficientemente que si hubiera únicamente calor, siendo ésta la razón fundamental por la cual se utiliza un husillo y no una autoclave para obtener el fundido.

Una diferencia sustancial con respecto al proceso de extrusión es la existencia de una parte extra llamada cámara de reserva. Es allí donde se acumula el polímero fundido para ser inyectado. Esta cámara actúa como la de un pistón; toda la unidad se comporta como el émbolo que empuja el material. Debido a esto, una parte del husillo termina por subutilizarse, por lo que se recomiendan cañones largos para procesos de mezclado eficiente.

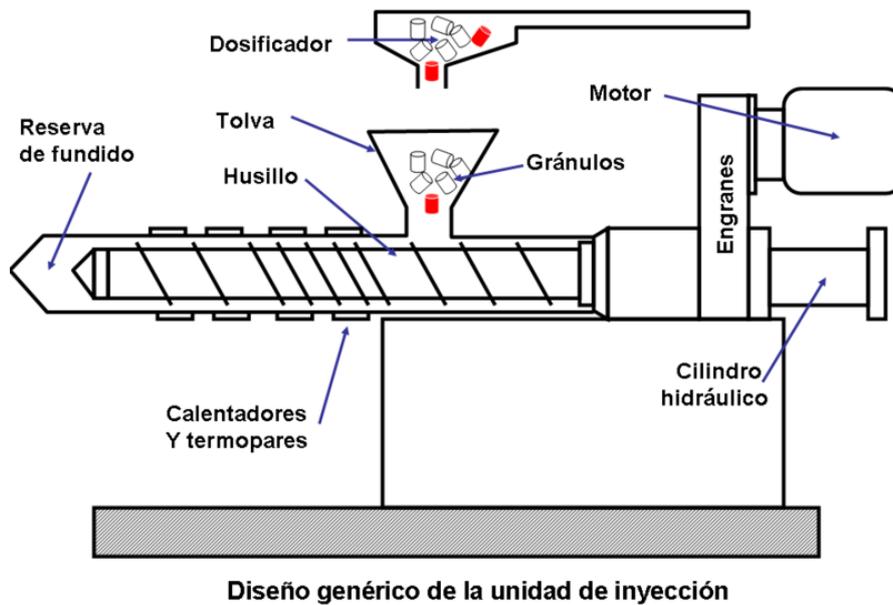


Figura 78 - Componentes de la unidad de inyección

III.11.2- Unidad de cierre

Es una prensa hidráulica o mecánica, con una fuerza de cierre bastante grande que contrarresta la fuerza ejercida por el polímero fundido al ser inyectado en el molde. Las fuerzas localizadas pueden generar presiones del orden de cientos de MPa, que sólo se encuentran en el planeta de forma natural únicamente en los puntos más profundos del océano.

Si la fuerza de cierre es insuficiente, el material escapará por la unión del molde, causando así que el molde tienda a abrirse. Es común utilizar el área proyectada de una pieza (área que representa perpendicularmente a la unidad de cierre el total de la cavidad) para determinar la fuerza de cierre requerida, excluyendo posibles huecos o agujeros de la pieza.

$$F = P \times A$$

Donde:

F = Fuerza (N)

P = Presión media (Pa)

A = Área proyectada (m²)

III.11.3- Equipo de inyección seleccionado

Según los cálculos gracias a los datos de Moldflow que nos dice que la presión máxima en la inyección es de 7,02 MPa y tomando un área proyectada de cavidad de 20 mm x 20 mm tenemos una fuerza necesaria de:

$$0,02 \text{ m} \times 0,02 \text{ m} \times 7,02 \text{ MPa} = 2,8 \text{ kN}$$

Si lo multiplicamos por las 8 cavidades de las que disponemos:

$$2,8 \text{ kN} \times 8 = \mathbf{21 \text{ kN}}$$

Para esa fuerza de inyección, el equipo que se ha seleccionado para fabricar nuestra pieza es uno de la casa Negri Bossi, más concretamente la máquina hidráulica CanBio V90, del estilo del equipo de la figura 79 y cuyas características se pueden observar en el catalogo en los anexos. Sus características según la clasificación Euromap son las siguientes:

- Diámetro del husillo: 32 mm
- Relación longitud/diámetro husillo: 20
- Volumen calculado de inyección: 120 cm³
- Capacidad efectiva de inyección: 109 g
- Volumen de material inyectado: 87 cm³/s
- Máxima presión sobre el material: 1700 bar
- Par de torsión del husillo: 360 Nm
- Velocidad de rotación del husillo: 360 min⁻¹
- Zonas calefacción cilindro plastificación: 3
- Potencia de calefacción: 6 kW
- Fuerza de apoyo grupo inyección: 23 kN
- Fuerza de bloqueo: 950 kN
- Carrera de apertura del molde 360 mm
- Espesor molde: 150 / 450 mm
- Dimensiones de los platos: 590 x 570 mm
- Distancia entre columnas: 400 x 360 mm
- Fuerza expulsor hidráulico: 35 kN
- Carrera del expulsor hidráulico: 125 mm
- Ciclos por minuto (sin carga): 50
- Potencia motor de la bomba: 11 kW
- Potencia total instalada: 18 kW.
- Peso de la prensa: 3300 kg
- Dimensiones largo/ancho/alto: 4260 x 1370 x 1935 mm



Figura 79 – Equipo de inyección del tipo seleccionado



III.12.- Resolución de defectos del molde

En muchos casos, el diseñador y el fabricante del molde no son los responsables de la resolución de los defectos de las piezas. Pese a ello, resulta útil que sepan las causas principales de los defectos más comunes y sus soluciones.

Demasiado a menudo, cuando los técnicos, ingenieros o operarios se encuentran con una pieza con defectos derivados del moldeo comienzan a cambiar cosas sin saber lo que están haciendo o que resultados esperan obtener. Esto tiene su origen en la práctica de solucionar una pieza defectuosa realizando algo que funcionó en el pasado cuando se quería un arreglo rápido (pero no posible). No tiene porque ser así. La situación debe de ser tal que el que resuelve los problemas pueda analizar objetivamente un defecto de moldeo y finalmente fije una posible solución. Esta debe de probarse, seguida de otra decisión. Si la primera solución no funciona se debe de deducir otra solución y probarla. Sin embargo, cada solución debe de determinarse independiente y racionalmente. No debe de ser un trabajo de intuición, y la ayuda de otras fuentes debe de ser bien recibida.

Una fuente común de asistencia para la resolución de problemas son los proveedores de materiales. Normalmente tienen instrucciones que indican lo que hacer si se encuentran ciertos defectos. Estas guías podrían darnos la solución a un problema específico pero podría ser que no nos indicasen lo que causó el problema o porque funcionó la solución adoptada puesto que no entran en ese tipo de detalles.

III.12.1- Causas raíz

Un estudio analizó las causas raíz de los defectos más comunes en el moldeo por inyección. Debido a que la resolución de problemas resulta efectiva una vez se han moldeado unas cuantas piezas, el estudio solamente investigó los defectos relacionados con el proceso y no incluyó aquellos derivados de un mal diseño del producto. Se determinó que los defectos pueden achacarse a problemas de los siguientes objetos: la máquina de moldeo, el molde, el material plástico, o el operario de la máquina. Lo más interesante es el porcentaje en que contribuye cada uno de ellos. El gráfico 80 resume los resultados.

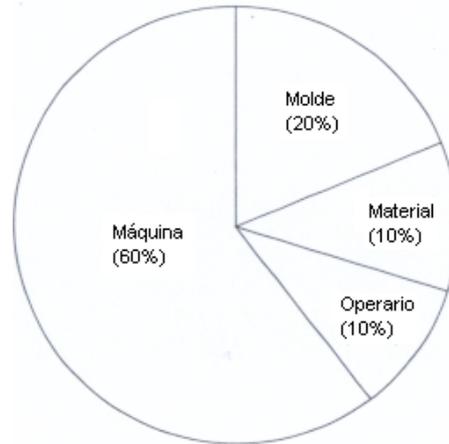


Figura 80 – Distribución de las causas de los defectos del moldeo por inyección

La mayoría de la gente en la industria cree que la causa más frecuente de los defectos es el material y el operario en segundo lugar. Sin embargo, como se ve en el gráfico 11-1, la causa más frecuente de los defectos es la máquina de moldeo. Así, en la resolución de problemas, lo primero que se debe analizar es la máquina, porque encontraremos ahí la respuesta seis de cada diez veces. Si no encontramos la solución, lo siguiente a mirar es el molde.

Una persona que resuelve los problemas debe de ser capaz de acercarse al problema con una mentalidad objetiva. Lo que solucionó un problema en el pasado podría no solventar el mismo problema otro día. Debido al gran número de parámetros, sus variables y la manera en que interactúan, podrían existir múltiples soluciones a un único problema. Asimismo, se podrían arreglar varios problemas con una única solución. Por lo tanto, se debe de pensar a través del problema y asegurarse que la solución se escoge objetivamente, con sentido común y aplicando un análisis simple.

La primera clave es visualizar la manera en que funciona un problema. De hecho la mayoría de las resoluciones de problemas se hacen después de un profundo trabajo. Ha habido un ajuste inicial y un proceso de eliminación de fallos y se ha aceptado el molde para la producción. Después de trabajar exitosamente, se empiezan a moldear piezas con defectos. Entonces es cuando entra en juego la persona que resuelve los problemas así como el sentido común y la objetividad.

III.12.2- Defectos y soluciones comunes

En las siguientes páginas se recogen los 24 defectos más comunes del moldeo. También hay una lista de las causas de cada defecto con las sugerencias de los remedios más populares.



Motas o Vetas

Bebedero con muesca, áspero o que no da abasto

Si el bebedero tiene alguno de estos problemas, podría hacer que el material se degradase. La razón es que el material se queda atrapado (hasta que se sobrecalienta) en un área del molde que retiene mucho calor. La resina degradada se hace quebradiza y rompe, entrando en el flujo fundido y apareciendo como motas o vetas negras.

Inspeccionese la superficie interna del bebedero. Elimínese cualquier muesca o imperfección. Comprobar que el radio de la boquilla es igual o más pequeño que el del bebedero.

Material quemado por mala ventilación

Las zonas con mala ventilación muestran una ceniza blanquecina en el acero del molde o un quemazo en el plástico en esa zona. Esto es debido a la combustión del aire atrapado en el molde y comprimido hasta el punto de ignición.

Es necesario situar vientos distribuidos en 25,4 mm a lo largo del perímetro de la cavidad imagen en la mitad B del molde. Si se puede ventilar más, ventílese. No existe la ventilación excesiva.

Ampollas

Control inadecuado de la temperatura

El molde debe de funcionar con un rango de temperaturas para cada material específico. Una refrigeración inadecuada supone que ciertas zonas se enfríen más rápido que otras. Estas zonas más frías harán que la capa exterior de la pieza se descascarille mientras el resto del plástico todavía solidifique. El aire y los gases formarán bolsas en esas zonas y provocarán ampollas.

Hay que asegurarse que los taladros se ponen lo más cerca posible a la cavidad imagen y que siguen el contorno de esta fielmente. La idea es crear una distribución del calor igual en todo el molde, y especialmente en la zona de la cavidad imagen.

Ventilación insuficiente

Una ventilación adecuada es una parte muy importante en la construcción de un molde. El tamaño correcto, localización, forma y número de vientos necesita considerarse y analizarse en el diseño del molde. Si la ventilación es insuficiente, el aire atrapado no puede escapar del molde y formara bolsas que derivarán en ampollas.



Se deben de hacer vientos cada 25 mm a lo largo del perímetro de la línea de partición. Además, el canal debe también de ventilarse. El aire atrapado en el canal será empujado hacia la cavidad.

Blush

Diámetro del bebedero demasiado pequeño

Si el diámetro del bebedero es demasiado pequeño, hace que el material se solidifique demasiado pronto después de entrar al molde y puede causar ráfagas o manchas, especialmente en las piezas atacadas en el bebedero. Si surge en un ataque de superficie significa que el ataque es demasiado fino.

Hay que asegurarse que el diámetro del bebedero al final de la boquilla sea lo suficientemente grande. Esta información se puede obtener del proveedor del plástico. Los materiales rígidos como el policarbonato necesitan diámetros grandes para facilitar el flujo. Además, hay que comprobar la profundidad del ataque. El proveedor del material proporciona el rango de profundidad que se necesita para el material en concreto. También hay que asegurarse de que los ataques rectangulares tengan un radio suficiente en las esquinas afiladas.

Deformación excesiva

Localización inadecuada del ataque

A menudo, la causa del pandeo en una pieza es que el ataque ha sido situado en una sección estrecha que alimenta una sección gruesa. Esto conlleva una distribución de moléculas inadecuada debido a la tendencia del material a enfriarse y solidificar a lo que intenta atravesar la sección fina primero. Cuando encoge, las moléculas de la sección más ancha se contraen más que las de la sección fina y hace que la pieza se gire y pandee.

Los ataques se deben de situar con dos ideas claras: atacar las secciones más anchas y centralizar el flujo de material. Atacando en la sección más ancha permitimos al material rellenar completamente el molde antes de que se enfríe y contraiga. El flujo centralizado permite una distribución igual del material por toda la cavidad imagen. Cuanto más fielmente se sigan estas reglas de oro, menos pandeo presentarán las piezas.

Temperatura de molde inconsistente o desigual

Una pieza debe de dejarse enfriar en el molde teniendo temperaturas consistentes. Si existen puntos calientes en el molde, serán los últimos en enfriarse y la consecuente diferencia de contracción entre esos puntos calientes y otras zonas causará distorsión en la pieza (pandeo).

Hay que diseñar y construir el molde de manera que las mitades A y B tengan la misma capacidad de enfriamiento. Esto minimizará la tendencia de la



pieza de plástico a quedarse en la mitad que esté más caliente. Además, hay que diseñar los canales de enfriamiento para asegurar que no existirá ninguna diferencia de más de 10 °C entre dos puntos cualesquiera del molde.

Fragilidad

Restricciones en Canales y/o ataques

Los ataques y canales que sean demasiado pequeños o tengan esquinas demasiado puntiagudas, podrían provocar una rotura y rasgado del plástico a lo que este fluye a través de ellas. Esto provocará una separación de capas en el flujo laminar del plástico. Las capas separadas enfriarán rápidamente y no podrán juntarse. Como consecuencia tendremos un empaquetamiento molecular débil que se muestra como fracturas en la pieza.

Hay que examinar los ataques y canales para asegurarse de que se construyen según las recomendaciones del proveedor de materiales. Cada familia de plástico tiene unos requerimientos especiales en lo que respecta al diseño de ataques y canales y deben de seguirse lo más fielmente posible.

Porosidad

Anchura de sección demasiado grande

Cuando una pieza de plástico esta formada por varias anchuras de muro, los muros más anchos solidificarán los últimos. Existirá una pérdida de presión en esas zonas anchas al seguir enfriando una vez las finas ya han solidificado. El plástico avanzará hacia la sección sólida y provocará burbujas. Cuando estas estén en la superficie de la pieza, aparecerán como marca de sumergido. Cuando es bajo la superficie, aparece como burbuja.

La mejor solución (también la más cara) es usar núcleos de metal para afinar la sección más ancha. Sino, si se puede, hay que cambiar la anchura de muro para que la sección más ancha no sea más del 25 % más ancha que la estrecha. Así se minimizará el llenado incompleto.

Marcas de quemado

Ventilación indebida

Los sistemas de ventilación se colocan en los moldes para expulsar cualquier gas o aire atrapado que pueda darse. Si los vientos no son lo suficientemente profundos, o lo suficientemente anchos, o si no hay suficientes vientos, el aire se comprime antes de ser expulsado y se produce una ignición y se quema el material de su entorno.

Los vientos deben de ser de un mínimo de 3 mm de ancho. El pie del viento no debe de sobrepasar los 3 mm de largo. Zonas ciegas, como fondos de



agujeros, deben de tener vientos mecanizados en la parte de los pernos expulsores. Debe de haber suficientes vientos en la línea de partición para igualar el 30 % de la distancia del perímetro de la línea de partición. Así, una línea de partición de 25 mm de perímetro tendría 12 vientos, cada uno de los cuales mediría 3 mm de ancho. Otra regla general dice que se deben de colocar vientos en intervalos de 25 mm alrededor del perímetro de la línea de partición.

Puntos claros

Molde roto

Una fuente posible de puntos claros en una pieza es un molde o conjunto cavidad roto. Si la rotura proviene de una tubería, la humedad puede filtrarse en la cavidad y quedarse atrapada, apareciendo como puntos claros en el moldeo. La filtración podría no ser visible con el molde abierto y podría sólo ocurrir cuando el molde se cierra bajo presión de cerrado.

Se pueden reparar las bases de molde rotas, pero debería determinarse la causa. Es posible que una tubería estuviese demasiado cerca del conjunto cavidad, debilitando así el acero que les separa. Alternativamente, un conjunto cavidad podría haber sido debilitado durante el proceso de endurecimiento del acero. Por supuesto, existen multitud de posibles causas. Podría ser necesario reponer el molde entero. Si una tubería se ha partido abiertamente es posible insertar un tubo de cobre a través de la tubería y usarlo como canal de refrigeración, sabiendo que sólo es útil temporalmente. Si se usa soldadura para reparar los conjuntos cavidad o moldes base rotos, esta tarea sólo se realizará por un soldador de alta reputación especializado en este tipo de soldaduras.

Apariencia desigual

Empaquetamiento desigual de la cavidad

Se puede atribuir el empaquetamiento desigual a un atacado, dimensionado del canal, o localización de estos incorrecto. El material entra a la cavidad por un punto incorrecto que no permite que el material sea empaquetado contra el acero del molde en todas las zonas. El material solidifica sin asimilarse al acabado del molde, y aparece como una zona difusa. Existe la posibilidad de que una zona de la cara del molde no haya sido pulida como las demás. Esto daría una apariencia difusa a esa zona.

Hay que asegurarse que el molde está perfectamente pulido. Si es así, se deberá investigar el tamaño, número y localización de ataque adecuado para el diseño de un producto y el material del proveedor.

Contaminación

Excesiva lubricación



Los moldes que tienen acciones como correderas, cámaras y elevadores necesitan una lubricación periódica para asegurar una producción continua. Sin embargo, en algunos casos, el moldeador encuentra difícil llegar a los puntos de lubricación y cuando los lubrica los sobrecarga. La lubricación excesiva podría llegar a la cavidad imagen y contaminar la pieza moldeada.

Hay que diseñar y construir acciones con puntos de lubricación y ajustes que sean de fácil acceso al moldeador. Esto animará al moldeador a lubricarlos sólo cuando se necesite y reducirá la cantidad de lubricante usado.

Agrietamientos

Pulido insuficiente

Los ángulos de expulsión deben de ser de por lo menos 1° por lado para facilitar la expulsión de la pieza del molde. La presión de expulsión podría causar piezas rotas si se usa más de la recomendada. Además, cavidades con superficies ásperas (y otros rasgados) causan efecto en las piezas a lo que eyecta. Esto podría derivar en roturas si se incrementa la presión de expulsión para empujar la pieza sobre esta superficie áspera.

Todos los muros laterales deben de ser ajustados para tener un ángulo de expulsión lo más alto posible, pero 1° es el mínimo. Comprobar y eliminar, rasgados formados por las líneas de partición o zonas de cierre. Las superficies de la cavidad deberían recibir un pulido extremo cuando se construye el molde y ser re-pulidas cuando se necesite.

Crazing

Como el crazing no es más que una fina red de fracturas, tiene las mismas causas y remedios que se aplican a estas.

Delaminación

Molde demasiado flojo

Si se quiere un molde suelto, es necesario limitar su uso. Demasiadas solturas en el molde provocarán que lo suelto del molde penetre en las capas moldeadas. Esto evitará que las capas se entrelacen y provocará delaminación. Hay que mantener el molde suelto fuera de presiones a no ser que se necesite y sólo usarlo después como ajuste temporal hasta que se rectifica la causa del pegado se rectifique.

Comprobar el molde y piezas ejemplo para determinar porque una pieza se pega. Buscar y reparar rasgados creados por líneas de partición dañadas. Comprobar los pernos centrales y buscar finales achampiñonados. Determinar si se requiere pulido para ayudar a la pieza a salir del molde.



Decoloración

Temperatura del molde inapropiada

En general, un molde caliente hará que el material se mantenga fundido más tiempo y permitirá que las moléculas se empaqueten más fuertemente. El resultado es una pieza muy densa que aparece oscurecida debido a su densidad. Por otra parte, un molde frío provocará una pérdida de brillo porque el material se enfría antes de poder ser forzado hacia la superficie del molde. Consecuentemente tendremos una pieza menos densa, que será más clara.

Las tuberías deben de ser lo suficientemente grandes como para acomodar el flujo de agua correcto necesario para que haya turbulencia con un valor de Reynolds de entre 3500 y 5000. Un valor más bajo significa un flujo de agua indebido y un control de temperatura inconsistente. Si el flujo se hace laminar, la temperatura del molde fluctuará durante la marcha y resultará en piezas de varios tonos de color.

Rebaba

Zonas de cierre no paralelas

Durante el tiempo, el plano principal de la línea de partición podría perder su condición de paralelismo. Podría ocurrir por muchas razones, incluyendo el que el conjunto cavidad haya acuñado en la base del molde, o que se haya dejado rebaba en el plano de la línea de partición, formando finalmente depresiones.

Hay que examinar la línea de partición, buscando zonas dañadas, especialmente aquellas por pérdida de rebaba o desajuste de la boquilla. Estas deben de ser reparadas o reemplazadas en su defecto. También se deben de revisar los conjuntos cavidad. Los conjuntos cavidad deben de asentar sobre la superficie del molde de 0,05 a 0,127 mm para detener efectivamente la rebaba en la línea de partición.

Soporte del molde inadecuado

Los moldes deben de soportarse debidamente bajo la placa B para compensar el espacio abierto por el alojamiento en forma de U del expulsor. Sin un soporte adecuado, la presión de inyección que empuja el plástico fundido en el molde hará que la placa B se flexione, causando la aparición de rebaba en la línea de partición.

Hay que usar al menos una fila de pilares de soporte para dar soporte a la trasera de la placa B. Vease en el capítulo 3 información sobre los pilares y placas soporte.



Marcas de las líneas de flujo

Ventilación inadecuada

Las líneas de flujo podrían ser el resultado de que el aire y los gases atrapados formen frentes de flujo al empacarse juntos. El estilo laminar del flujo que existe en el material plástico fundido necesita que las capas separadas de los materiales se junten para formar un producto estructuralmente consistente. Los gases atrapados reducen la capacidad de conseguir esto en la pieza, apareciendo líneas de flujo.

Hay que ventilar el molde para asegurar un viento en intervalos de 25 mm a lo largo del perímetro de la línea de partición. Hay que ventilar el canal también. Se pueden añadir vientos a los pernos expulsores para liberar el aire atrapado. Incluso se pueden colocar en la zona de ataque. El proveedor de material nos dará la información necesaria para cada material específico.

Poco brillo

En general, las mismas causas que provocan los defectos de apariencia “nubosa” y el “enrojecimiento” podrían contribuir a la apariencia de brillo bajo. Los remedios son los mismos.

Jetting

Excesiva longitud del pie del ataque

La pequeña área que circunscribe un ataque se llama pie. Determina la distancia total que debe de viajar el plástico fundido en un estado restringido antes de que pueda entrar en la cavidad. Si el pie es demasiado largo, el material plástico empezará a enfriar demasiado rápido y tendrá que ser forzado para que entre en la cavidad. Esto hace que el frente del flujo se rompa en partes y que así pueda entrar material nuevo para fluir entre las roturas, provocando la clásica apariencia de “serpiente” en la superficie de la pieza.

Reducir la longitud del pie para que no supere los 3,28 mm pero sin ser inferior a 0,79 mm.

Líneas de unión (líneas de soldado)

Diseño del producto dificultoso

Las líneas de unión son el resultado de un frente de flujo de material inyectado en una obstrucción en la cavidad del molde. Esta suele ser un perno central que se usa para hacer un agujero en la pieza. El frente de flujo rompe en dos frentes separados y rodea la obstrucción. Cuando las dos partes se unen al otro lado, intentan unirse de nuevo y formar un nuevo frente único. Otra causa de las



líneas de pegado es el uso de más de un ataque, lo que provoca múltiples frentes de flujo. Cuantos más ataques se añaden, más líneas de pegado hay.

Si se crean las condiciones para crear una línea de pegado, esta no se puede eliminar, solamente manipular. Moviendo el ataque movemos la línea de pegado. Incrementando la temperatura de fusión y del molde, ayudamos a minimizar la línea de pegado. Si añadimos ataques estratégicamente, podemos llevar las líneas de pegado a localizaciones específicas. Por ejemplo, un perno central puede acortarse para que se forme rebaba sobre su cara. Después, se puede hacer que las líneas de pegado se formen en la rebaba. La rebaba (y las líneas de unión que están en ella) pueden ser eliminadas después de la pieza.

Llenados incompletos

Ventilación insuficiente

La ventilación se usa para eliminar el aire atrapado del molde cerrado de manera que el material fundido pueda fluir en todas las secciones del molde. Si no se elimina el aire, actúa como una barrera para el plástico entrante y no deja que se llenen todas las secciones del molde. El resultado es un llenado incompleto. El molde debe de ser ventilado antes de hacer la primera tirada. Debe de ventilarse el canal primero y después crear los suficientes vientos en la línea de partición para igualar el 30 % de la longitud del perímetro alrededor de la cavidad imagen. Una aproximación adicional es usar un sistema de aspiración en el molde para ayudar a expulsar el aire atrapado antes de inyectar el material.

Contracción excesiva

Cálculos de dimensionamiento incorrectos

Existen más de 20.000 materiales plásticos entre los que elegir para hacer un producto, cada uno de los cuales tiene un factor de encogimiento asignado. El fabricante del molde debe incorporar ese factor en cada dimensión de la pieza de tal manera que cuando sea expulsada del molde encoja hasta las dimensiones correctas. Es necesario que el diseñador y el fabricante del molde entiendan las características particulares de encogimiento del material. Esta información nos la proporcionará el proveedor del material y debe de ser analizada con profundidad. A pesar de ello, si se cambia de material o se utiliza un tipo diferente, podría no encogerse de la manera predecida.

Es conveniente dejar todas las dimensiones con más acero del debido si se puede. Así podremos hacer modificaciones si el encogimiento no resulta como pretendíamos. En la mayoría de moldes ni siquiera se espera producir piezas aceptables en el primer intento. Normalmente, las dimensiones finales se acuerdan entre el diseñador del producto pretende y lo que el molde realmente produce. Las dimensiones críticas deben de desarrollarse en el molde por el fabricante del molde hasta que produzcan los requisitos deseados.



Marcas de sumergido

Modelos de flujo desequilibrados

Aparte de las causas obvias por las que se producen las marcas de sumergido (ej: una refrigeración ineficiente), la causa principal de las marcas de sumergido en las piezas producidas en moldes multi-cavidad son los sistemas de canales y ataques desequilibrados. El material podría entrar en cada cavidad a un tiempo diferente y provocar diferencias en el momento exacto en que empieza a solidificar. Esto podría derivar en diferencias de contracción lo que haría que apareciesen marcas de sumergido.

El camino del flujo debe de construirse para que cada cavidad se acabe de llenar en el mismo momento. Esta es la definición de sistema de canal equilibrado. Cuando se consigue esto, todo el material del tiro parará de moverse al mismo tiempo y empezará a solidificar y contraer a la vez. Así ayudaremos a minimizar la contracción excesiva que, a su vez, provoca las marcas de sumergido.

Splay

Ataques demasiado pequeños

Cuando el material entra en la cavidad, debe de hacerlo de forma laminar (capa sobre capa). Si el ataque es demasiado pequeño, el frente de flujo podría romper en muchos frentes pequeños, y el material entraría en la cavidad en forma de spray en vez de forma laminar. Esta forma de spray se duplica en la cara de la pieza con la apariencia de spray.

Hay que examinar los ataques para asegurarse de que tienen la forma y dimensiones correctas para el material que se está moldeando. El proveedor de material es una buena fuente de información. Durante la inspección hay que buscar problemas obvios, tales como líneas de partición. Estos también harán que el flujo se rompa en forma de pequeños sprays.

Deformación en la expulsión

Expulsión no-uniforme

El sistema de expulsión del molde podría desgastarse (o soportarse indebidamente) provocando una expulsión desigual de la pieza. Si la pieza no se expulsa igualmente, podría aparecer combamiento como resultado de la distorsión de la pieza que todavía está recién hecha y que se empuja fuera del molde.

Hay que comprobar el funcionamiento del sistema de expulsión. Los moldes pensados para usos largos deberían incorporar un sistema de expulsión



guiado, compuesto de perno guía y casquillos. Con esta práctica conseguimos que el sistema de expulsión del molde sea mucho más duradero. Sin él, las fuerzas de gravedad hacen que el sistema de expulsión desgaste los agujeros de soporte y las placas se combarán, provocando una expulsión desigual.

III.12.3- Reparación, protección y almacenamiento de moldes

Es seguro que cualquier molde va a necesitar ciertas reparaciones por daños que ocurran durante su uso o almacenaje. Cuanto más se utilice o más tiempo se almacene, mayor daño sufrirá. La mayor causa de daños resulta la falta de cuidado.

La reparación del daño puede ir de ser simple hasta ser de gran dificultad dependiendo del grado y tipo de daño.

Para reparar y mantener los moldes, se aconseja diseñarlos de manera que los componentes vulnerables tales como zonas de ataque puedan ser fácilmente reparadas. Esto puede realizarse mediante el uso de las inserciones y la construcción laminar.

Para otros daños más complicados, tales como el reemplazamiento de pernos expulsores dañados, la soldadura es el método más común de reparación de daños. Sin embargo, debido a las tensiones que se producen, la soldadura se debe de utilizar sólo como último recurso.

Los moldes son herramientas caras y deben de tratarse con un cuidado exquisito y protegerlos durante el proceso de producción así como durante el almacenamiento entre utilizaciones. Incluso el proceso de instalar un molde en la máquina de moldeo para la producción puede causar daños si no se realiza adecuadamente.

Almacenamientos de poco tiempo requieren el uso de una fuente de luz que previene la formación de óxidos. Los almacenamientos largos (más de 30 días) requieren el uso de un producto pesado que prevenga la formación del óxido en el molde y también en las líneas de flotación.



IV.- Simulación con programa de elementos finitos del proceso de inyección



IV.- Simulación con programa de elementos finitos del proceso de inyección

IV.1- Presentación general de Moldflow

El método de los elementos finitos (MEF o FEM en inglés) es un método numérico muy general para la resolución de ecuaciones diferenciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

El método se basa en dividir el cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema en una serie de subdominios no intersectantes entre si denominados elementos finitos. El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados nodos. Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito, además un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos, el conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se llama malla. Los cálculos se realizan sobre una malla o discretización creada a partir del dominio con programas especiales llamados generadores de mallas, en una etapa previa a los cálculos que se denomina pre-proceso. De acuerdo con estas relaciones de adyacencia o conectividad se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales (o linealizadas), la matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos.

Típicamente el método de los elementos finitos, se programa computacionalmente para calcular el campo de desplazamientos y posteriormente a través de relaciones cinemáticas y constitutivas las deformaciones y tensiones respectivamente, cuando se trata de un problema de mecánica de sólidos deformables o más generalmente un problema de mecánica de medios continuos. El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en dos o tres dimensiones). Además el método es fácilmente adaptable a problemas de difusión del calor, de mecánica de fluidos para calcular campos de velocidades y presiones (fluidodinámica CFD) o de campo electromagnético. Dada la imposibilidad práctica de encontrar la solución analítica de estos problemas, con frecuencia en la práctica ingenieril los métodos numéricos, y en particular los elementos finitos se convierten en la única alternativa práctica de cálculo.

Una importante propiedad del método es la convergencia, si se consideran particiones de elementos finitos sucesivamente más finas la solución numérica



calculada converge rápidamente hacia la solución exacta del sistema de ecuaciones.

IV.2- Proceso de simulación de moldeo

IV.2.1- Modelado

El primer paso del estudio consiste en importar un modelo CAD ya existente. Si no, podemos ser nosotros mismos los que creamos el modelo en el programa directamente. En nuestro caso vamos a realizar esto último.

Comenzaremos creando una serie de puntos y líneas distribuidas en el espacio de tal forma que vayamos formando poco a poco la estructura de nuestra pieza como se puede ver en la figura 1. Es muy importante ser precisos en el dimensionamiento de cada una de las partes, ya que después hay que deshacer todo para cambiar cualquier dimensión. Se pueden ir introduciendo superficies delimitadas por líneas como se observa en la figura 81 en color verde, pero es recomendable dibujar todas las líneas que definen la geometría de nuestra figura antes.

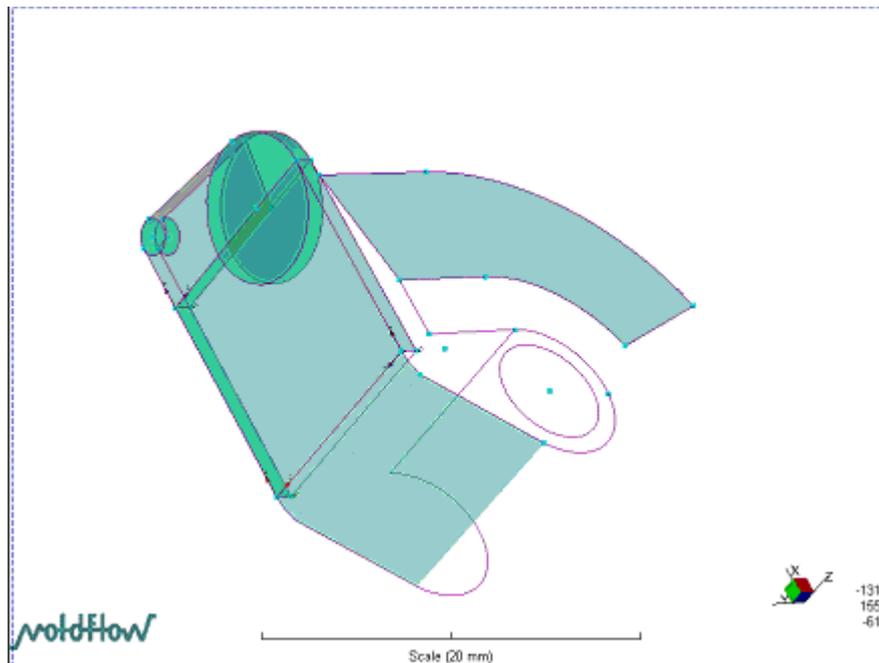


Figura 81 – Preparación del modelo geométrico

Una vez finalizada esta operación obtenemos la estructura de las figuras 82 y 83.

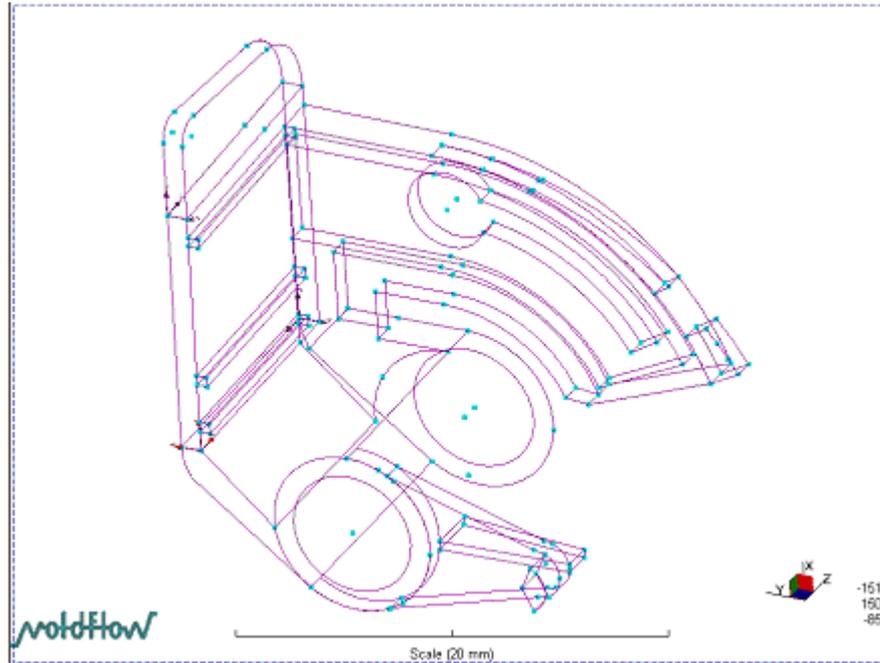


Figura 82 – Estructura total de la pieza con puntos y líneas

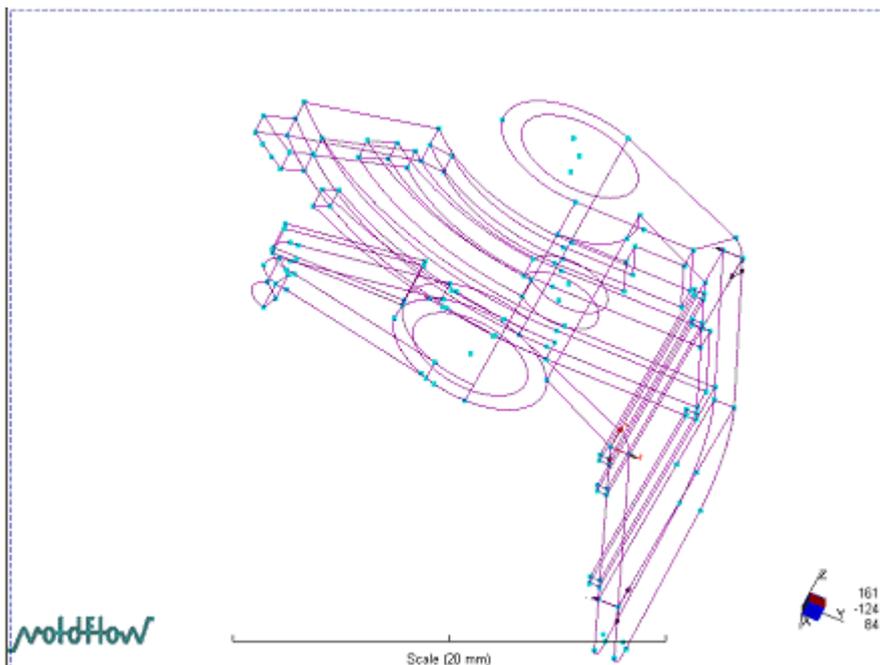


Figura 83 – Otra perspectiva del modelo geométrico

El siguiente paso es crear las superficies que delimitan el contorno de la pieza. Aunque puede parecer sencillo, lo mejor es llevar un orden para que no nos olvidemos de ninguna, puesto que luego nos puede dar problemas posteriormente. Así pues, procedemos a crear primero las superficies verticales de nuestra pieza primero (figura 84). Una vez nos hemos cerciorado de que no falta ninguna hacemos lo mismo con las superficies horizontales. Vease la figura 85.

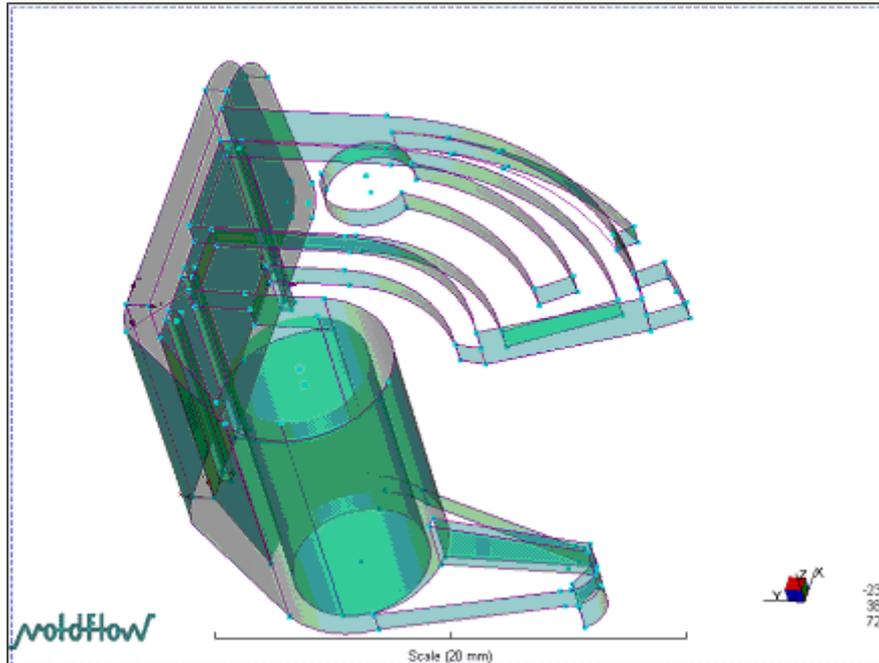


Figura 84 – Modelo con superficies verticales creadas

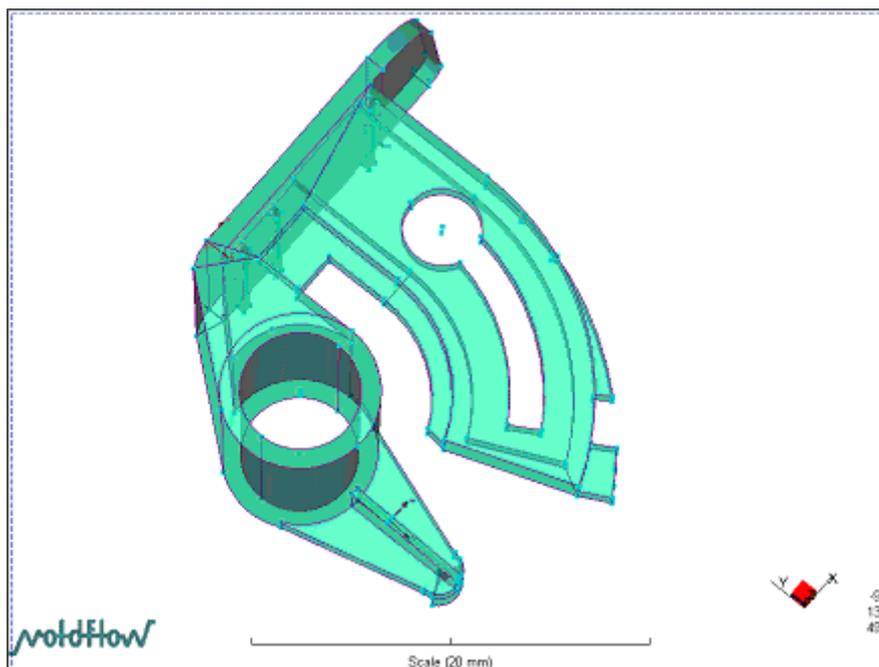


Figura 85 – Modelo con todas las superficies formadas

Esta pieza es bastante compleja y consta de bastantes superficies por lo que es necesario un cuidado extremo de que cada zona de la pieza, por pequeña que sea, posea su superficie. En la figura 86 vemos otra perspectiva y en la 87 un detalle.

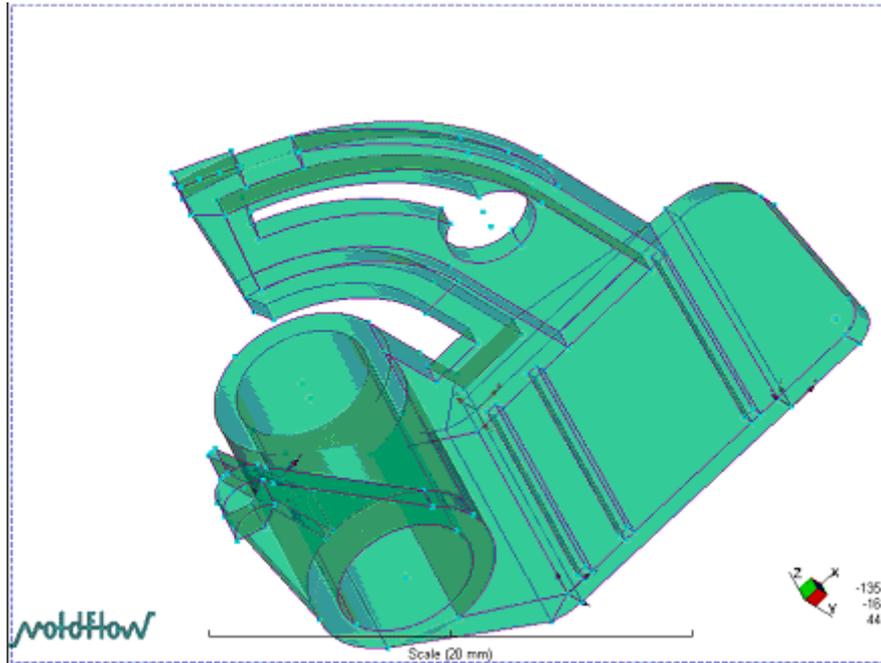


Figura 86 – *Perspectiva inferior del modelo geométrico finalizado*

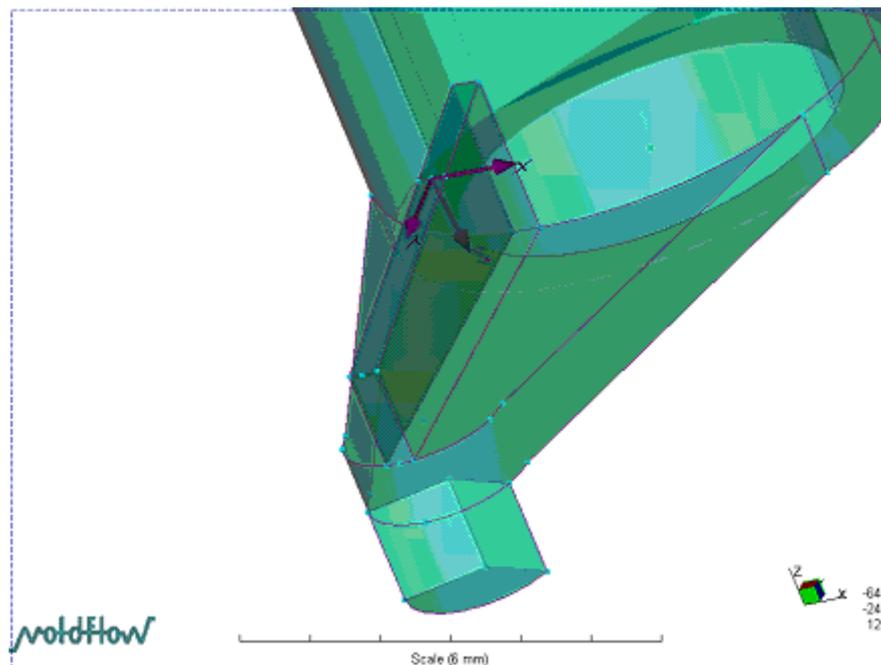


Figura 87 – *Detalle de una parte del modelo geométrico*

Acabado esto ya podemos decir que tenemos la geometría de la pieza, pero todavía queda uno de los pasos más decisivos e importantes del programa: el mallado. En el mallado dividimos la estructura de la pieza en pequeños tetraedros que no son más que líneas y puntos relacionados entre sí para proceder posteriormente al análisis de la pieza basado en las relaciones que existen entre tetraedros contiguos.



El programa nos da a elegir tres tipos de mallado: Midplane, Fusion y 3D. El primero se utiliza para representaciones en 2D, y el tercero para piezas grandes. Nosotros usaremos el tipo Fusion, que es el recomendado para piezas pequeñas al combinar diferentes tipos de mallado.

Acto seguido procedemos a elegir el tamaño de la malla en Global Edge Length. Debemos de mallar con especial cuidado partes con alta curvatura asegurándonos de que el mallado no sea demasiado grande. Se puede mallar la pieza en un tamaño y después afinarlo en estas zonas. Nosotros sin embargo, mallaremos la pieza entera con bastante finura, pese a que el ordenador requiere más tiempo para realizar los cálculos de mallado. Para nuestra pieza hemos elegido un Global Edge Length de 0,3 mm. El resultado lo podemos ver en las figura 88 y 89.

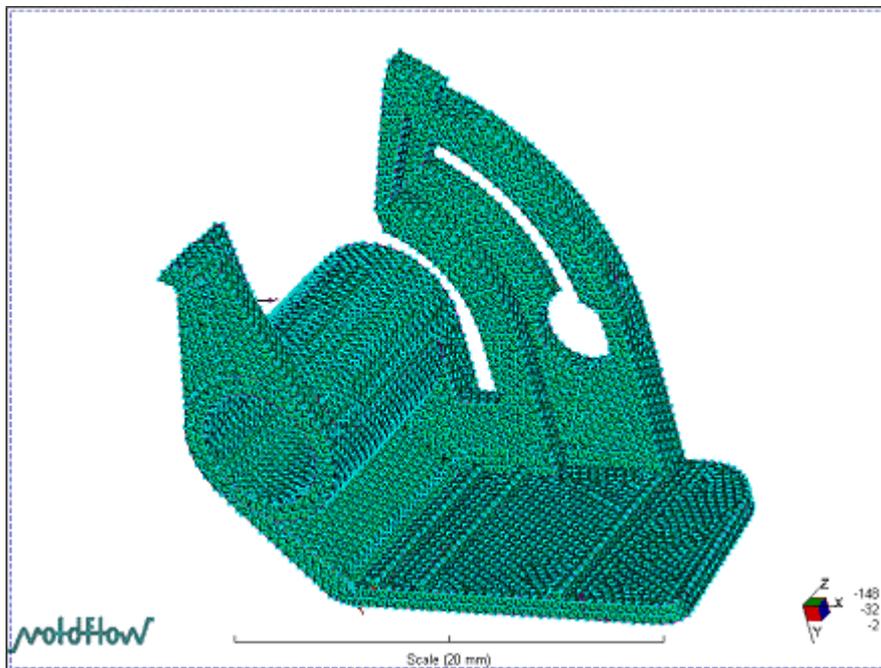


Figura 88 – Modelo geométrico una vez mallado

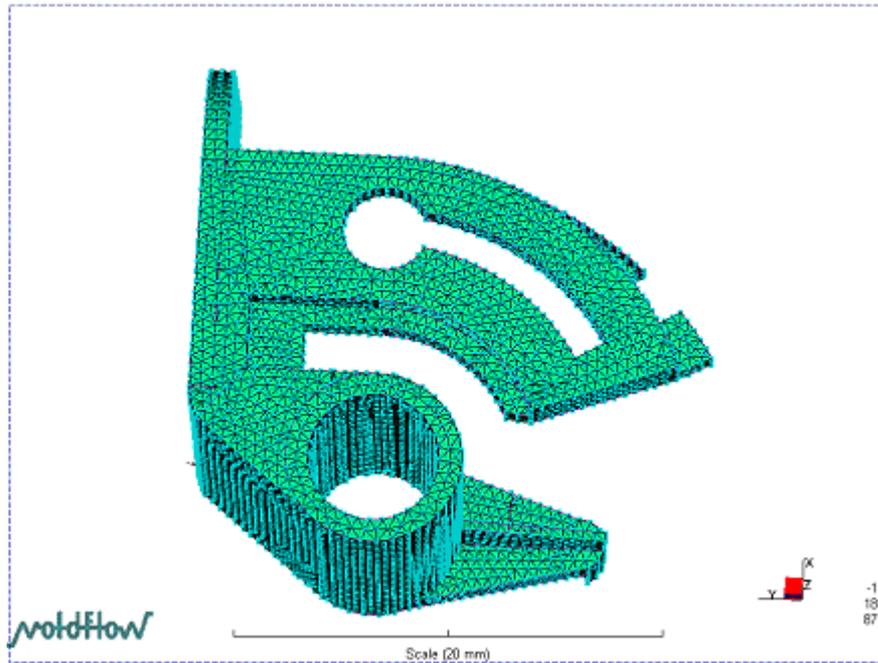


Figura 89 – *Perspectiva superior del modelo geometrico mallado*

Pero todavía no hemos terminado con el mallado. Antes de nada debemos de realizar una limpieza la malla que acabamos de crear puesto que la calidad de ésta influye directamente sobre el rendimiento del análisis. Así, existen parámetros que nos permiten identificar la calidad del mallado, y los podemos ver en la opción Mesh Statics. Al hacerlo obtenemos los siguientes resultados:

Entity counts

Surface triangles	7542
Nodes	3769
Beams	0
Connectivity regions	1

Edge details

Free edges	43
Manifold edges	11313
Non-manifold edges	62

Orientation details

Elements not oriented	0
-----------------------	---

Intersection details

Element intersections	12
Fully overlapping elements	7



Duplicate beams 0

Surface triangle aspect ratio

Minimum aspect ratio 1.155128
 Maximum aspect ratio 52.245104
 Average aspect ratio 1.920383

Match ratio

Match ratio 90.8%

La parte Entity Counts sirve únicamente para información relativa al modelo. En la parte Edge Details no debemos de tener Free Edges (Bordes o cantos libres) ni Non-Manifold Edges (Cantos múltiples). Lo mismo ocurre para Elements not oriented (Elementos no orientados) o Intersection Details (Elementos intersecantes o sobrepuestos). El parámetro Aspect Ratio influye en los resultados y, de hecho, es imprescindible que el Minimum aspect ratio (índice de aspecto mínimo) sea inferior a 2. También existen restricciones sobre el Match Ratio (Índice de unión) que debe de superar el 85 % para poder realizar un análisis de Flujo.

Vemos que no tenemos problemas con algunos de los parámetros, pero si con otros como Edge Details o Intersection Details. Para solucionarlo, el programa dispone de una herramienta para limpiar el mallado automáticamente: Mesh Repair Wizard. En nuestro caso se ha utilizado y no ha conseguido solucionar todos los problemas, por lo que hemos tenido que utilizar Mesh Tools, donde parámetro por parámetro, nos identifica que elementos del mallado son los que nos dan errores para que arreglemos el mallado. Así pues, hemos tenido que recomponer el mallado en zonas donde la curvatura era muy alta para eliminar los Free Edges y Non-manifold Edges y en otros casos hemos tenido que eliminar superficies que se estaban superponiendo con otras (Intersection Details) debido a errores en la fase primera de creación del modelo.

Hay que realizar un proceso mallado-limpieza-mallado en varias ocasiones puesto que cada vez que limpiamos el mallado pueden surgir nuevos puntos conflictivos del mallado y no es hasta que hacemos tres limpiezas de mallado que conseguimos que todos los parámetros estén correctamente.

Para realizar el análisis es requisito previo que seleccionemos el material del cual va a estar compuesta la pieza que vamos a moldear. El programa posee una amplia base de datos de la cual seleccionamos nuestro material, el POM Hostaform C 27021. Lo seleccionamos pues en análisis-Select Material donde se pueden buscar los materiales según el fabricante, el nombre comercial...si lo deseamos, disponemos incluso de una ficha de detalles de cada material en la que podemos consultar sus propiedades mecánicas, parámetros de proceso recomendados, test que ha pasado el material...etc.



IV.2.2- Análisis de localización del ataque

Ahora es cuando debemos seleccionar que tipo de análisis queremos realizar a la pieza. Existen diversos tipos, pero algunos de ellos están supeditados al tipo de mallado que hayamos elegido previamente. Habiendo seleccionado previamente Fusion, no podemos realizar análisis de Fast Fill (Llenado Rápido), Standalone Parking (Empaquetamiento Autónomo) ni Stress (Tensión).

El primer análisis que se suele realizar de todos es el de Gate Location (Localización del Ataque). Su función consiste en encontrar la mejor localización preliminar del ataque en la pieza. Así, nos dice rápidamente cuál es la localización recomendada de la boca para un análisis de flujo completo. Básicamente trata de que sea una zona central de la pieza y con el mayor espesor posible. Los resultados obtenidos son los que aparecen en las imágenes 90, 91 y 92.

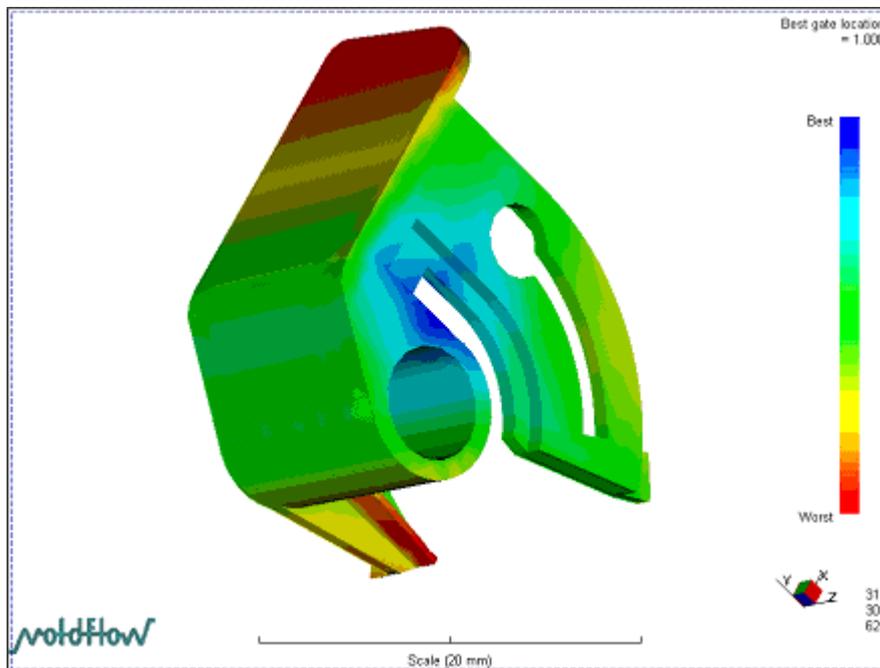


Figura 90 – Localización más apropiada para el atacado de la pieza

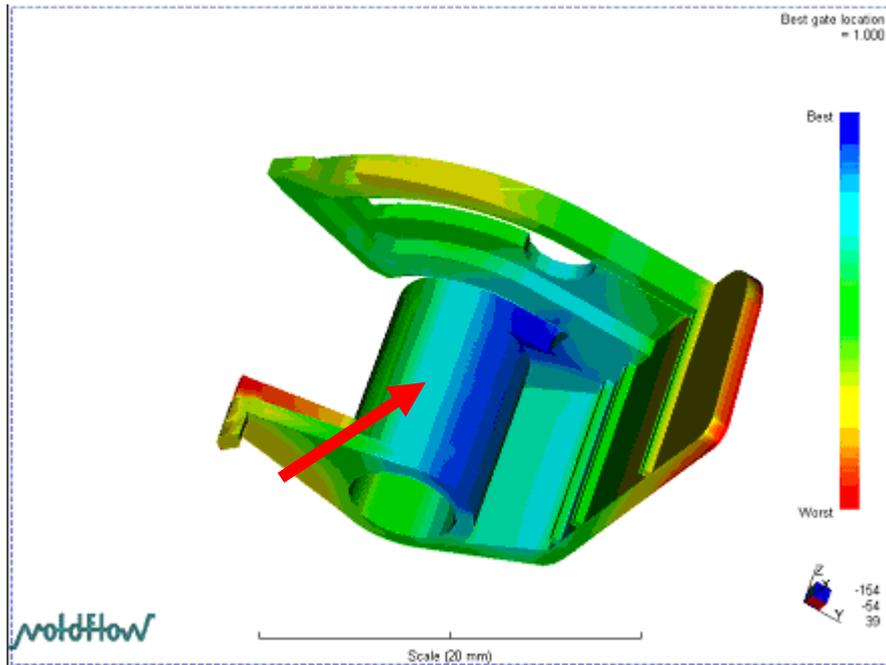


Figura 91 – Una de las zonas más apropiadas para el ataque

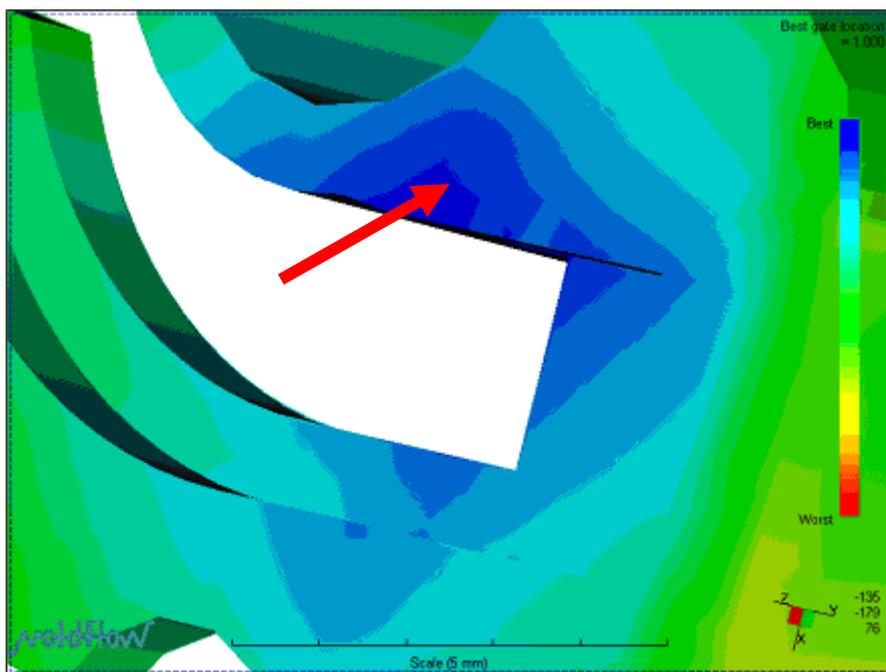


Figura 92 – Detalle de la zona seleccionada para el ataque

En el informe de resultados vemos que nos indica que la localización ideal es el nodo 1930 de la malla. En las figuras 90 y 91 podemos ver en una escala de colores que zonas son más apropiadas para situar el ataque, siendo las zonas azules las más apropiadas. Se puede apreciar que el color azul está especialmente en la zona superior de la pieza, junto al borde del círculo y también descendiendo por la vertical como indica la flecha roja en la figura 91. Por contra vemos que los extremos de la pieza tienen gamas de colores más cálidas, es decir, menos



indicadas para la localización del círculo, puesto que son zonas estrechas y que además no son céntricas con la consecuencia de que si atacásemos en esas zonas, habría mucha desigualdad de temperaturas entre la última zona de la pieza en llenarse y la zona cercana al ataque al tener que hacer el flujo un gran recorrido.

Por lo tanto y de esta parte en adelante, realizamos todos los análisis con el ataque situado en la zona superior de la pieza y que viene señalada con una flecha roja en la figura 92 puesto que atacar en la zona señalada en la figura 91 nos conllevaría más problemas al tratarse de una zona más resguardada e interior de la pieza. Hay que señalar que los resultados de estas simulaciones siempre tienen que ser analizados, puesto que, como podemos ver, suelen existir diversas alternativas a escoger.

IV.2.3- Análisis de llenado

Ahora realizamos el análisis de llenado. Se trata de ver que parámetros describe el flujo durante el llenado. Así, podemos predecir el comportamiento del plástico.

Al acabar el análisis el programa nos muestra un informe de todos los resultados obtenidos. Los más destacables los tenemos a continuación.

Tiempo (s)	Volumen (%)	Presión (MPa)	Fuerza de Cierre (t)	Velocidad de flujo (cm ³ /s)	Estado
0,05	5,14	0,29	0,00	1,06	V
0,09	9,99	0,45	0,00	1,06	V
0,14	14,80	0,59	0,00	1,06	V
0,18	19,61	0,73	0,00	1,06	V
0,23	24,35	0,87	0,00	1,06	V
0,27	29,05	0,99	0,00	1,06	V
0,32	33,85	1,11	0,00	1,06	V
0,36	38,55	1,23	0,00	1,06	V
0,41	43,26	1,35	0,00	1,06	V
0,45	48,14	1,46	0,01	1,06	V
0,50	52,61	1,57	0,01	1,06	V
0,54	57,43	1,72	0,01	1,06	V
0,59	61,99	1,94	0,01	1,06	V
0,63	66,60	2,18	0,01	1,06	V
0,68	71,15	2,51	0,02	1,06	V
0,72	75,70	2,92	0,02	1,06	V
0,77	80,34	3,37	0,03	1,06	V
0,81	84,89	3,80	0,03	1,06	V
0,86	89,42	4,39	0,05	1,06	V
0,90	93,83	5,28	0,07	1,06	V
0,95	98,26	6,96	0,10	1,06	V
0,95	98,71	7,02	0,10	1,06	V/P
0,96	99,56	5,62	0,08	0,68	P
0,96	99,83	5,62	0,09	0,67	P
0,97	100	5,62	0,09	0,67	Lleno



Fases de llenado:

V: Control de velocidad

P: Control de presión

V/P: Cambio de velocidad a presión

Máxima presión de inyección a los 0,950s = 7,0246 MPa

Tiempo al final del llenado = 0,965 s

Peso total = 1,1701 g

Fuerza de Cierre máxima durante el llenado = 0,1035 toneladas

Vistos los resultados podemos sacar las siguientes consecuencias. El llenado se realiza básicamente en dos fases.

La primera está caracterizada por que se va llenando el molde con un caudal constante de $1,06 \text{ cm}^3/\text{s}$ en la que la presión va aumentando progresivamente y en la que la Fuerza de cierre es prácticamente inexistente.

Y la otra fase sería al final casi del llenado, cuando alcanzamos el 98,71 % de volumen llenado en la que se produce un cambio en la inyección. Pasa de ser una inyección a caudal constante a otra inyección a presión constante. Esto se debe a que al estar el molde casi lleno, es necesario un control de la presión, puesto que sino las presiones podrían dispararse al rellenar el 100 % del volumen si se sigue inyectando material y provocar grandes problemas. Esto se ve reflejado en la fuerza de cierre, que alcanza su punto máximo aquí reflejo de la presión que se ha creado. Es por esto que a partir de los 0,95 segundos el caudal de inyección disminuye y la presión de inyección permanece constante.

La evolución de la presión en el punto de inyección a lo largo del tiempo también la podemos analizar a partir de la gráfica de la figura 93. Se trata de una representación en la que se diferencian dos tramos. El primero dura prácticamente hasta el final y se corresponde con la fase de llenado con control de velocidad, en donde la presión va aumentando progresivamente y justo al final se produce una caída de presión al cambiar el llenado a control de presión. El punto de máxima presión se da a los 0,95 segundos y es de 7,02 MPa como ya antes se ha comentado.

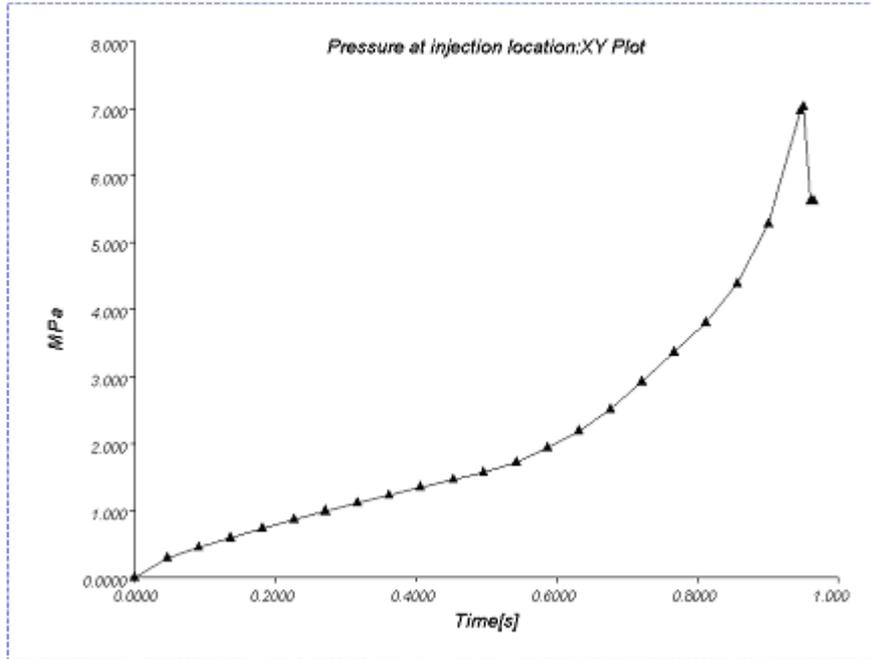


Figura 93 – Evolución de la Presión en el punto de inyección durante el tiempo

La fuerza de cierre a lo largo del tiempo también la tenemos representada gráficamente en la figura 94 y vemos que tiene gran semejanza con la de la presión en el punto de inyección. De hecho están relacionadas, puesto que si en la cavidad existe más presión, más fuerza de cierre tendremos que aplicar para que no se abra el molde.

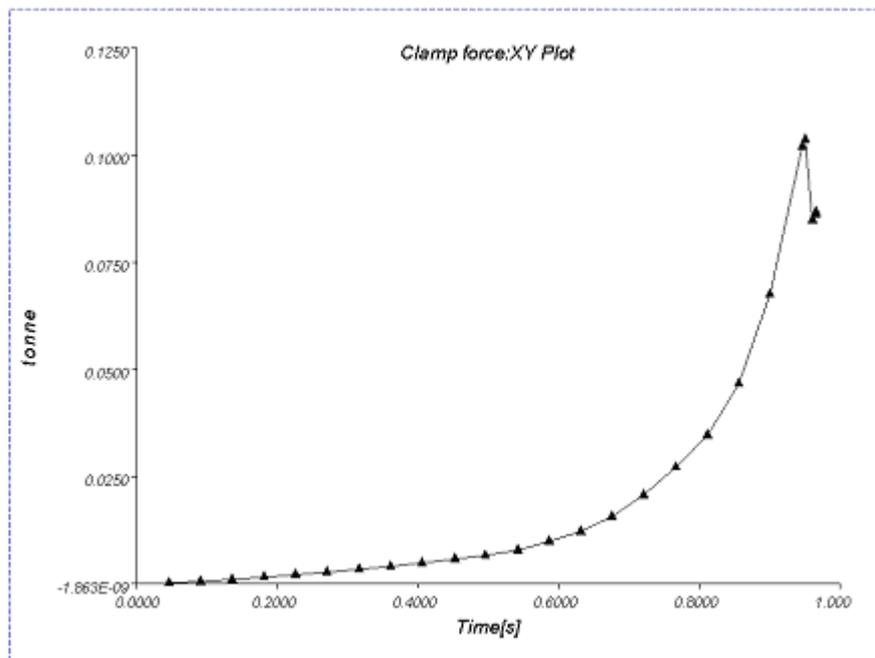


Figura 94 – Evolución de la Fuerza de cierre en el tiempo de la inyección



En la figura 95 vemos la fuerza de cierre pero en un periodo de tiempo mayor, donde se puede ver que hay que mantener la fuerza una vez que ha acabado la fase de inyección para que se produzca un empaquetamiento óptimo de las moléculas de plástico en la cavidad.

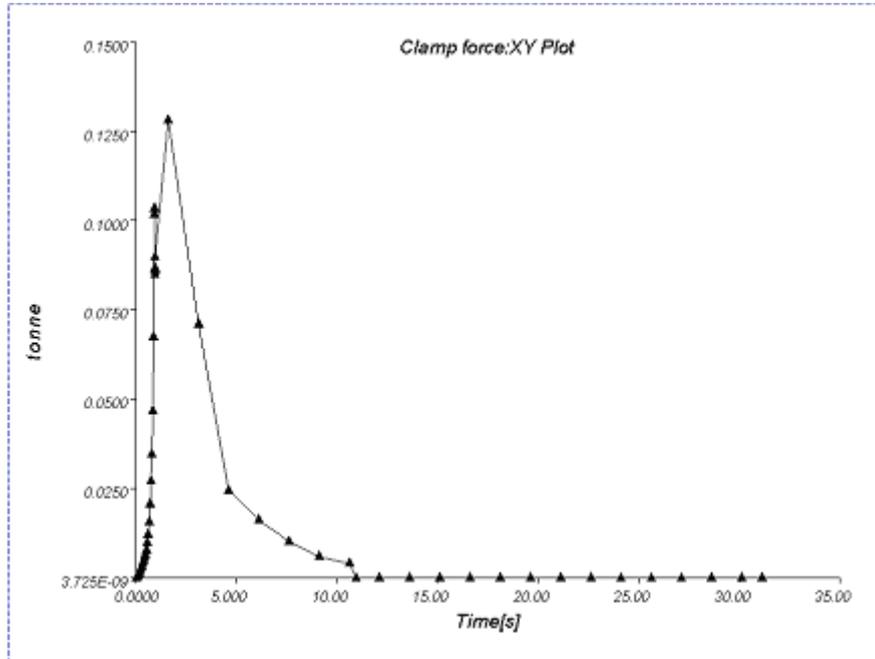


Figura 95 – Evolución de la fuerza de cierre durante el tiempo de la inyección y compactado

A continuación se representa la velocidad del husillo de la máquina de inyección recomendada en relación a su posición en la cámara en la figura 96. Es aconsejable utilizarlo, ya que así mantendremos el área del frente de fusión y evitaremos problemas de contracción inadecuada posteriores. Si usásemos la velocidad máxima posible crearíamos en los polímetros tensión innecesaria.

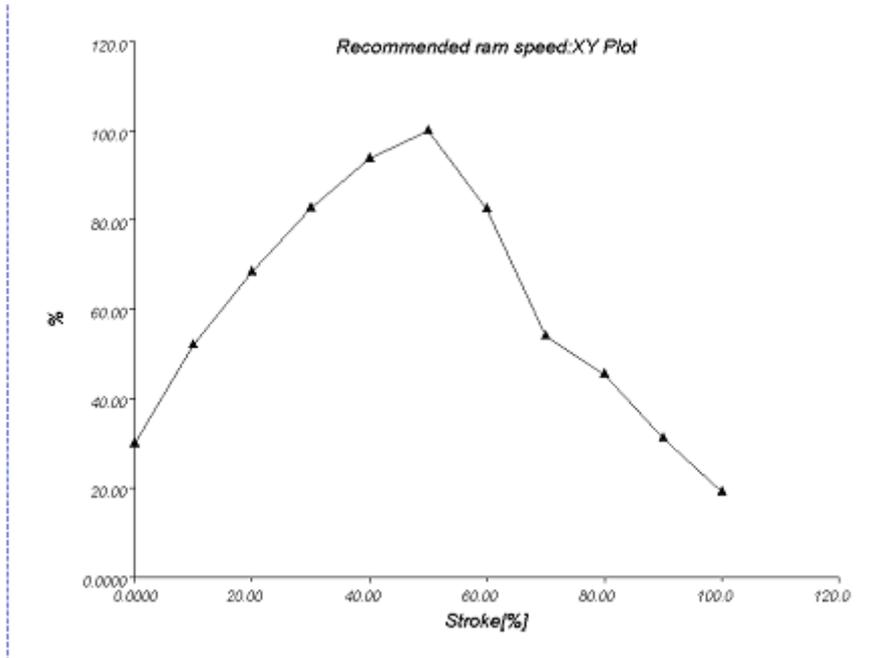


Figura 96 –Velocidad del husillo frente a su posición en la cámara de inyección recomendada para mantener el área del frente de fusión constante

En las figuras 97 y 98 podemos ver el momento en el que se llena cada parte de la pieza, que va desde 0 segundos en la zona más próxima al ataque (indicado con un cono amarillo en la figura 97) hasta los 0,965 segundos en las partes más alejadas del ataque y adonde tarda más en llegar y que están en rojo. Esto nos indica claramente como avanza y se distribuye el frente del flujo de material una vez entra en la pieza.

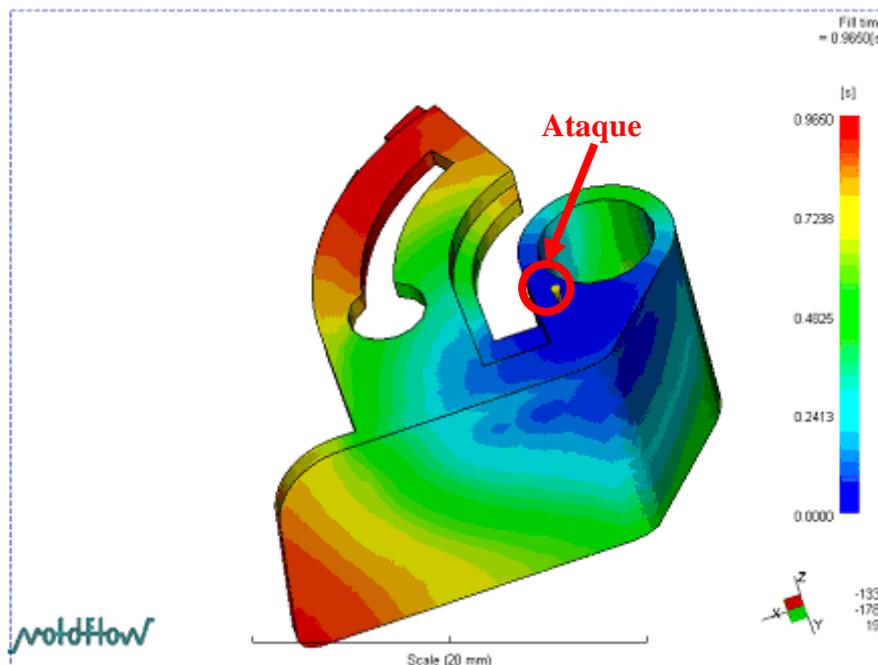


Figura 97 – Tiempo de llenado de cada zona de la pieza

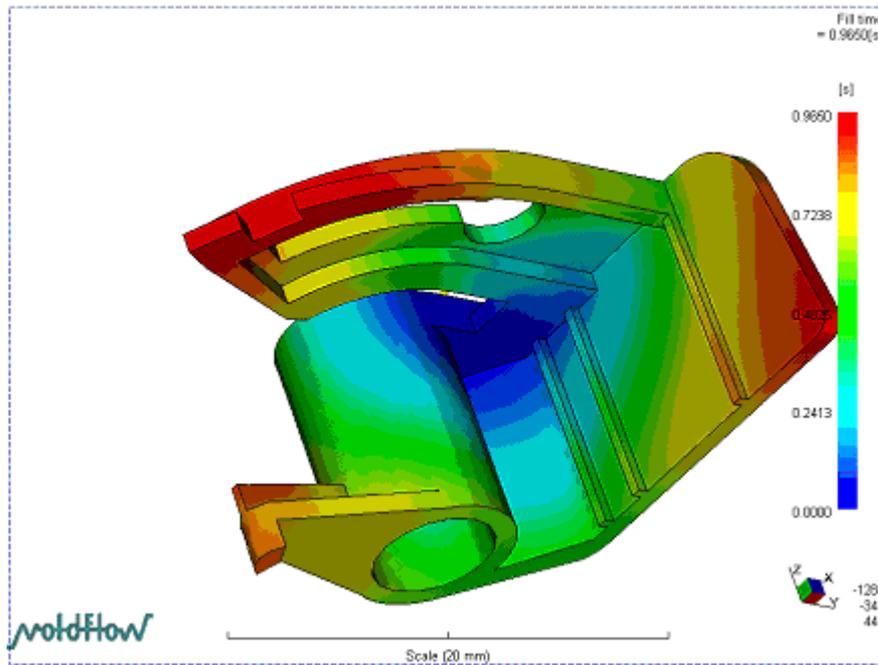


Figura 98 – Perspectiva inferior del tiempo de llenado de cada zona de la pieza

Este análisis también nos da una idea de la temperatura del frente de flujo, puesto que no es la misma si está cerca del ataque, o alejado de él. Esto se aprecia perfectamente en las figura 99 y 100, donde vemos que existen diferencias. Son especialmente notorias en el nervio señalado por la flecha roja en la figura en donde la temperatura del frente de flujo descende desde los 225 °C que tiene en la mayor parte de la pieza hasta los 191,5 °C, debido al que es una zona alejada del ataque y estrecha, por lo que se produce este ligero descenso de temperatura. Una solución posible sería ensanchar el nervio con lo que conseguiríamos que hubiese un rozamiento menor del frente de flujo al recorrerlo.

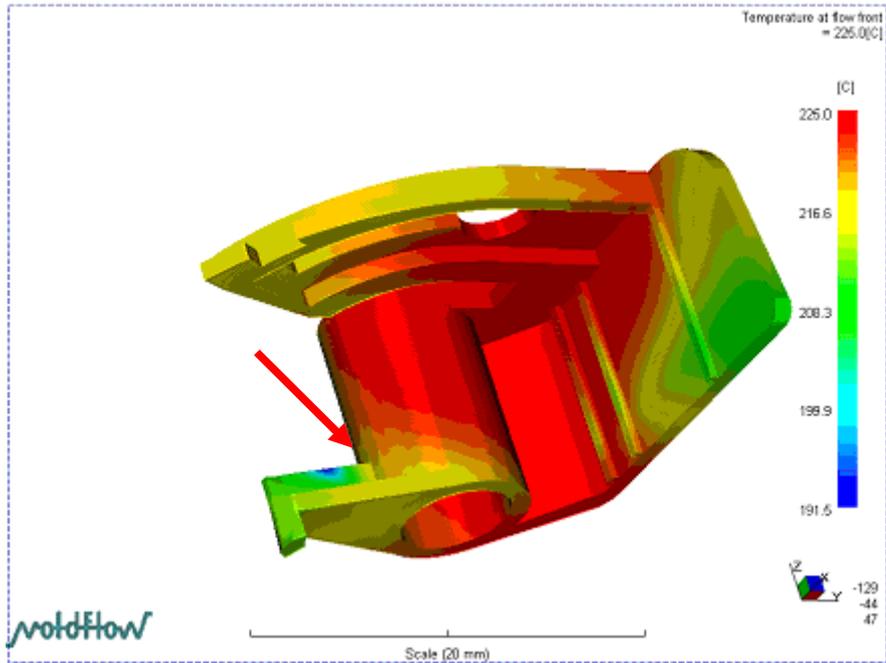


Figura 99 – Temperatura del frente de flujo y zona con la menor temperatura

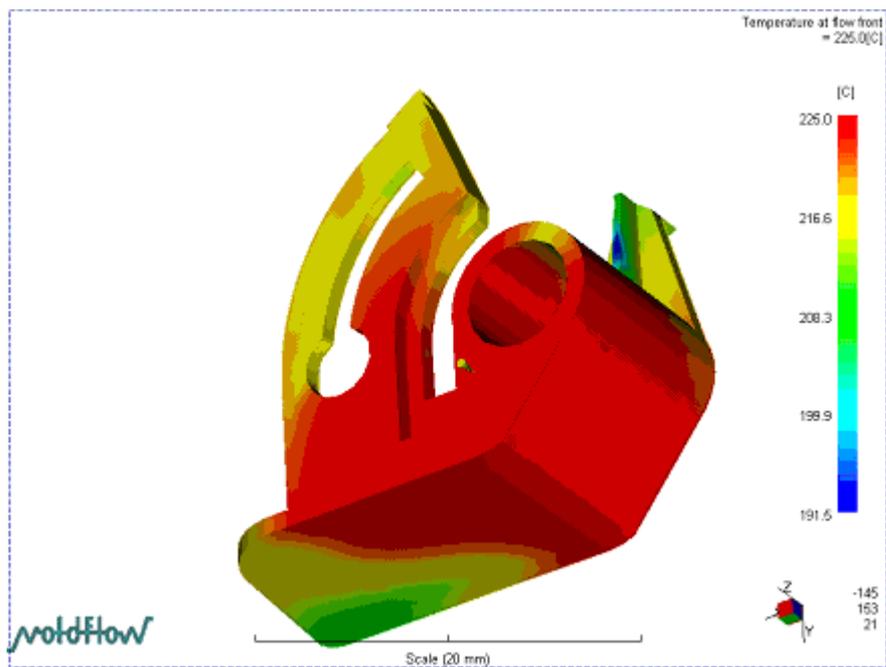


Figura 100 – Perspectiva superior de la temperatura del frente de flujo

La siguiente figura, la 101, refleja la temperatura de la masa plástica en el instante en que finaliza la inyección. Vemos que otra vez más, los nervios son lugares en los que, al tener más superficie de contacto con el molde, se produce un enfriamiento más rápido. Se debe de procurar que no existan grandes diferencias de temperatura por lo que, en el caso de estos nervios, se pueden tratar de zonas conflictivas.

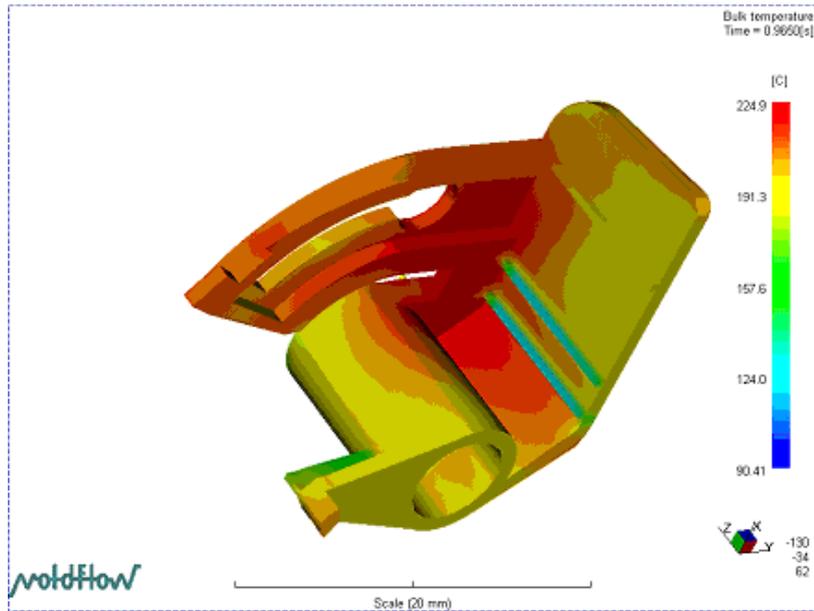


Figura 101 – *Temperatura de la masa plástica en el instante en que finaliza la inyección*

A continuación se puede ver en las figuras 102 y 103 la magnitud de la velocidad de deformación de cizalla en cualquier sección transversal de la pieza. Esto nos da una idea de la rapidez con la que deslizan las capas unas entre otras. Si se produjese demasiado rápido se podrían romper las cadenas del polímero y degradarse el material. En este caso no existe ningún problema porque las zonas con índices más altos, de 399,5 1/s no tienen importancia.

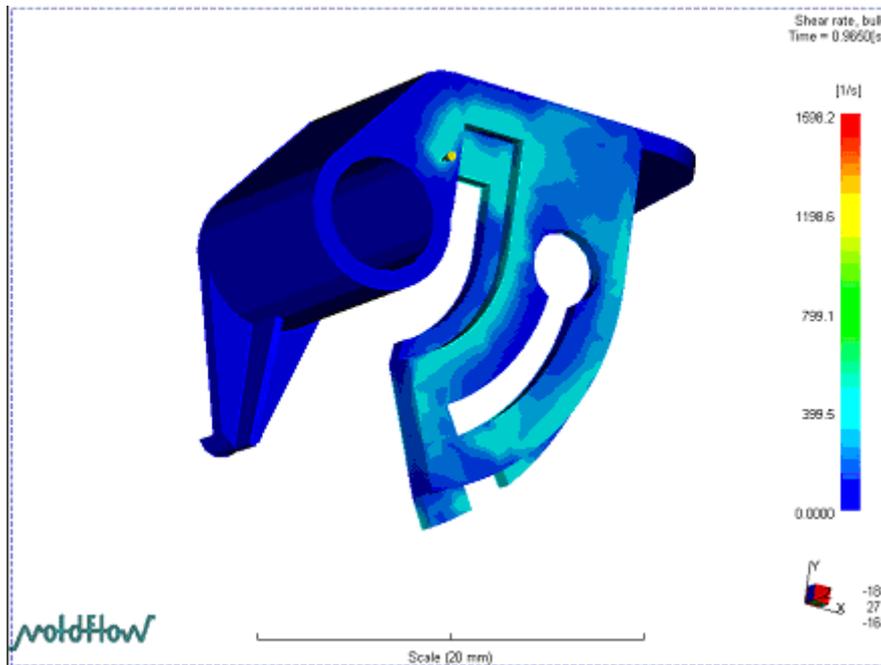


Figura 102 – *Velocidad de deformación de cizalla*

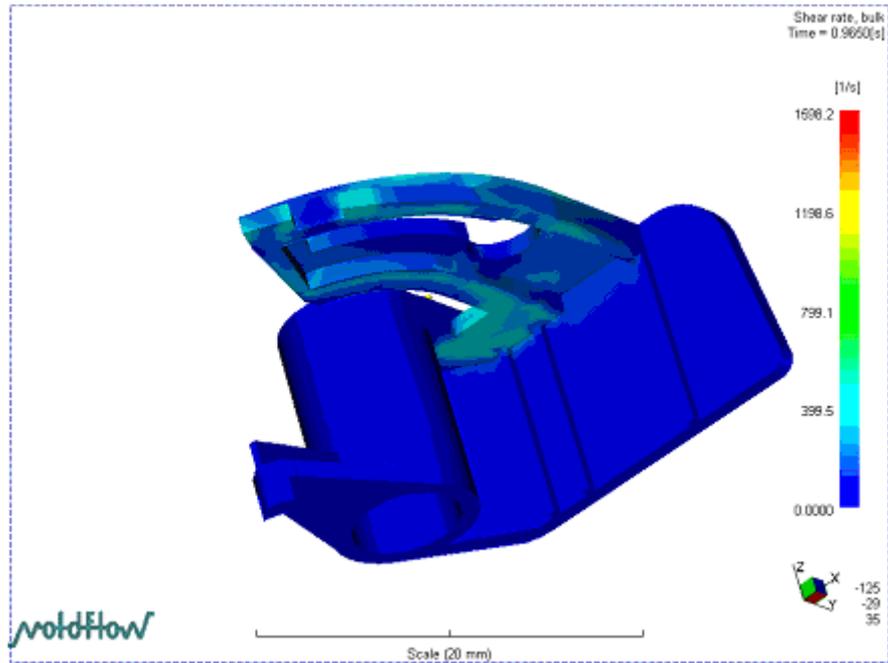


Figura 103 – *Perspectiva inferior de la velocidad de deformación de cizalla*

El tiempo de enfriamiento también es otro de los factores que caracterizan el proceso de llenado. Toma en cuenta las fases de llenado y de empaquetamiento, donde entra nuevo material que afecta al tiempo de refrigeración. Lo ideal es que la pieza se enfríe uniformemente y lo más rápido posible. Cabe resaltar la diferencia de tiempo entre el enfriamiento de la mayor parte del modelo y el enfriamiento de la última parte, pues si esta es muy grande se debería considerar incrementar la refrigeración en esta última parte o rediseñar la pieza. También hay que señalar que según que piezas, podrían expulsarse sin todavía haber enfriado del todo, al 80 % del tiempo de enfriado, pero puede acarrear problemas.

En los resultados de nuestras piezas (figuras 104 y 105) se ve que los nervios son los que menos tiempo necesitan para enfriarse, ya que tienen gran superficie de contacto por donde expulsar el calor. Por el contrario, la zona que rodea el ataque es la que mayor tiempo necesita para enfriarse, del orden de 9 segundos, al ser una zona ancha y recogida que tiene mayor dificultad para eliminar el calor.

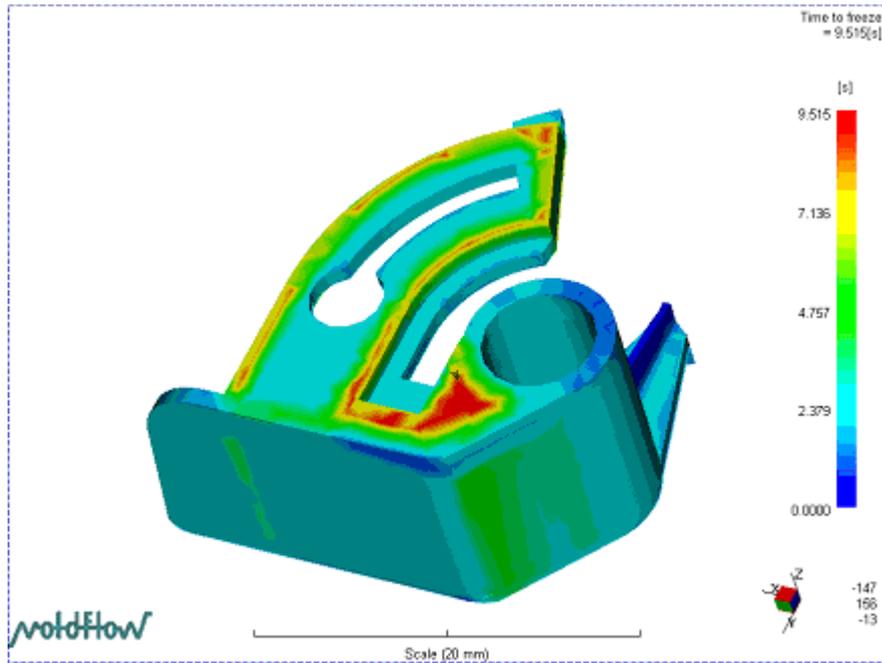


Figura 104 – *Tiempo para la refrigeración*

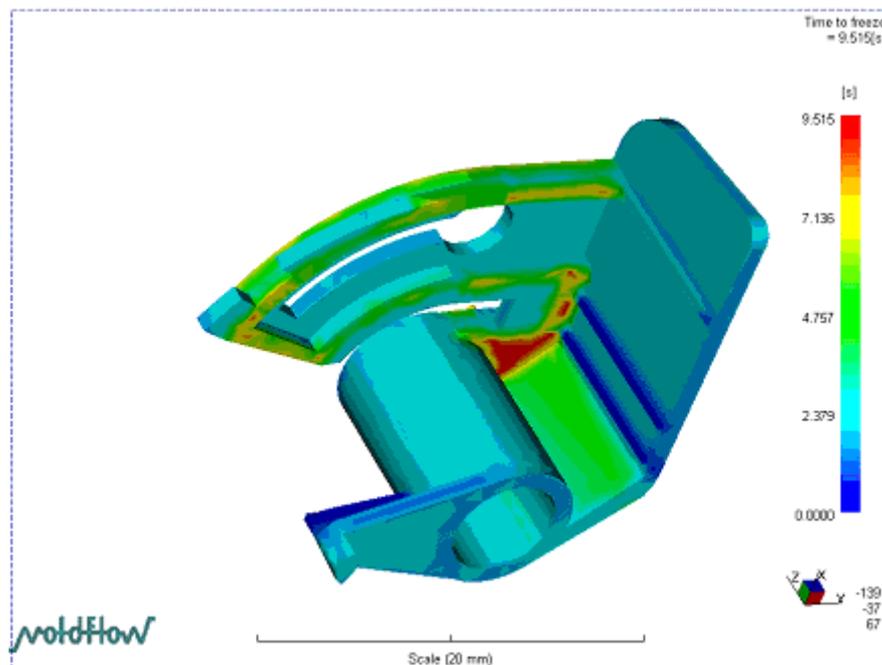


Figura 105 – *Perspectiva inferior del tiempo para la refrigeración*

Las figuras 106 y 107 muestran el espesor de la capa enfriada como fracción, de 0 a 1. Valores altos representan una capa más ancha y, por tanto, una capa de polímero fundido menor. Durante el llenado la capa enfriada debe de mantener un espesor constante en las zonas de flujo continuo puesto que la pérdida de calor por el muro del molde se compensa con el calor proveniente de la capa fundida. Una vez el flujo para, la pérdida de calor domina.

Este resultado tiene gran influencia en la resistencia de flujo. La viscosidad aumenta exponencialmente con el descenso de la temperatura. El espesor de la capa de flujo se reduce también a lo que el espesor de la capa enfriada aumenta.

En nuestro caso los resultados representan la fracción de capa enfriada a los 0,965 segundos, es decir, justo cuando se ha acabado de llenar. Los nervios, al enfriarse más rápido tienen las mayores fracciones de capa enfriada y existen otras zonas que por el contrario no poseen capa enfriada en ese instante. Están indicadas en la figura 107.

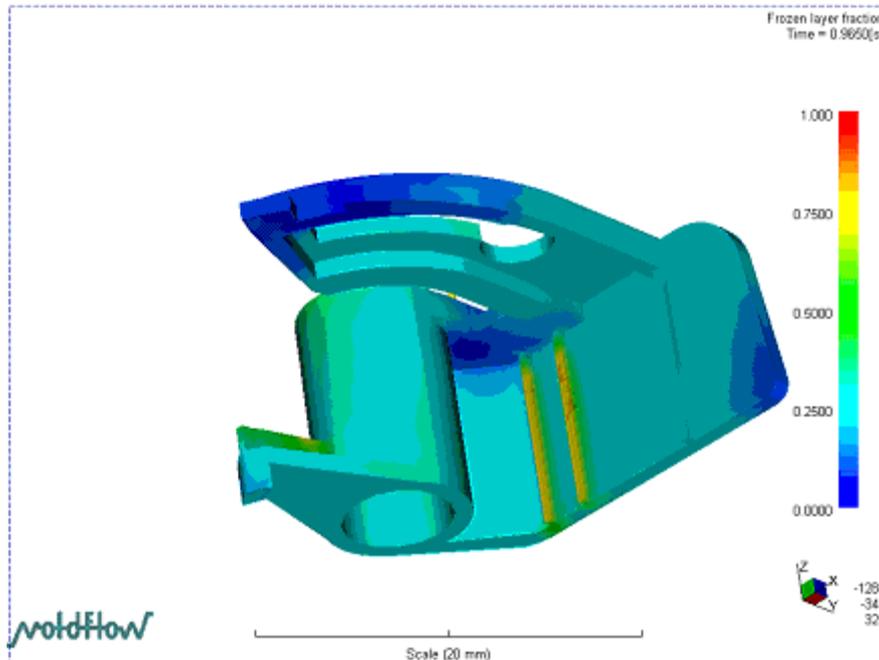


Figura 106 – Fracción de capa enfriada al final de la inyección

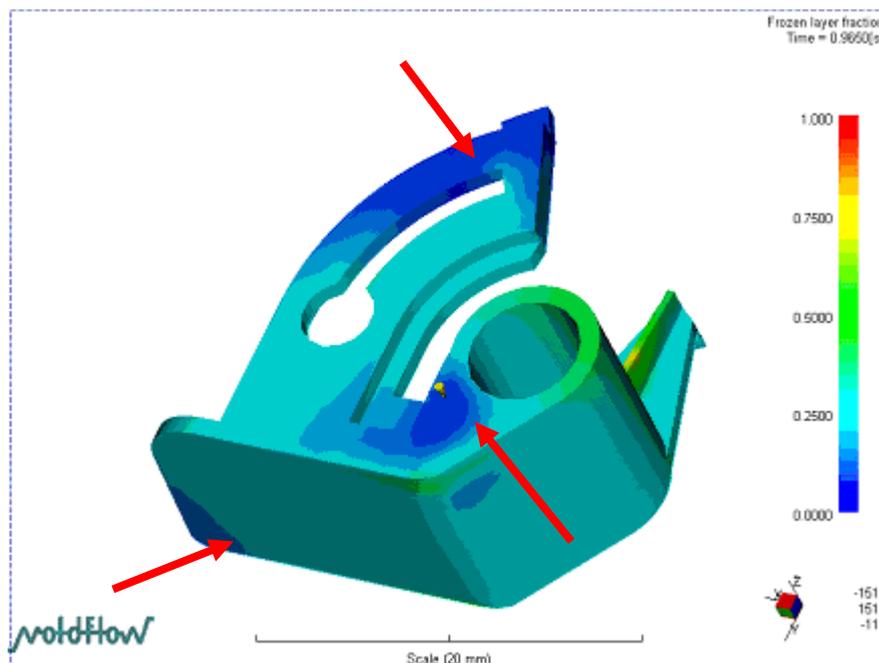


Figura 107 – Zonas en las que no hay ninguna capa enfriada

Cuando convergen frentes de flujo a veces suelen atrapar burbujas de aire. Estas pueden provocar llenados y empaquetados incompletos así como defectos superficiales en la pieza. En las figuras 108 y 109 podemos ver donde es probable que surjan las burbujas en nuestra pieza. En su mayoría son zonas finales de los caminos del flujo, pero también existen otras que se derivan de la unión de frentes de flujo.

Para solucionar esto existen varias alternativas. Se puede mover el punto de inyección para que las burbujas se creen en zonas fáciles de ventilar, se puede reducir la velocidad de inyección...de todas formas, nosotros tendremos en cuenta estas zonas para poner más vientos y evitar que se formen burbujas.



Figura 108 – Perspectiva superior de zonas con tendencia a la formación de burbujas

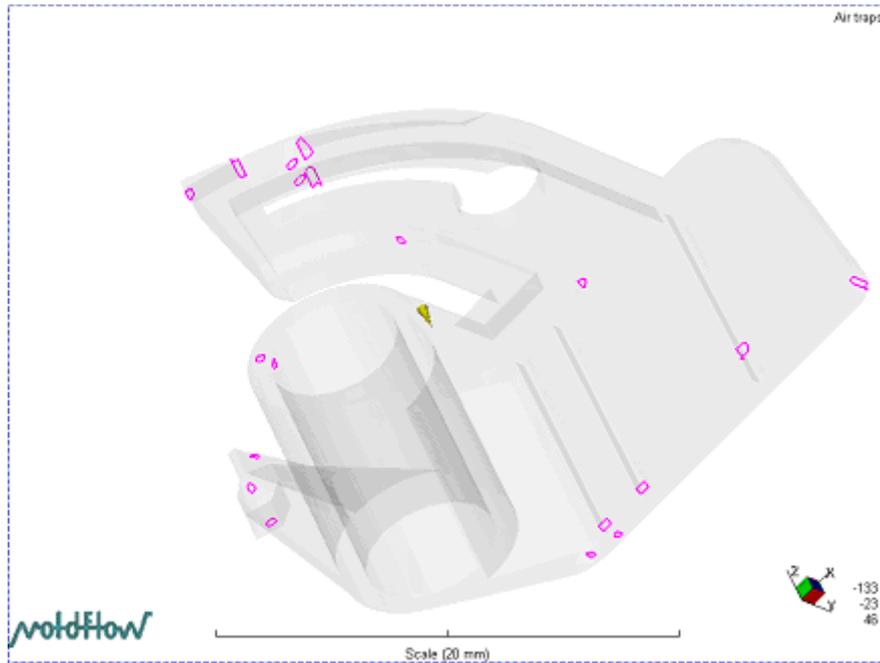


Figura 109 – Zona con tendencia a la formación de burbujas

Con el programa MoldFlow también podemos obtener los resultados de con que velocidad media se mueve el polímetro dentro del molde. Así se pueden determinar las zonas en las que existe un índice de flujo alto, determinado por secciones con valores de velocidad altos. Esto significa que puede haber problemas de sobre empaquetamiento o rebaba así como de desequilibrio de flujo. Las figuras 110 y 111 nos informan gráficamente de todo ello, pero en el instante del final de llenado, por lo que la mayoría del flujo de la pieza ya esta quieto, excepto las zonas indicadas en la figura 110, donde el flujo toma unos valores de entorno a 18 cm/s en el contorno.

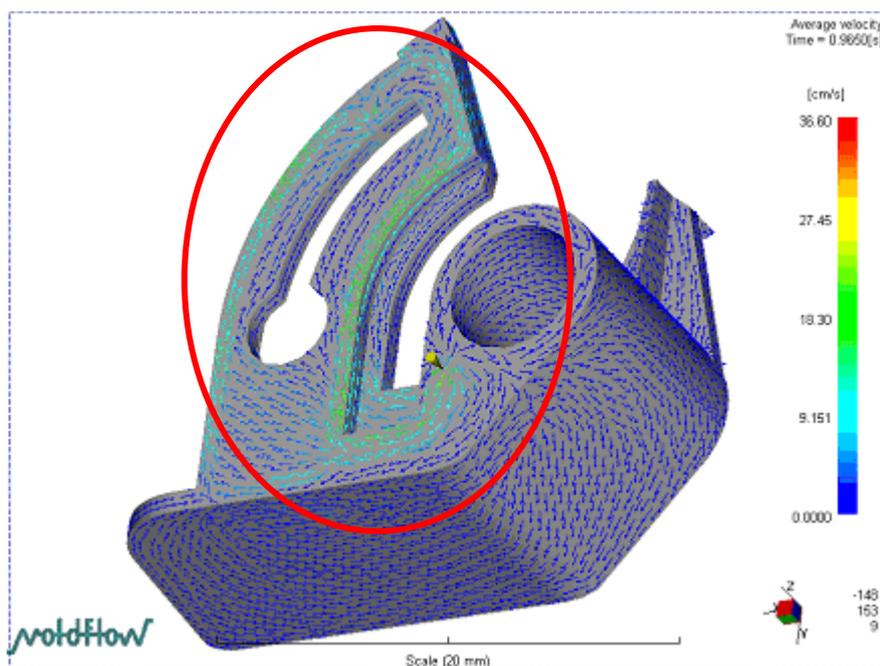


Figura 110 - Zona en la que se mueve el polímero en el instante final de la inyección

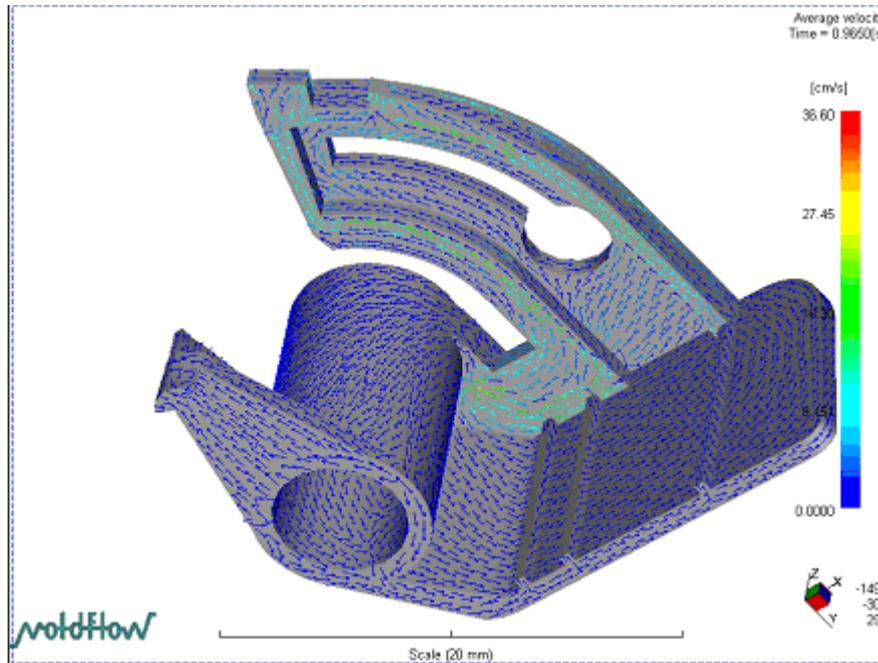


Figura 111 – Perspectiva inferior de la velocidad del polímero al final de la inyección

En el caso de que simulásemos el llenado de una pieza atacada con más de un ataque, MoldFlow también dispone del resultado Grow from, que nos indica que nodos han sido llenados desde cada ataque. Como nosotros sólo tenemos un ataque no nos resulta de utilidad.

El siguiente resultado que nos proporciona el programa es la orientación en el núcleo y nos indica como están las moléculas orientadas en el núcleo de la pieza, mostrando la dirección de alineamiento principal media. Esta dirección es la del vector velocidad antes de que la capa central alcance la temperatura de transición. Este estudio es de vital importancia cuando usamos materiales de fibra, pero también es básico para conocer la contracción de la pieza, puesto que pese a que esta es mayor en la dirección del flujo, puede hacerse que lo sea mayor en la dirección en que están orientadas las moléculas si usamos materiales fibrosos. Nuestro material, el Hostaform C 27021, es cristalino y pese a que este resultado no tiene gran importancia se puede observar en las figuras 112 y 113.

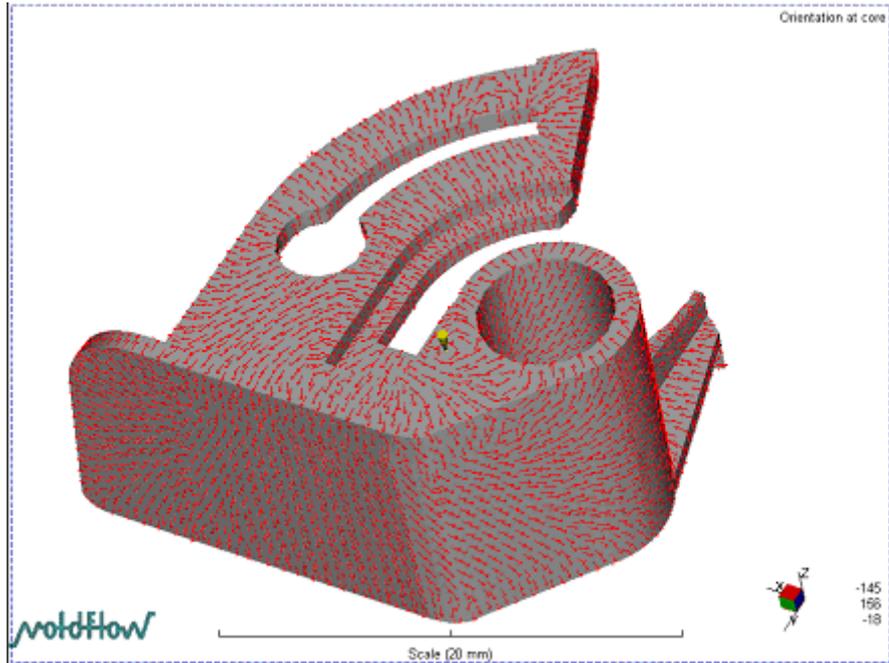


Figura 112 – *Perspectiva superior de la orientación de las fibras en el núcleo de la pieza*

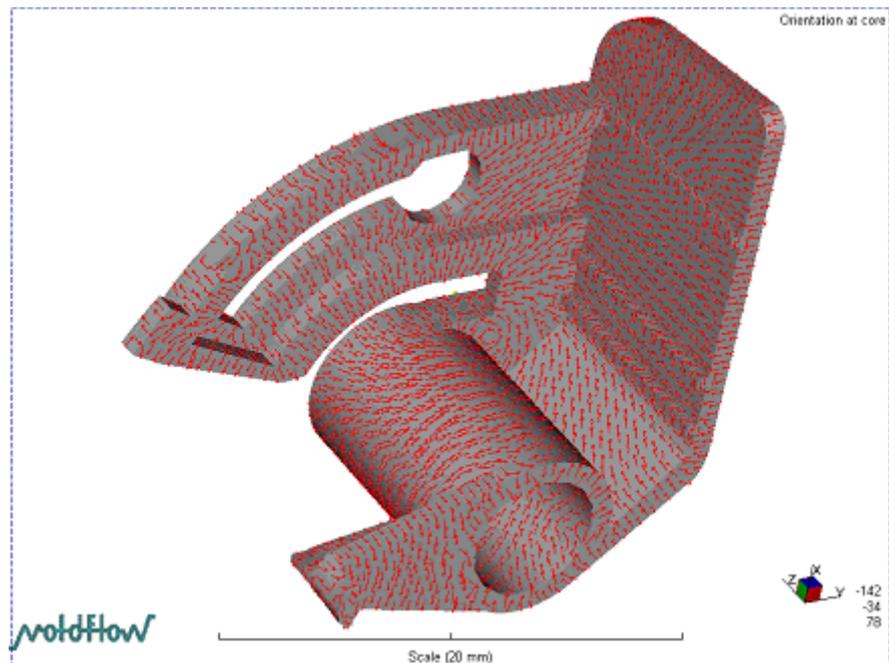


Figura 113 – *Perspectiva inferior de la orientación de las fibras en el núcleo de la pieza*

Y así como el anterior resultado muestra la orientación en el núcleo de la pieza también disponemos de la orientación en el exterior de la pieza. Esta orientación viene determinada por la dirección del vector velocidad cuando el frente de fusión entra en contacto por primera vez con el elemento. Esta orientación es útil para estimar las propiedades mecánicas de la pieza. Por poner

un ejemplo, la resistencia a los golpes es bastante mayor en la dirección de la orientación de estos vectores. Veanse las figuras 114 y 115.

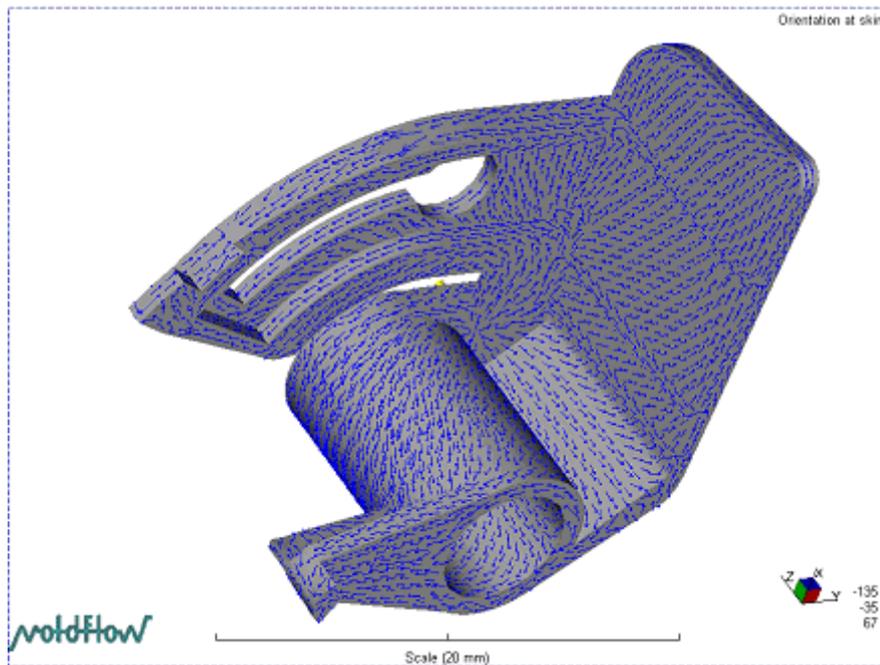


Figura 114 – *Perspectiva de la Orientación de las fibras en el exterior de la pieza*

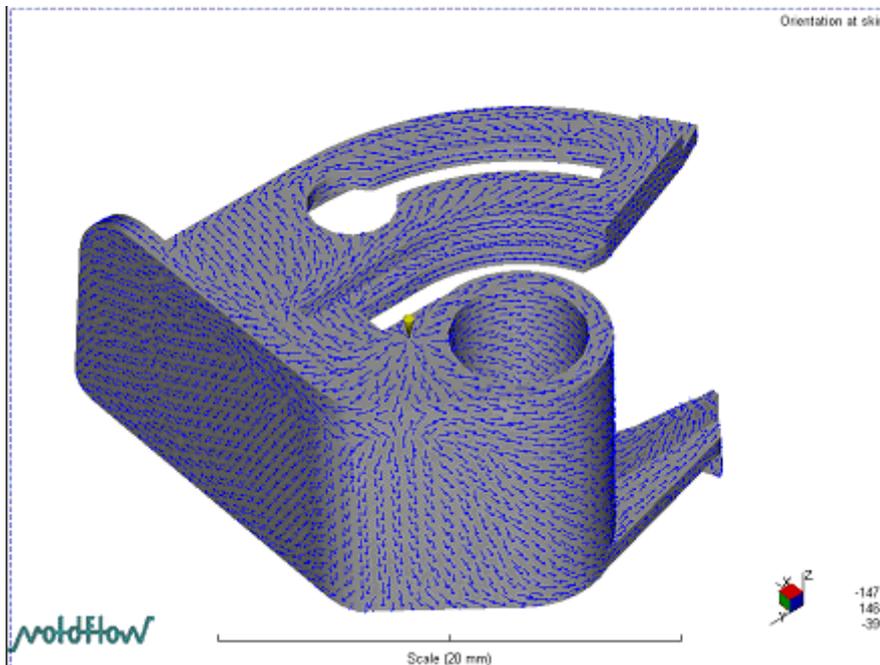


Figura 115 – *Perspectiva de la orientación de las fibras en el exterior de la pieza*

La distribución de presión en el camino del flujo dentro del molde al final del llenado viene representada en las figuras 116 y 117. La máxima presión en la

pieza está en torno a 5,2 MPa, inferior a los 70 MPa que se recomienda no sobrepasar.

La presión en una localización específica empieza a aumentar sólo después de que el frente de fusión llegue a esa posición. La presión continúa incrementando a lo que el frente pasa debido a la distancia entre el punto en concreto y el frente de fusión. La diferencia de presión de un sitio a otro es la fuerza que empuja el polímetro fundido a fluir durante el llenado. Así el polímetro se moverá de los puntos de alta presión a los de baja presión. Es por ello que los puntos de inyección poseen la máxima presión y el frente de fusión o flujo la mínima durante la fase del llenado. La magnitud de la presión depende de la resistencia del polímetro, ya que polímeros con alta viscosidad requieren de más presión para el llenado de la cavidad.

Se deben de evitar las variaciones en la distribución de presión grandes durante la fase de llenado. Y en la fase de empaquetamiento también se debe de evitar porque afectan a la contracción volumétrica.

En el caso del obturador no encontramos ningún problema, puesto que las transiciones son muy suaves y no existen cambios de presión bruscos entre zonas contiguas de la pieza.

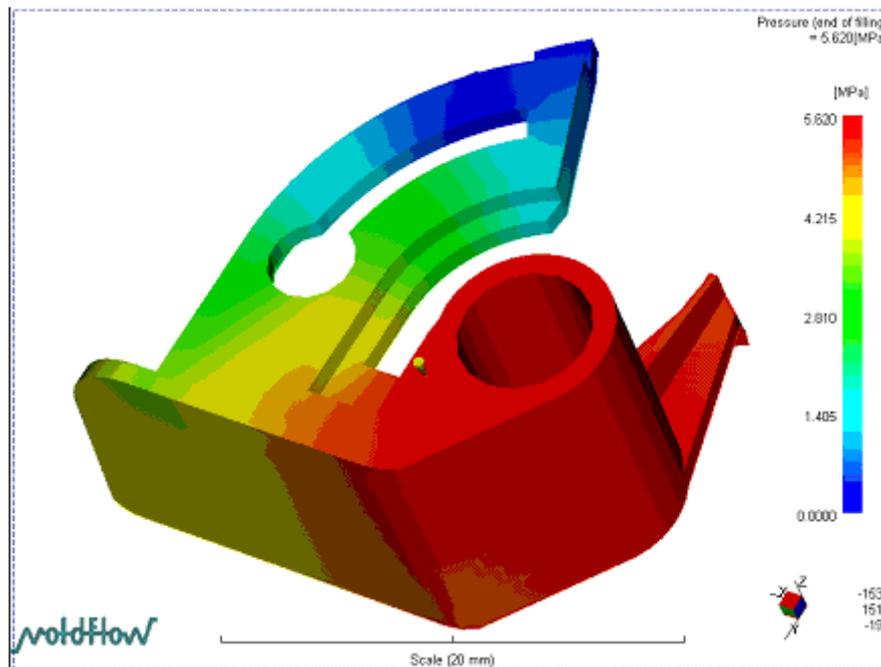


Figura 116 – *Perspectiva superior de la presión en el camino del flujo en el interior de la pieza al final de la inyección*

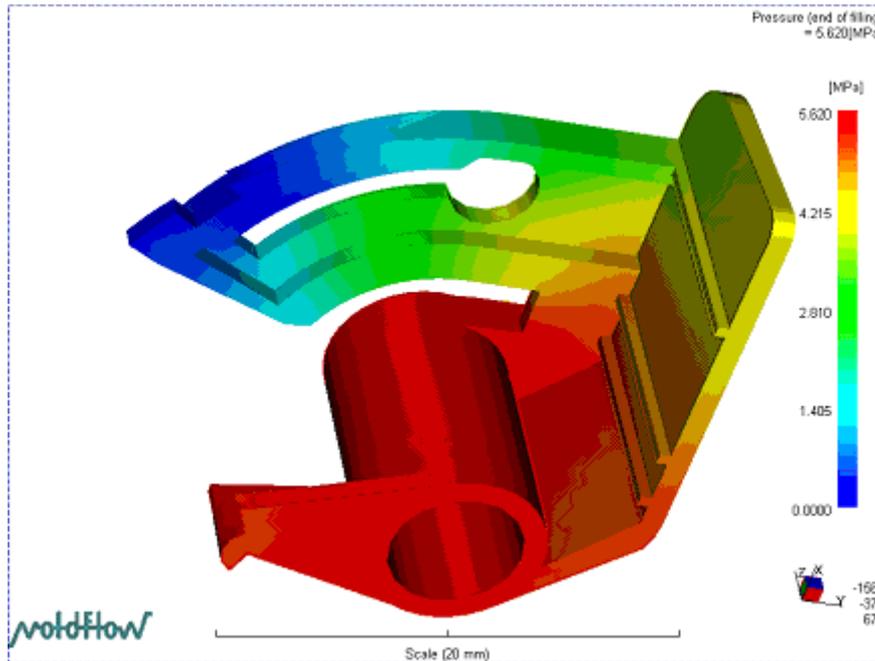


Figura 117 – *Perspectiva inferior de la presión en el camino del flujo en el interior de la pieza al final de la inyección*

La tensión de cortadura en la interfase sólido/fundido en el momento final del llenado está representada en las figuras 118 y 119. Pese a que no se trata de la tensión residual de la pieza, está relacionada. Es una medida de los factores que tienen efecto en el grado de orientación del material fundido contiguo a la capa enfriada. Los materiales orientados tienen a contraerse más que los no orientados, por lo que una gran cantidad de orientación junto al borde de la fusión comparándolo con cerca del centro provocará mayor tensión residual y esto a su vez podría desembocar en la rotura de la pieza durante la expulsión o su uso.

Este resultado indica la fuerza en la interfase sólido-líquido por unidad de área y es proporcional al gradiente de presión en cada punto. Si el polímero fundido es líquido, la interfase está en la pared del molde.

El máximo valor de la tensión de cortadura debe de estar por debajo del recomendado para el material que se use. Nosotros no tenemos ningún problema porque la tensión de corte toma su mayor valor para 0,19 MPa, muy lejos del límite del POM de 619 MPa. Si se quiere reducir la tensión en alguna zona se puede aumentar el espesor. Velocidades de inyección bajas pueden disminuir la temperatura, lo que incrementa la viscosidad, lo que a su vez aumenta la tensión de corte. Otra alternativa para disminuir la tensión de cortadura sería cambiar de material a uno menos viscoso.

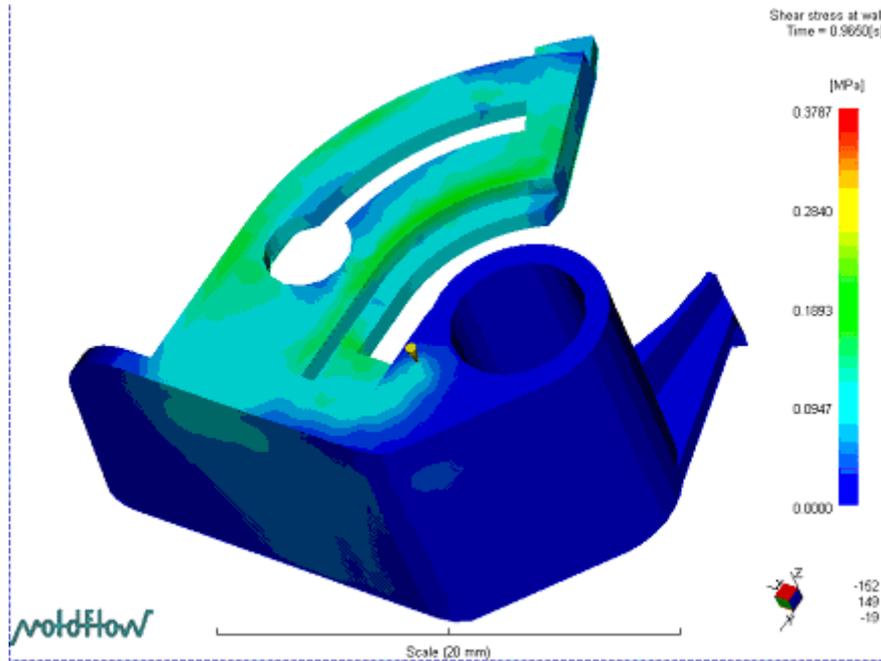


Figura 118 – *Perspectiva superior de la tensión de cortadura al final de la inyección*

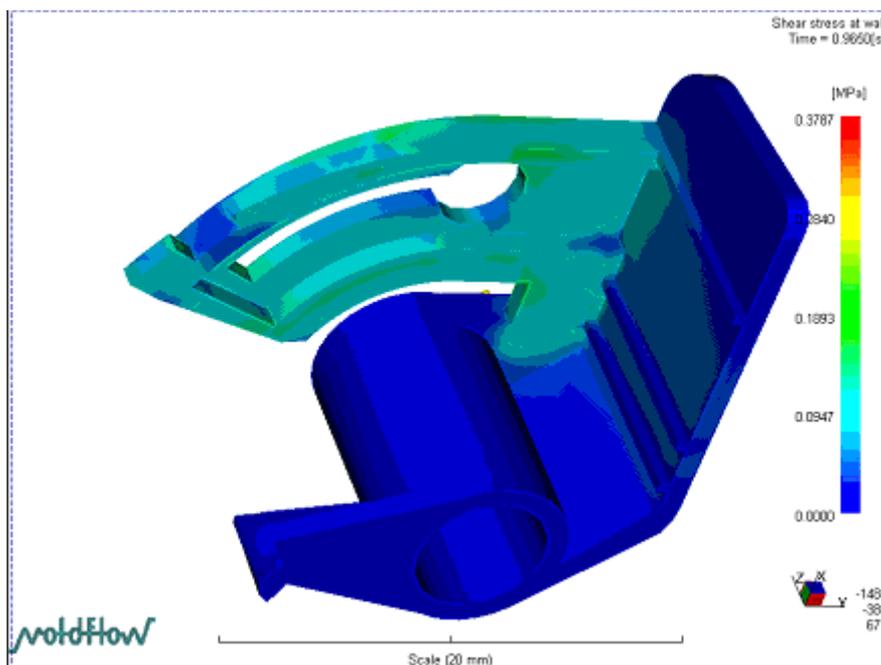


Figura 119 – *Perspectiva inferior de la tensión de cortadura al final de la inyección*

Unos elementos que suelen ser muy problemáticos son las líneas de unión. Las figuras 120 y 121 nos indican donde es probable que surjan en el obturador. Estas se forman en zonas donde convergen dos frentes de flujo, y su presencia podría conllevar debilidad estructural o la aparición de marcas en la superficie de la pieza.

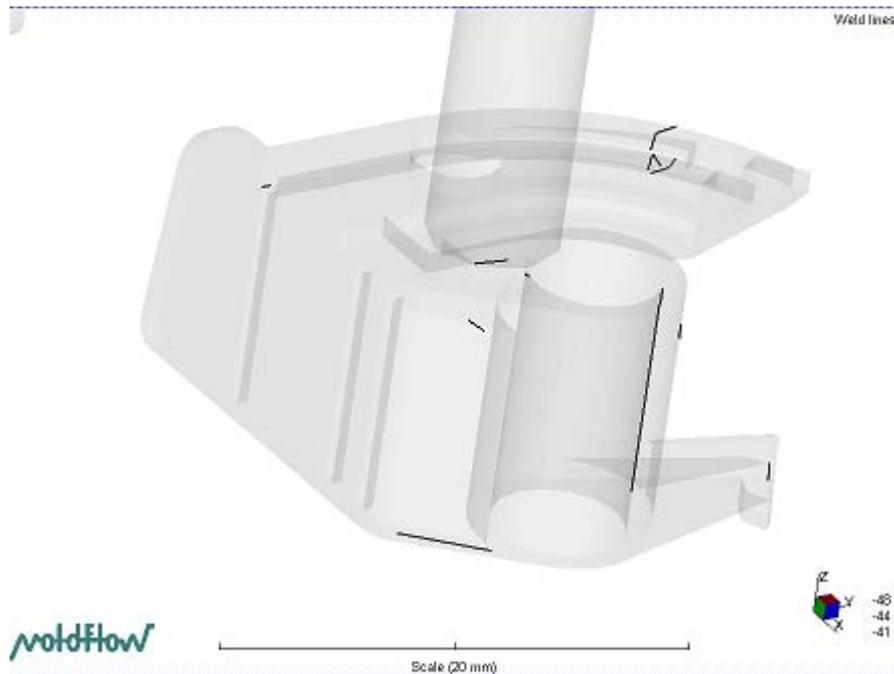


Figura 120 – *Perspectiva superior de las líneas de unión*

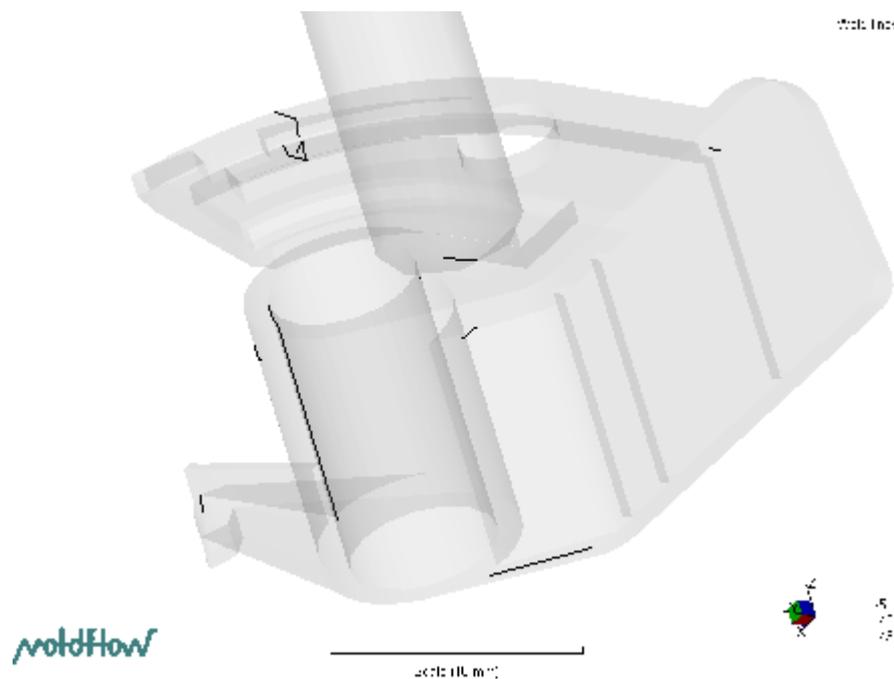


Figura 121 – *Perspectiva inferior de las líneas de unión*

De todas formas muchas veces es inevitable la aparición de estos elementos, por lo que existen diferentes alternativas. Es aconsejable moverlas a zonas donde la tensión sea lo más baja para que no provoquen fracturas cambiando el punto de inyección de posición. Así evitaremos problemas estructurales. En lo que se refiere al aspecto visual, si movemos la línea de unión a, por ejemplo, la parte de debajo de la pieza, se podría solventar el problema.



A parte de mover el punto de inyección también se puede aumentar el espesor de pared, aumentar o disminuir el punto de inyección de tamaño. En lo que atañe a la calidad de las líneas de unión se puede mover los puntos de inyección para que el frente de flujo se una más oblicuamente, se puede aumentar la velocidad de inyección, su presión o la presión de empaquetamiento. Otra solución consiste en colocar un viento en la zona crítica para eliminar el aire atrapado y evitar que debilite posteriormente la línea de unión.

IV.2.4- Análisis de flujo

Después de realizar el análisis de llenado, el siguiente análisis que realizamos es el análisis de flujo. A partir de él, obtenemos otra serie de resultados que nos resultan de gran utilidad para ver el comportamiento que diferentes factores tienen sobre nuestro molde y pieza.

El primer resultado que obtenemos es uno de los que mayor importancia tienen en el diseño de moldes. Se trata de la contracción volumétrica, y se mide en tanto por ciento con respecto del volumen inicial. Es de vital importancia, puesto que a la hora de diseñar la cavidad hay que dimensionarla de tal forma que las dimensiones de la pieza que queremos sean las de la pieza ya contraída, de lo contrario, obtendremos una pieza más pequeña de lo que queremos.

Lo ideal es que la contracción sea uniforme a lo largo de la pieza para evitar combamientos y además debe de ser inferior al límite recomendado para el material, puesto que de lo contrario pondríamos en juego la consistencia de la pieza.

Vemos en las figuras 122 y 123 que las zonas con mayor contracción tienen una contracción de entorno al 8 %. El resto de la pieza son zonas que tienen una contracción de entorno al 5 %. Hay que reseñar que estos resultados son los resultados en el momento de expulsión de la pieza.

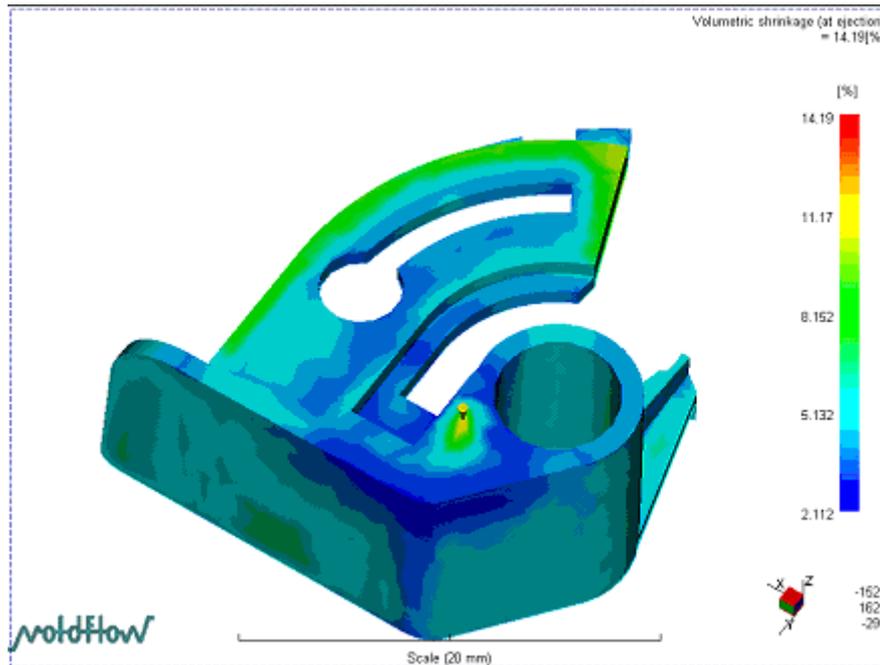


Figura 122 – *Perspectiva superior de la contracción volumétrica en la expulsión*

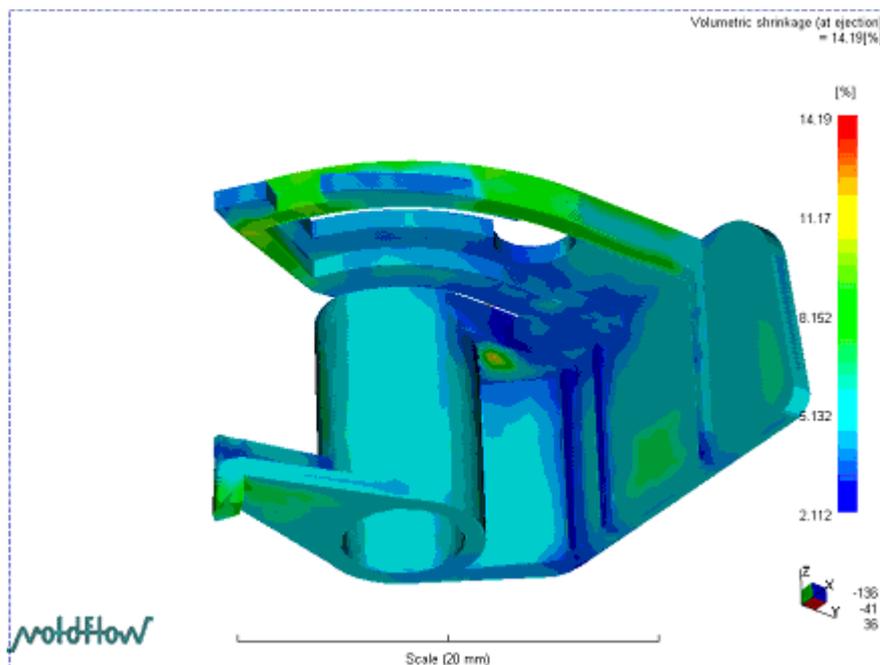


Figura 123 – *Perspectiva inferior de la contracción volumétrica en la expulsión*

El resultado siguiente, visible en la figura 124, sirve de orientación a la hora de diseñar el cierre del molde. Se trata de la situación del centroide de la fuerza de cierre. Es el valor resultante de la distribución de presión sobre la pieza entera.

La fuerza de cierre es función de la inyección de presión y el área proyectada de la pieza en el plano XY. De cara a elegir la máquina, tenemos que

tener en cuenta que el tonelaje que se aplique en el cierre no sea superior al 80 % del límite de ésta por seguridad.

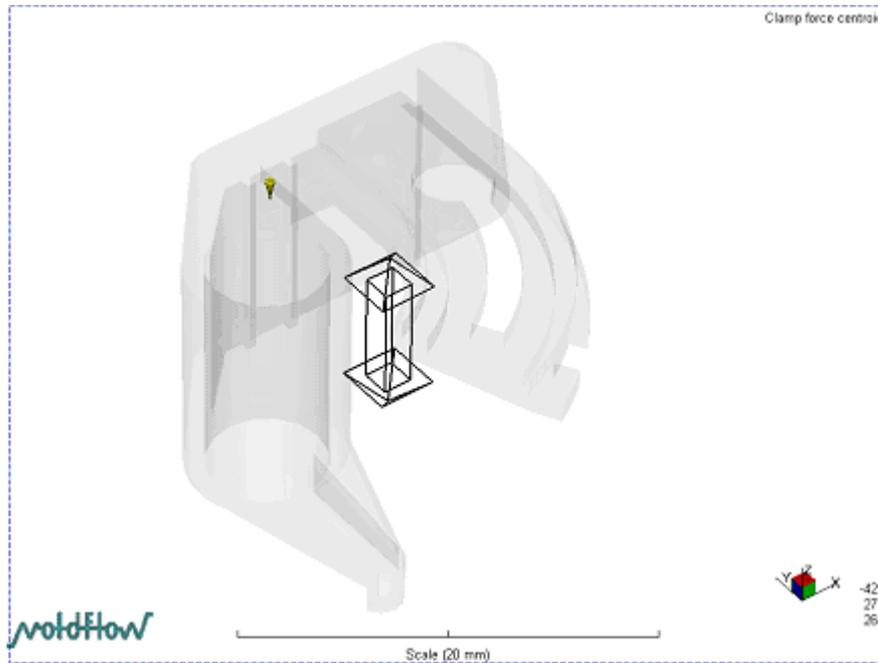


Figura 124 – Localización del centroide de la fuerza de cierre

Otro factor a tener en cuenta en el moldeo por inyección es la tensión residual que queda en el material una vez se ha expulsado la pieza. En las figuras 125 y 126 podemos observar que pese a que a primera vista parece que es mucha la diferencia de tensión entre unas zonas y otras de la pieza en realidad todas son bastante parecidas. Se mueven en un rango de entre 55 y 58 MPa. Lo que se puede hacer para minimizar la tensión residual es intentar que la refrigeración sea uniforme. De lo contrario, esta tensión puede ser la causante de fallos prematuros de la pieza o de pandeo y distorsión.

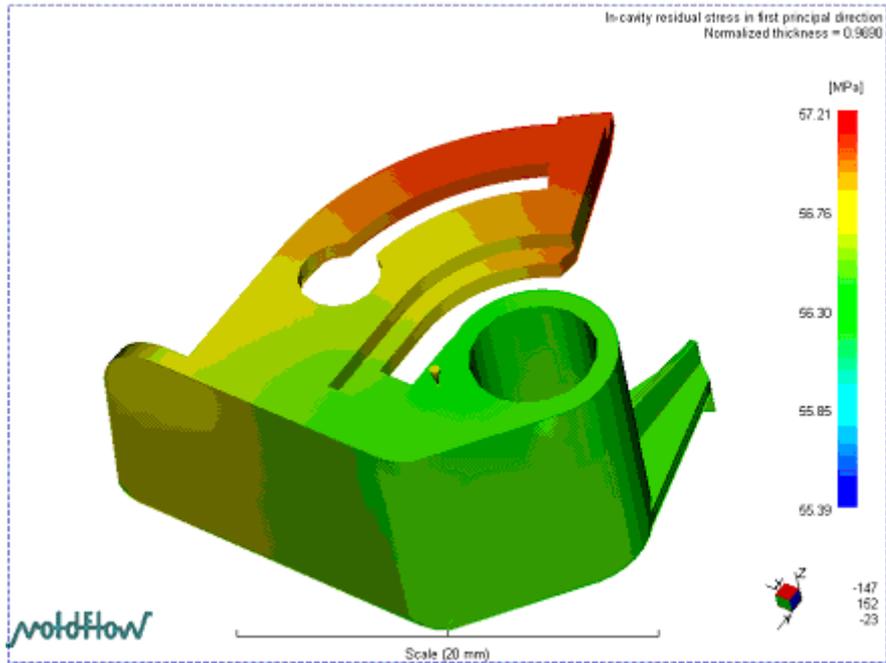


Figura 125 – *Perspectiva superior de la tensión residual que queda en el material*

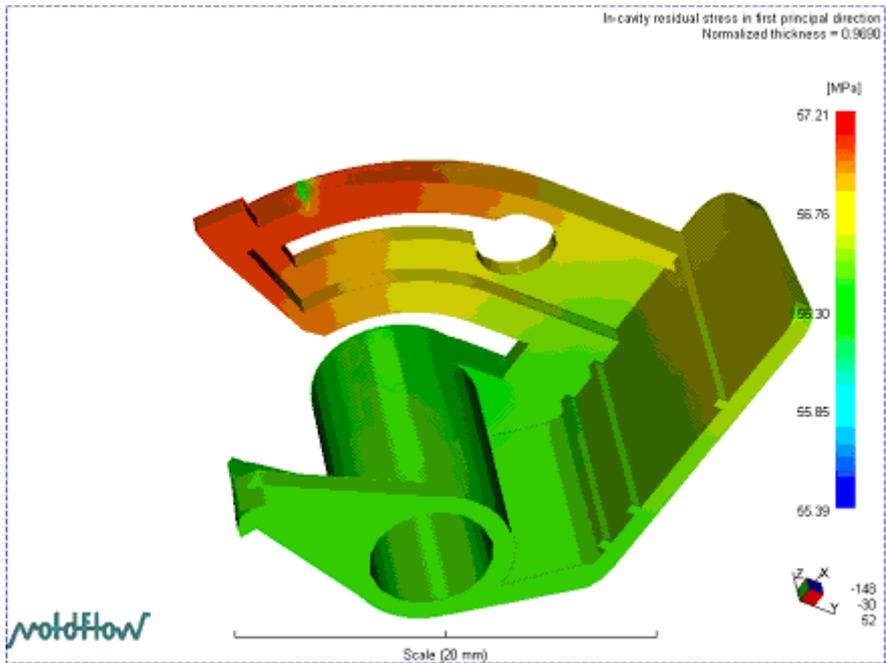


Figura 126 – *Perspectiva inferior de la tensión residual que queda en el material*

Otra de las características propias del proceso de moldeo es el rechupe, que son depresiones en la superficie de la pieza. Normalmente son muy pequeñas, pero resultan muy visibles al incidir la luz. Mediante este resultado podemos ver que zonas son más propensas a que surjan defectos superficiales debido a que el núcleo esté caliente. Se calcula para cada elemento en el instante cuando la presión local ha decaído a cero durante la fase de empaquetamiento y refleja



cuanto material esta todavía fundido y queda sin empaquetar. Valores altos de rechupe tienen más potencial de causa de fallos pero siempre depende de las características geométricas.

Vemos en las figuras 127 y 128 que nuestra figura apenas tiene rechupe, puesto que en la mayoría de la pieza no existe y solo en algunas zonas tiene 0,734, lo cual es insignificante

En el caso de que tuviésemos valores altos se existen varias opciones para eliminar estas marcas. Se puede alterar el diseño de la pieza para evitar secciones gruesas y reducir el espesor de las extrusiones. Otra idea es aumentar el tiempo de empaquetamiento o la presión. También se puede disminuir la temperatura del molde o utilizar un material con viscosidad menor.

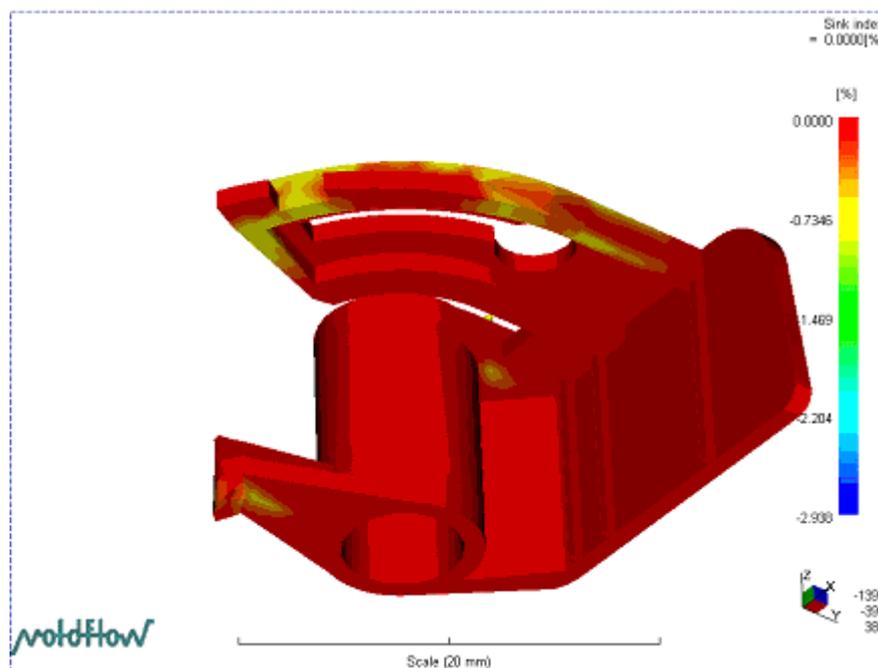


Figura 127 – Perspectiva inferior del rechupe en la pieza

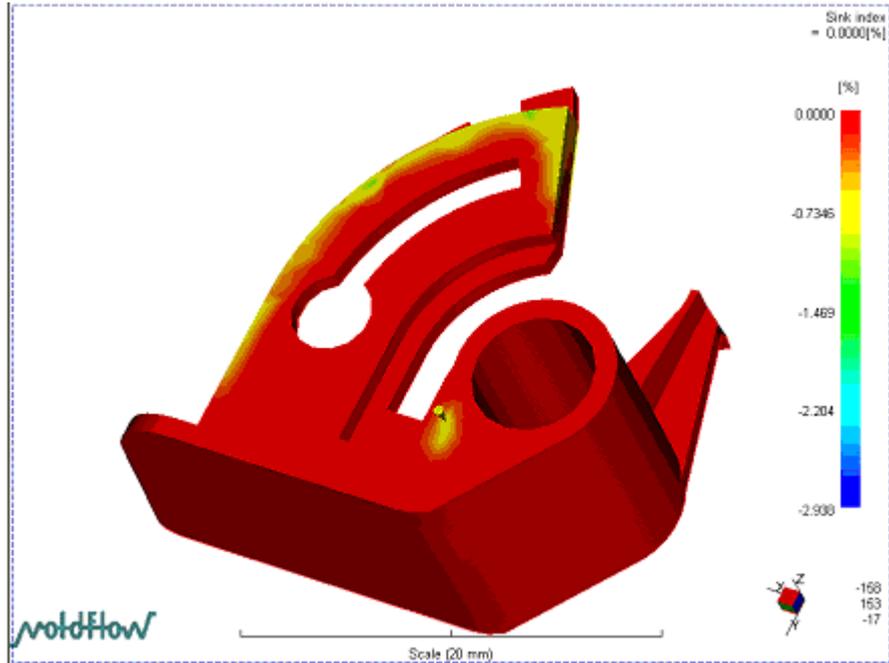


Figura 128 – Perspectiva superior del rechupe en la pieza

IV.2.5- Análisis de flexión

Otra opción de análisis de la que disponemos en MoldFlow es el combamiento o flexión. Así podemos deducir como se comporta la pieza en lo que a propiedades mecánicas se refiere.

Uno de los resultados que obtenemos mediante este análisis es la deflexión de la pieza. Las figuras 129 y 130 nos muestran la deformación total (sumada la de los ejes X, Y y Z) prevista de la pieza. En nuestro caso la deformación no resulta muy significativa, del orden de 0,34 mm en los puntos más alejados en las extremidades, pero en un caso en el que tuviésemos problemas habría que tomar medidas específicas para que lo que la provoca (diferencias de contracción o enfriamiento normalmente) sea reducido.

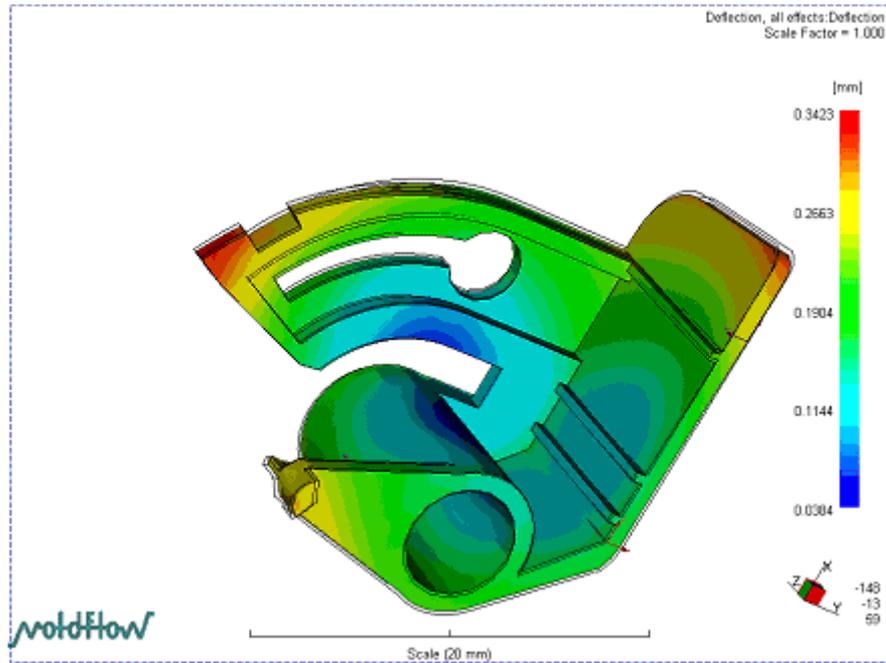


Figura 129 – *Perspectiva inferior de la deflexión de la pieza*

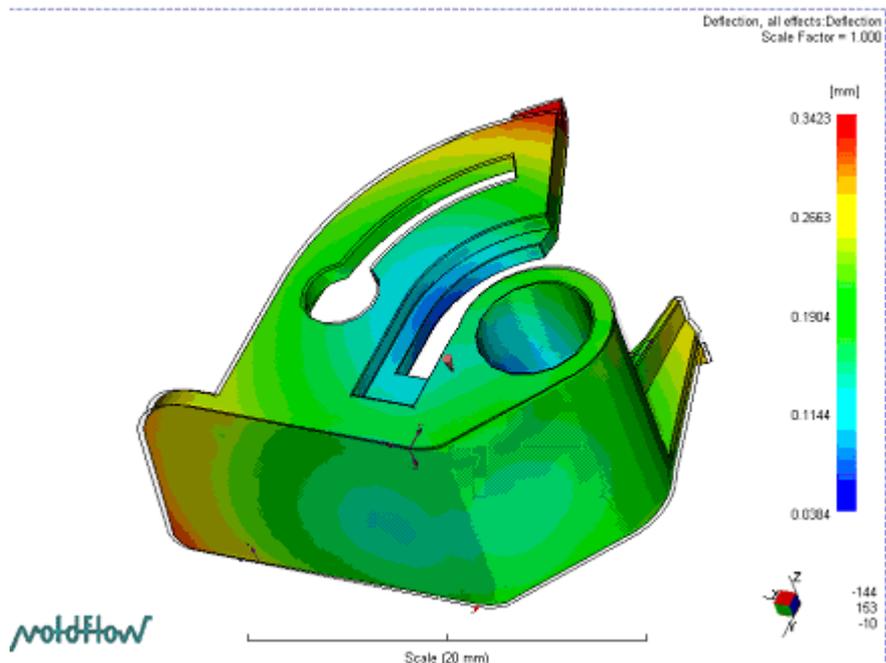


Figura 130 – *Perspectiva superior de la deflexión de la pieza*

IV.2.6- Análisis de los sistemas de alimentación y refrigeración

Una vez que ya hemos analizado la cavidad el siguiente paso consiste en diseñar el sistema de alimentación y el sistema de refrigeración del molde para analizar también el proceso de llenado en lo que a ellos respecta.

El sistema de alimentación de nuestra cavidad es de canal caliente porque nos da ciclos de inyección más cortos. Los canales son de sección circular al ser la que mejor distribución de presiones produce. Su diámetro lo fijamos en 10 mm. La temperatura exterior del canal la fijamos en la temperatura de fusión. Y por último, seleccionamos como material del la cavidad un acero denominado “Tool Steel P-20” comúnmente usado para moldes y cuyas características son las siguientes:

- Densidad: 7800 kg / m³
- Calor específico: 460 J / kg °C
- Conductividad térmica: 29 W/ m °C
- Modulo elástico: 200000 MPa
- Coeficiente de Poisson: 0,33
- Coeficiente de expansión térmica: 1,2 °C⁻¹

En cuanto a la geometría del sistema de alimentación, lo hemos diseñado con el principio de que los ataques queden alineados, de tal forma que se realiza un llenado simultaneo en todas las cavidades para que no haya diferencias entre unas cavidades y otras al tener más recorrido de canal algunas. De lo contrario se darían diferencias, por poner un ejemplo, en el tiempo de empaquetamiento, y obtendríamos piezas del mismo molde con características diferentes. Podemos verlo en las figuras 131 y 132.

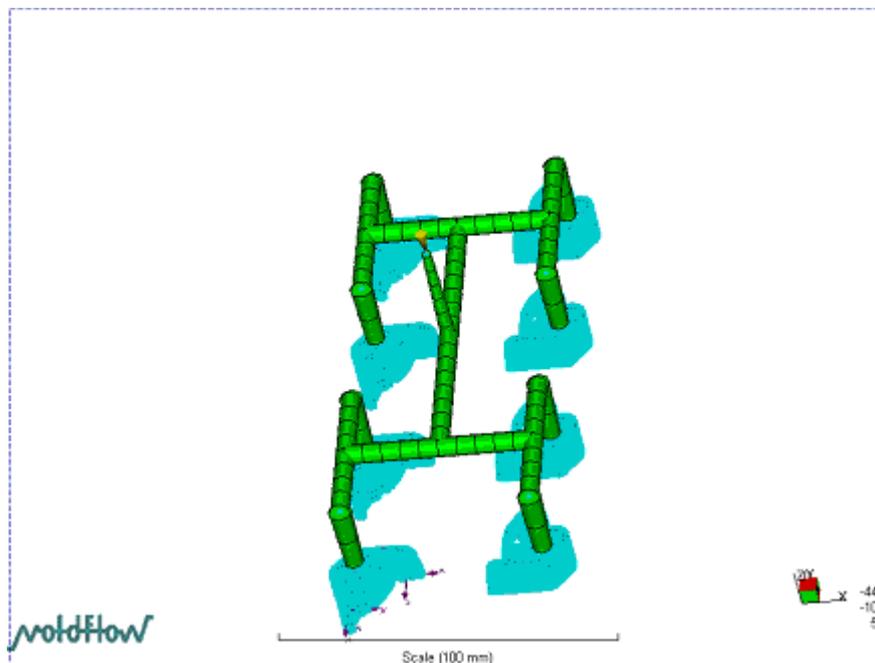


Figura 131 – Sistema de alimentación con la misma distancia de recorrido para todas las cavidades

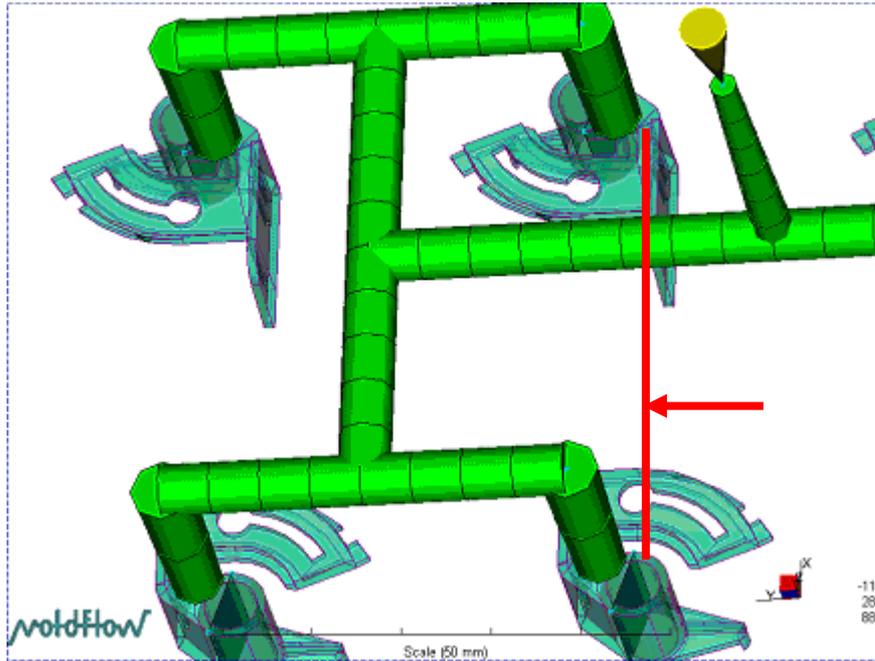


Figura 132 – Los ataques están alineados en el sistema de alimentación

Otro paso que viene a continuación es diseñar el sistema de refrigeración. Para ello, hay que tener en cuenta que como ya se ha indicado en un apartado anterior, se debe de mantener una distancia de seguridad desde los taladros hasta la cavidad de al menos dos veces y media el diámetro de los taladros.

La sección de los taladros será circular, al igual que la del sistema de alimentación para que se distribuyan las presiones de igual manera. Al tener un diámetro de 10 mm, como ya hemos comentado, la distancia que hay que guardar con respecto a las cavidades es de 25 mm. La rugosidad interior de canal la tomamos como 0,05 mm, valor que utilizaremos para calcular el número de Reynolds. El material que rodea a los taladros, el de la placa B, es el “Tool Steel A-10”, un material que posee una conductividad térmica superior a la del “Tool Steel P-20”. Sus características son las siguientes:

- Densidad: 7860 kg/m^3
- Calor específico: $473 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$
- Conductividad térmica: $75,5 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$
- Módulo elástico: 200000 MPa
- Coeficiente de Poisson: 0,33
- Coeficiente de expansión térmica: $1,1 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

En la figuras 133 podemos ver como se distribuye el polímero por los canales de alimentación hasta llegar a las cavidades. Realmente no se trata de un cálculo complicado, puesto que el sistema de alimentación está compuesto de bifurcaciones en las que el caudal se divide en dos y el diámetro se mantiene

constante. Hay que señalar que está calculado con la velocidad media del polímero en cada sección.

Realmente este resultado sería mucho más útil si dispusiésemos de un sistema de alimentación con varios ataques, en el que los cálculos no serían tan sencillos.

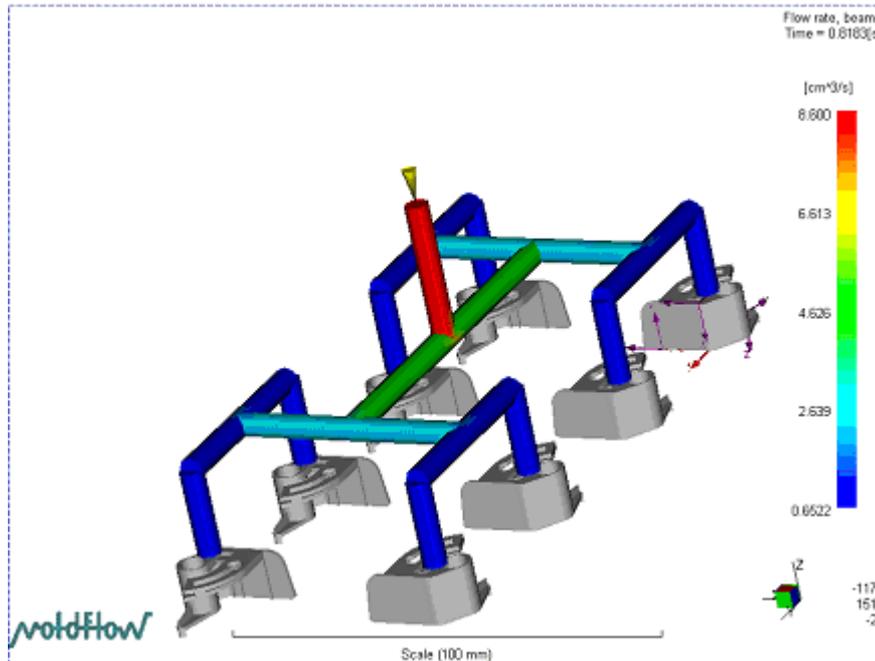


Figura 133 – Distribución del caudal de polímero en el sistema de alimentación

Otro resultado del que disponemos es la distribución de presiones. En este caso, hemos escogido tres figuras, la 134, 135 y 136 en tres instantes diferentes para observar la evolución de la presión en el proceso de inyección. Se corresponden a los instantes 0,18 segundos, 0,91 segundos y una vez finalizado el llenado, a los 0,96 segundos. Podemos ver que la presión en el frente de flujo, esté donde esté, es nula. Otro aspecto a reseñar es que la presión en el sistema de alimentación va aumentando conforme se produce el llenado, fruto de que cada vez hay que empujar más material hacia la cavidad.

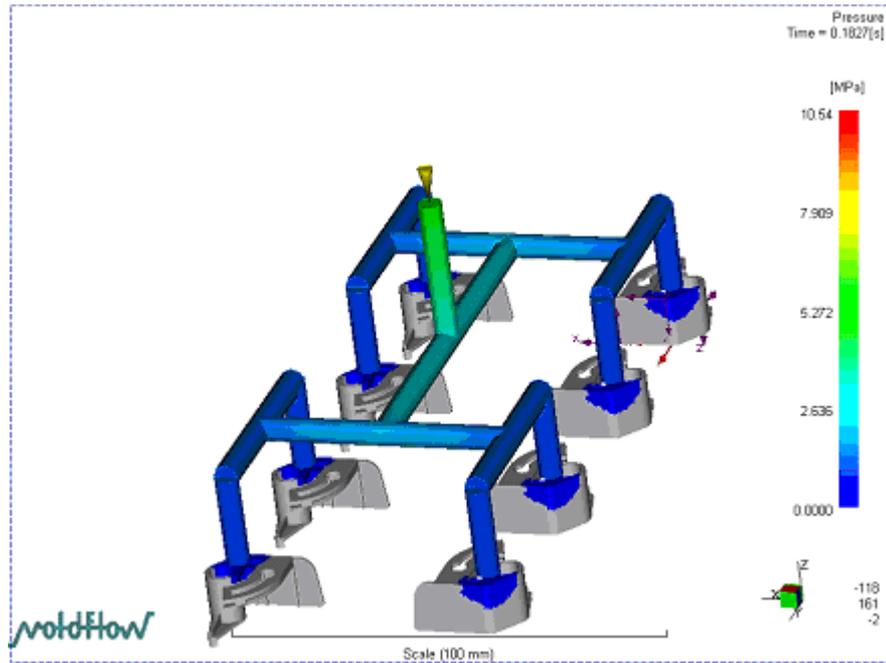


Figura 134 - Presión en el instante 0,18 segundos del llenado

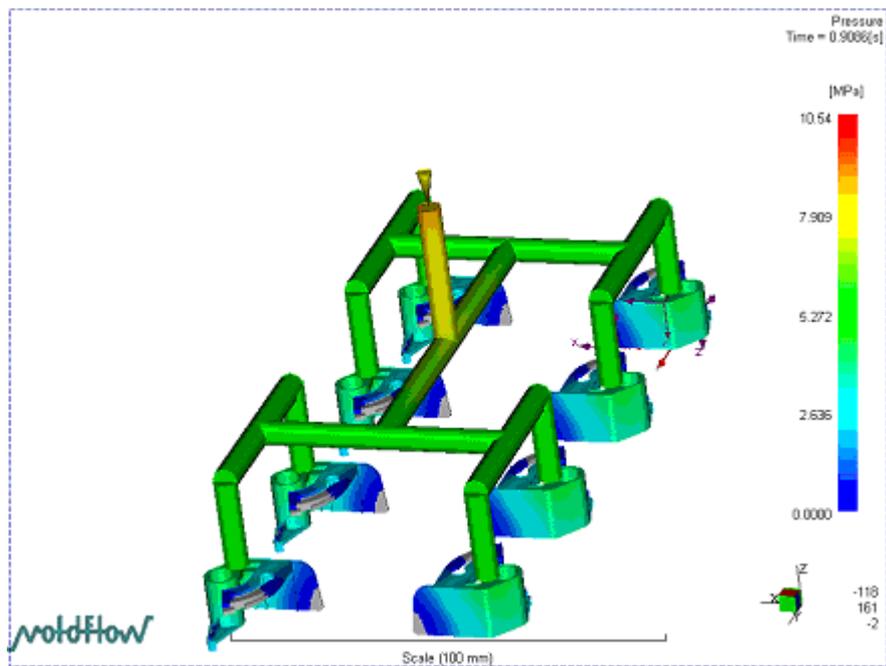


Figura 135 - Presión en el instante 0,91 segundos del llenado



Figura 136 - Presión en el instante final del llenado

En cuanto a la geometría del sistema de refrigeración, se ha dispuesto de manera que rodea exteriormente a todas las cavidades a dos alturas paralelas en forma de U pero inversamente con un diámetro de 10 mm. Uno de los factores que tenemos que indicar también es por que parte del taladro entra el agua y por que lado sale. Nosotros hemos hecho que entre por un lado en el taladro superior y en el taladro inferior entre por el contrario. La razón de esto es que si pusiésemos las entradas en el mismo lado, el agua se calentaría conforme avanza y se crearía un desequilibrio entre los dos lados. Nuestro sistema esta reflejado en las figuras 137 y 138.

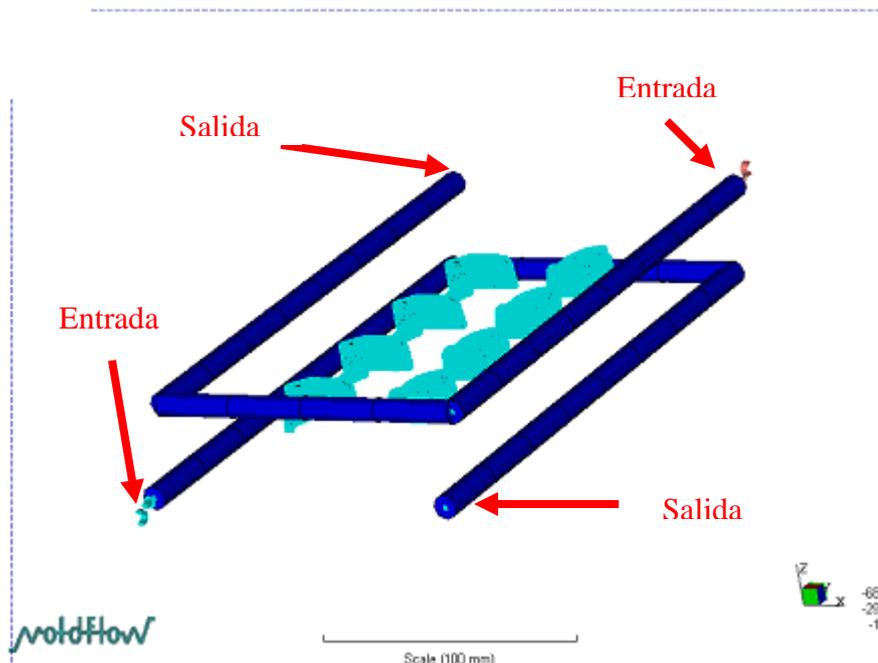


Figura 137 – Circuito de refrigeración

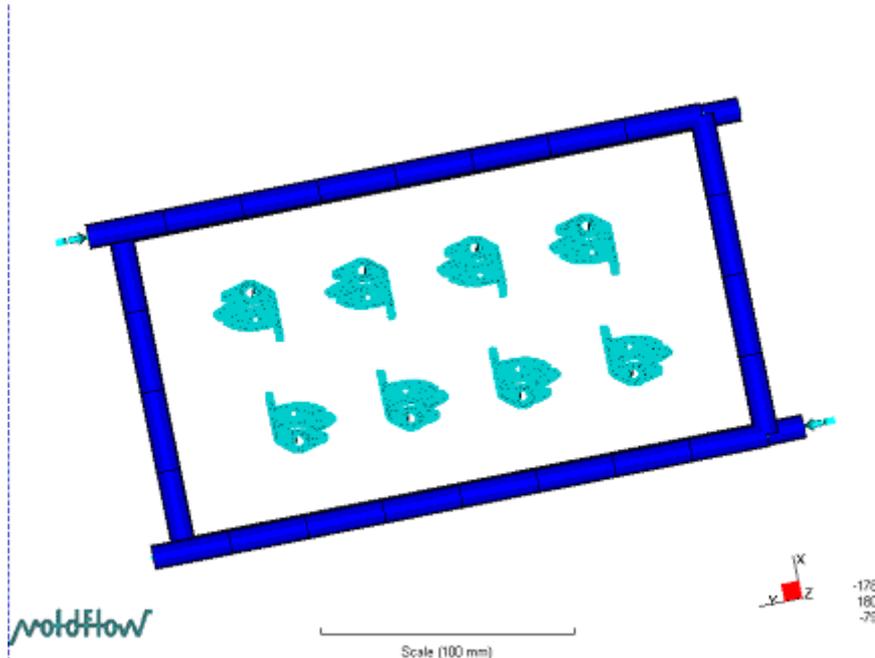


Figura 138 - Planta del circuito de refrigeración

Ahora realizamos un análisis de la temperatura del agua del circuito de refrigeración. Según se ha comentado en un apartado anterior, el agua entrante no debe de sufrir un gran salto de temperatura entre la entrada y la salida, pues esto significaría que no se puede expulsar todo el calor que se produce en el molde. Como vemos en los resultados de las figuras 139 y 140, el salto de temperatura entre la salida y la entrada de los dos taladros no es ni siquiera de un grado y el límite son 5,5 °C. Introducimos el agua a una temperatura de 25 °C (temperatura ambiente) y sale a 25,97 °C en el taladro con más temperatura. Podemos ver que pese a que recorren la misma distancia y a la misma distancia de la cavidad, el taladro superior alcanza temperaturas ligeramente más altas al estar “abrazando” el sistema de alimentación, que desprende calor.

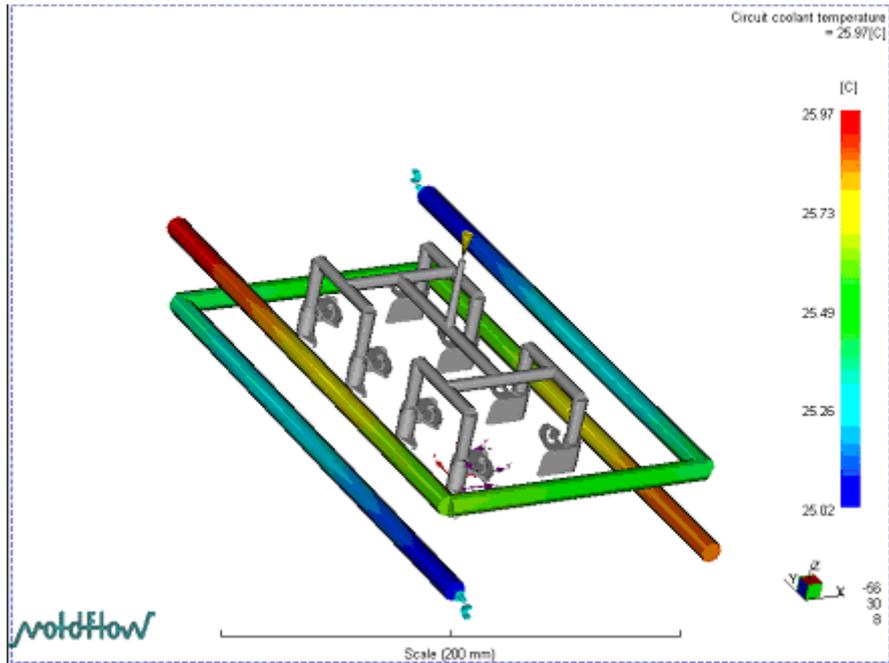


Figura 139 – Perfil de temperaturas de los taladros de refrigeración

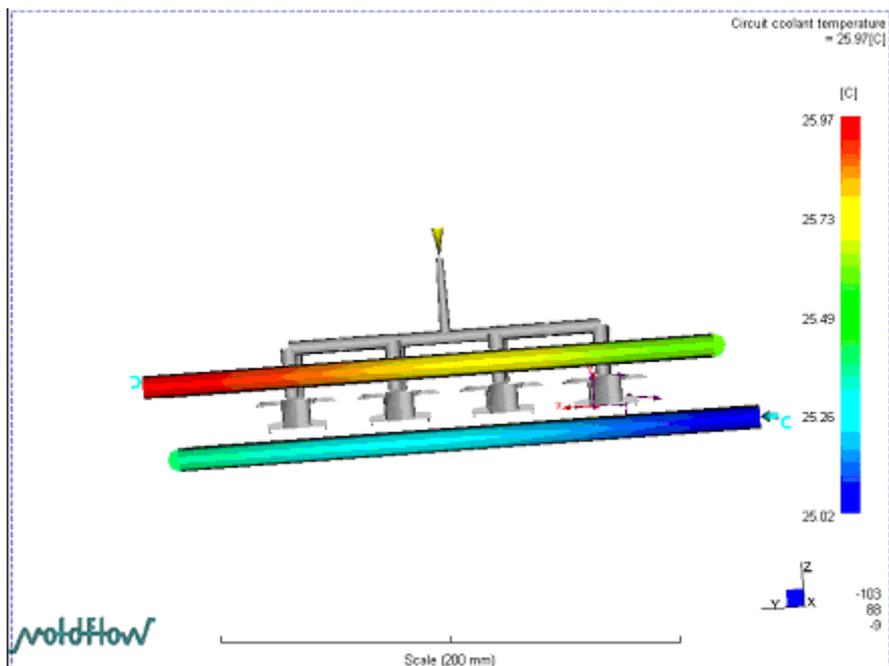


Figura 140 – Alzado del perfil de temperaturas de los taladros de refrigeración

En el caso de que el salto de temperaturas fuese inaceptable deberíamos de considerar colocar más taladros o de mayor diámetro así como considerar otros métodos de refrigeración, de tal forma que se lograra eliminar mayor cantidad de calor del molde.

El programa también nos proporciona resultados como el número de Reynolds, que nos indica que tiene un valor de 5000 en todo el circuito, resultado que coincide con los resultados teóricos que hemos obtenido anteriormente.



Otro de los resultados que obtenemos es la temperatura del metal del circuito de refrigeración. Este se obtiene de calcular la media de su temperatura durante todo el ciclo.

Lo ideal es que esté distribuida equilibradamente, pero siempre se incrementará la temperatura en aquellas zonas donde el circuito se aproxima más a las piezas. De hecho en nuestra pieza, como se puede ver en las figuras 141 y 142 vemos que existen ciertos desequilibrios, siendo especialmente llamativo el de una esquina inferior, pero estos, como ya se ha comentado, están relacionados con la proximidad a las piezas y además hay que tener en cuenta que están orientadas de diferente forma, por lo que el calor que reciba el metal del circuito de refrigeración también dependerá de ello. En cualquier caso no debemos preocuparnos por todo esto, ya que la temperatura más alta que se alcanza es 35,26 °C.

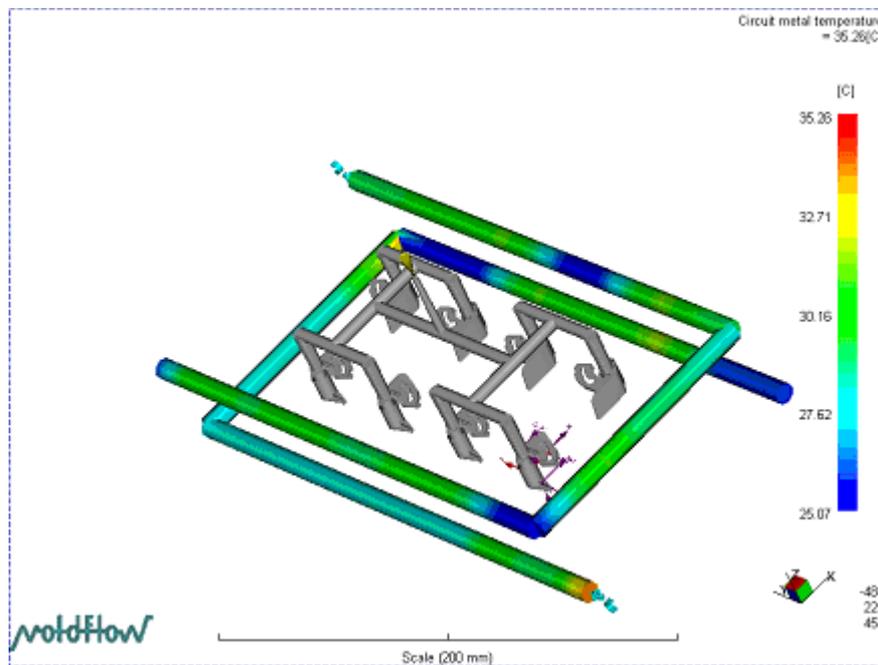


Figura 141 – *Perspectiva de la temperatura del metal del circuito*

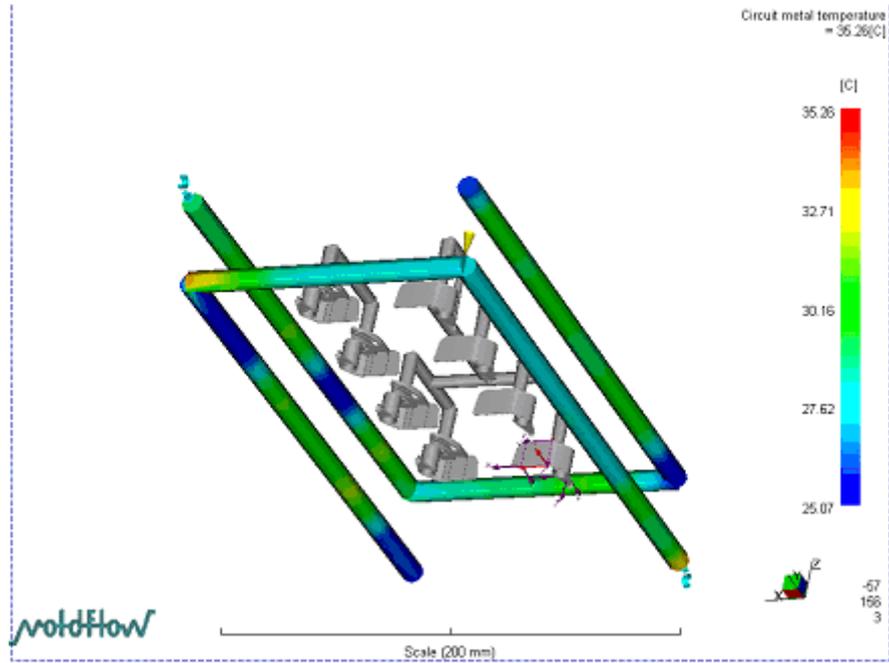


Figura 142 – *Perspectiva inversa de la temperatura del circuito de refrigeración*



V.- Resumen y conclusiones finales



V.- Resumen y conclusiones finales

En el presente Proyecto Fin de Carrera se ha llevado a cabo el diseño de un molde de inyección para la fabricación de una pieza de plástico.

Para comenzar con el proyecto primero se ha procedido a seleccionar la pieza para la cual queremos fabricar el molde. Para este proyecto se ha seleccionado un obturador, pieza componente de las cámaras de fotos y con una geometría de gran complejidad.

En base a los requerimientos que se le exigen a un obturador tales como aislante eléctrico o poco desgaste se ha seleccionado un material de entre la amplia oferta del mercado: el Polioxido estándar de Metileno, cuya abreviatura es POM.

Acto seguido se ha calculado según una producción anual supuesta cuantas cavidades debe de tener el molde para poder alcanzar esa cota sin problemas. Así, el molde dispondrá de 8 cavidades.

Otra decisión que se ha tomado en el diseño es que dentro de los diferentes sistemas de alimentación existentes el molde de inyección sea de canal caliente al obtener así ciclos de producción más cortos y además ahorrar el material que se desperdicia utilizando otros sistemas.

También se ha colocado en ataque a la pieza en un punto estratégico para un llenado óptimo. Para ello se ha contado con la ayuda del programa de simulación por elementos finitos Moldflow. Se trata de un paso crítico para todo el proceso puesto que de él dependen muchos problemas que puedan surgir.

Acto seguido se ha analizado la situación de los vientos en la cavidad de cara a expulsar el aire atrapado y los gases en el proceso de inyección. Según el cálculo realizado eran 12 los vientos necesarios a colocar estratégicamente por el perímetro de la cavidad. Para su localización se ha tomado en cuenta el resultado de Moldflow que indica que lugares de la pieza son más propicios a que se queden atrapados gases.

En cuanto al sistema de refrigeración se han dispuesto dos taladros en forma de U que rodean las 8 cavidades para que la refrigeración sea lo más uniforme posible para todas las piezas de la misma tirada. Una vez más se ha analizado con el programa Moldflow diferentes aspectos de la refrigeración para que no existan problemas con la geometría elegida. Referente a la refrigeración, también se ha seleccionado la unidad de control de temperatura de entre las que existen en el mercado actualmente: Sentra.

Asimismo, se han definido geométricamente los elementos de alineación y el sistema de expulsión de nuestro molde con sus diferentes elementos tales como pernos de expulsión o el acople de la boquilla de la máquina al bebedero.

Como uno de los últimos pasos de diseño se han especificado los métodos de fabricación por los que cada elemento del molde deberá de ser fabricado para que los



acabados de las piezas sean los deseados. Definiendo también los materiales en los que cada parte del molde se fabrica queda asegurado que no se produzca un desgaste excesivo en los elementos móviles y la robustez del molde en general.

Para finalizar el diseño se ha seleccionado en base a los requerimientos de fuerza de inyección un equipo de inyección del mercado. Entre las diferentes opciones del mercado hemos elegido la máquina de inyección CanBio V90 de la marca Negro Bossi.

Además, se ha procedido a ver los problemas más comunes que aparecen en los moldes de inyección de plásticos así como sus soluciones más comunes.

Otro apartado de este proyecto ha sido el unido al proceso de simulación con el programa de elementos finitos Moldflow.

Se ha comenzado por el modelado de la pieza que se pretende fabricar, es decir, por el modelado del obturador. Se trata de un proceso largo y costoso en el que se da forma a la pieza que se quiere fabricar mediante la creación de superficies mediante líneas y puntos distribuidos en el espacio.

Una vez hemos conseguido esto es hora de analizar la pieza al introducir parámetros al programa que caracterizan el proceso como pueden ser la temperatura del molde o el material de la pieza.

Así se obtienen resultados de la localización del ataque como ya antes se ha mencionado. Otros resultados que se obtienen del análisis de llenado son el tiempo de llenado, que en nuestro caso son 0,965 segundos, la presión máxima de inyección 7,024 MPa o el peso de la pieza, 1,17 gr.

El programa da multitud de datos y se procede al análisis de cada uno de ellos para que no haya síntomas de que durante el llenado real pueda haber ningún problema.

En ocasiones se utilizan estos datos para el diseño del molde como puede ser el caso de las zonas de la pieza propensas a burbujas de aire cuando hay que disponer en la cavidad los vientos y en otras se observa que sería más conveniente otro diseño de la pieza para que no se produzcan defectos en la pieza, como puede ser el caso de las líneas de unión que según los resultados se formarían en una parte crítica de la pieza.

También se dan otros resultados como puede ser el caso de la presión al final de la inyección, que es de 5,2 MPa, que hay que compararlos con límites, 70 MPa en este caso, para que no se produzcan problemas de sobrepresión.

Otro ejemplo de los resultados es el del tiempo de enfriamiento, que puede originar tensiones al estar unas zonas frías ya en el momento final de la inyección y otras tardar en refrigerar todavía 9 segundos, produciéndose así problemas de tensiones y deformación.

El siguiente análisis es el de flujo en el que, por ejemplo, se puede observar que no se producen grandes diferencias de contracción entre unas zonas de la pieza y otras,



siendo tan sólo estas del 3 % y no dando lugar a problemas de combamiento. El resultado del rechupe informa también de que no existen problemas.

Uno de los últimos análisis es el de flexión de la pieza en cualquier dirección al ser sacada del molde. En cuanto a este tema relacionado con los esfuerzos mecánicos se puede deducir que no existe ningún problema, puesto que la deflexión en el obturador es insignificante.

Del análisis del sistema de alimentación se concluye que el diseño con los ataques alineados y con el mismo recorrido de canal para todas las cavidades es el más apropiado por la sencilla razón de que no se producen desigualdades entre unas cavidades y otras.

Además, según el último análisis no existe ningún problema con la geometría del sistema de refrigeración, al producirse tan sólo una diferencia de temperatura entre el agua de entrada y salida de tan sólo 0,97 °C, por debajo del límite de 5,5 °C, que indicaría que la refrigeración no está siendo efectiva.



VI.- Bibliografía



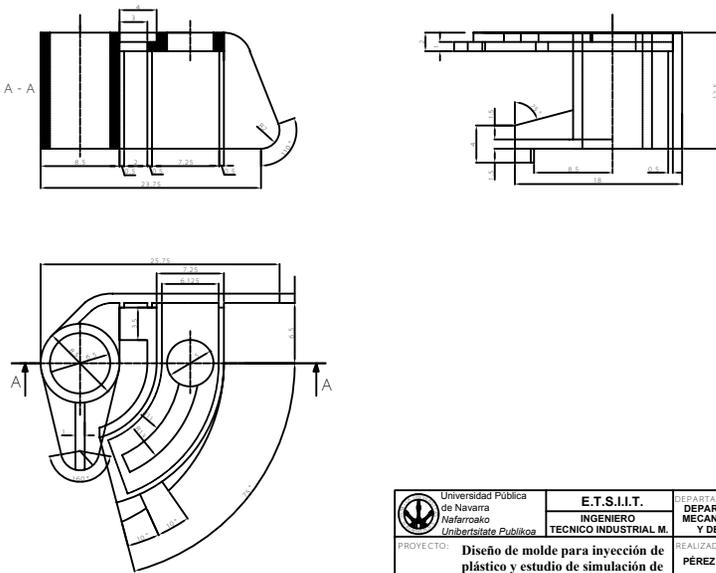
VI.- Bibliografía

- *“Inyección de termoplásticos”* de Jose Luis Urrazo, Edición Grupo Emitec
- *“Moldeo y conformación”* de Heirich Gerling, Reverte
- *“Moldes de inyección para plásticos : en 100 casos prácticos”* de Hans Gastrow, Edición Hanser
- *“Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plásticos”* de Gianni Bodini, Mc Graw-Hill
- *“Caucho y Plástico”* de Daniel Andrew, CEIN
- *“Industria del plástico: plástico industrial”* de Terry L. Richardson, Paraninfo
- *“Estética de los elementos plásticos”* de Osvaldo López Chuhurra, Labor
- *“Extrusión de plásticos: principios básicos”* de Luis Francisco Ramos de Valle, Limusa
- *“Identificación de plásticos”* de Martín de la Calle, CESVIMAP
- *“Ingeniería de los materiales plásticos”* de M.A. Ramos Carpio, Díaz de Santos
- *“Introducción a la tecnología de los plásticos”* de Ángel Ramírez Márquez, Hanser
- *“Materiales plásticos: propiedades y aplicaciones”* de L.N. Noriega, Limusa
- *“Los Plásticos más usados”* Universidad Nacional de Educación a Distancia
- *“Procesamiento de plásticos: inyección, moldeo, hule, PVC”* de D.H. Morton-Jones, Limusa
- *“Residuos sólidos plásticos: tratamiento y reciclado”* de Alberto Muñoz Sánchez, CIFCA
- *“Tecnología de los plásticos”* de A.M. Ortiz, Hanser
- *“Tecnología de plásticos para ingenieros”* de C.M. von Meysenburg, Urmo
- *“Matricería y moldes”* Edebé
- *“El libro del reciclaje”* de Alfonso del Val, Oasis

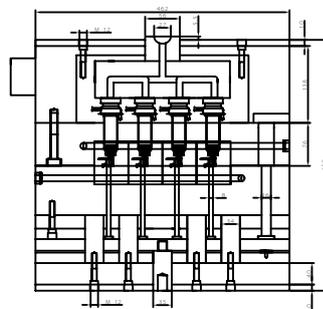


- “*Manual Mc Graw-Hill de reciclaje*” de Herbert F. Lund, Mc Graw-Hill
- “*Reciclaje: manual para la recuperación y el aprovechamiento de las basuras*” de Alfonso del Val, Oasis
- “*Reciclaje de residuos industriales*” de Xavier Elías Castells, Díaz de Santos
- “*Análisis y simulación de procesos*” de David M. Himmelblau, Reverté
- “*Métodos de simulación*” de Sergio Barba-Romero Casillas, Instituto Nacional de Administración Pública
- “*Modelado y simulación*” Edicions UPC
- “*Simulación con ordenador*” de Lawrence L. Mac Nitt, Paraninfo
- “*Simulación de procesos con PC*” de Antonio Creus Solé, Marcombo
- “*Simulación dinámica por ordenador*” de Joaquín Martínez Vicente, Alianza

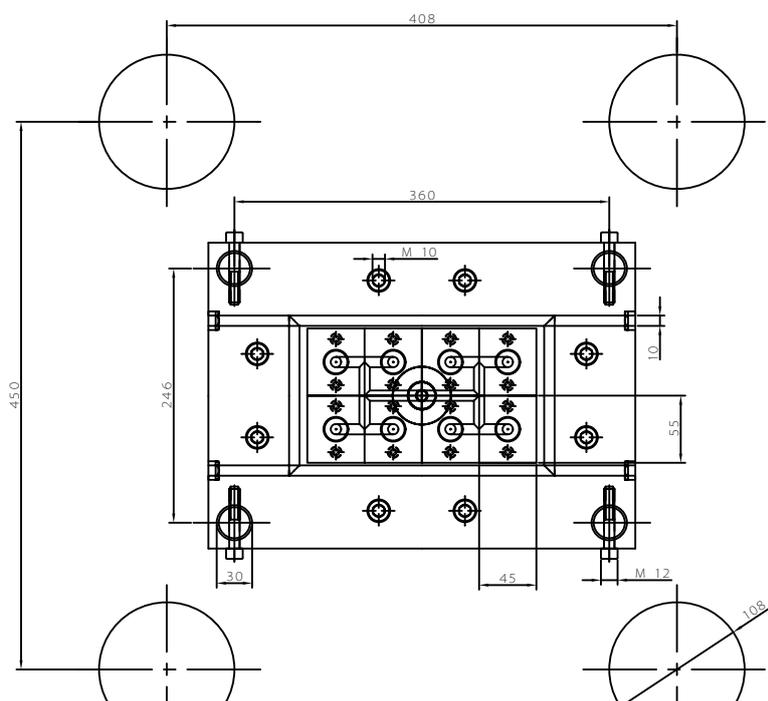
SECCIÓN A - A

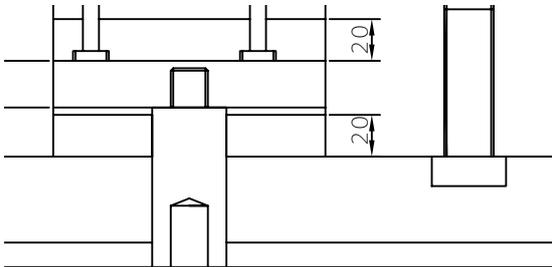


 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO DE INGENIERO DE MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO: PÉREZ INDURAIN, PABLO
PROYECTO: Diseño de molde para inyección de plástico y estudio de simulación de llenado		FIRMA:
PLANO: OBTURADOR	FECHA: 0/00/2010	ESCALA: 1:1
		Nº PLANO: 1



 Universidad Pública de Navarra Instituto Tecnológico de Estudios Avanzados de Cuernavaca	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES
	TÍTULO: Diseño de molde para inyección de plástico y estudio de simulación de llenado	REALIZADO: PÉREZ INDURAIN, PABLO
PLANO: ALZADO DEL MOLDE	FECHA: 1/11	Nº PLANO: 2

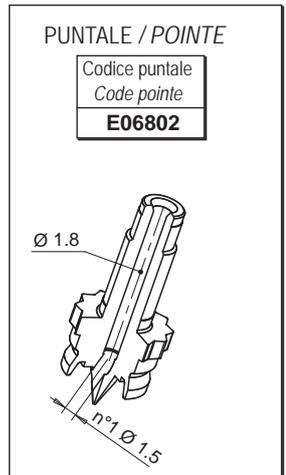




E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	DEPARTAMENTO DE ING. MECANICA, ENERGETICA Y DE MATERIALES		
INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO:		
	PÉREZ INDURAIN, PABLO		
Ide para inyección de ldio de simulación de	FIRMA:		
DEL MOLDE	FECHA:	ESCALA:	Nº PLANO:
	10/09/2010	1:3	4

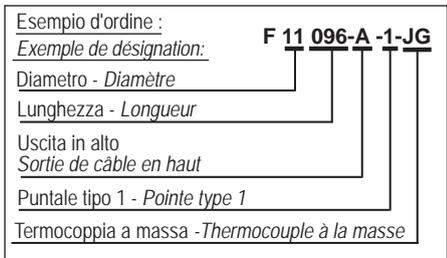
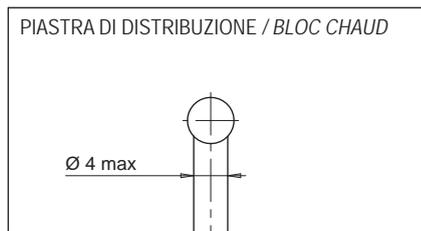
• UGELLO PER STAMPI MULTICAVITA' / BUSE POUR MOULES MULTI-EMPREINTES

Codice ugello Code buse	L	Codice resistenza Code résistance	Watt	Gruppo Termocoppia	Grande Thermocouple
				a massa - à la masse	isolata - isolée
F11036-A-1...	36	E06808	100	E06804	E15933
F11046-A-1...	46	E06699	100	E06805	E15934
F11056-A-1...	56	E09355	100	E09351	E15935
F11066-A-1...	66	E09358	100		
F11076-A-1...	76	E09360	100		
F11086-A-1...	86	E09362	100		
F11096-A-1...	96	E09365	100	E09353	E15938
F11106-A-1...	106	E09367	100	E15631	E15941
F11116-A-1...	116	E09369	100		
F11126-A-1...	126	E09372	100		
F11136-A-1...	136	E09374	100	E15632	E15943
F11146-A-1...	146	E09376	100		



☐ = Ugello con resistenza a spirale / Buse avec résistance spiralée

Consigliato per i materiali PP, PE e PS non caricati. Per altri materiali consultare il servizio tecnico Thermoplay. (Non consigliato per materiali caricati con fibre abrasive).
Pour toutes matières autres que PP-PE et PS non chargées, consulter votre agence Thermoplay Déconseillée pour matières chargées ou abrasives.

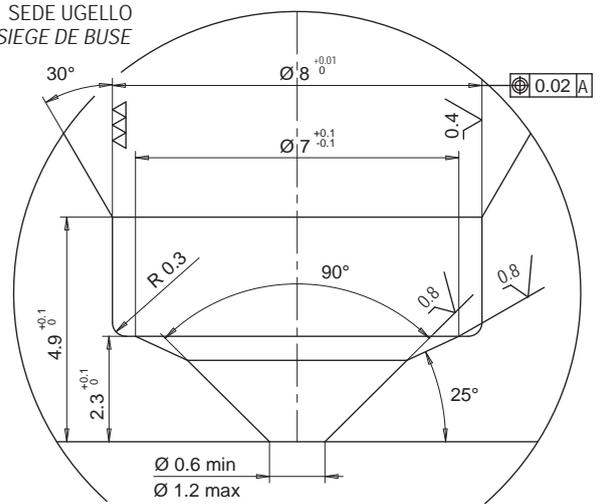
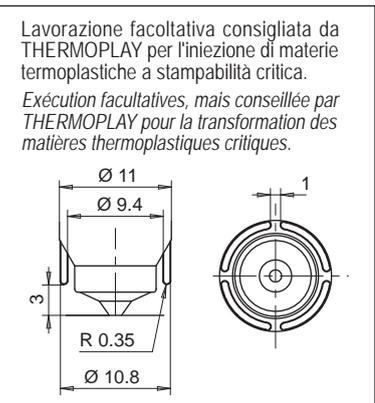
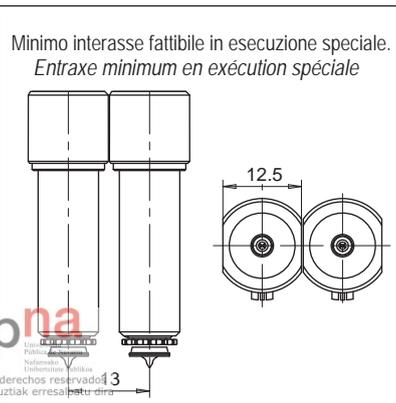
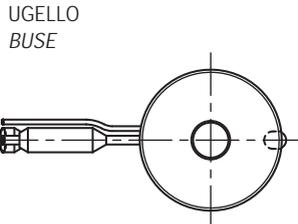
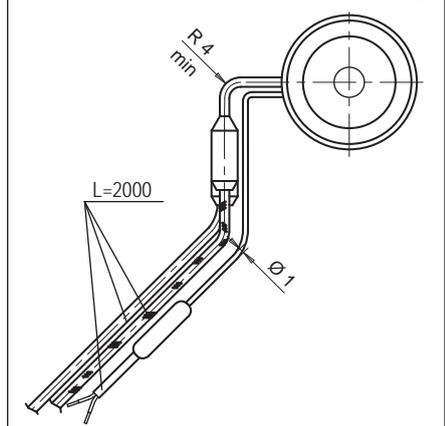
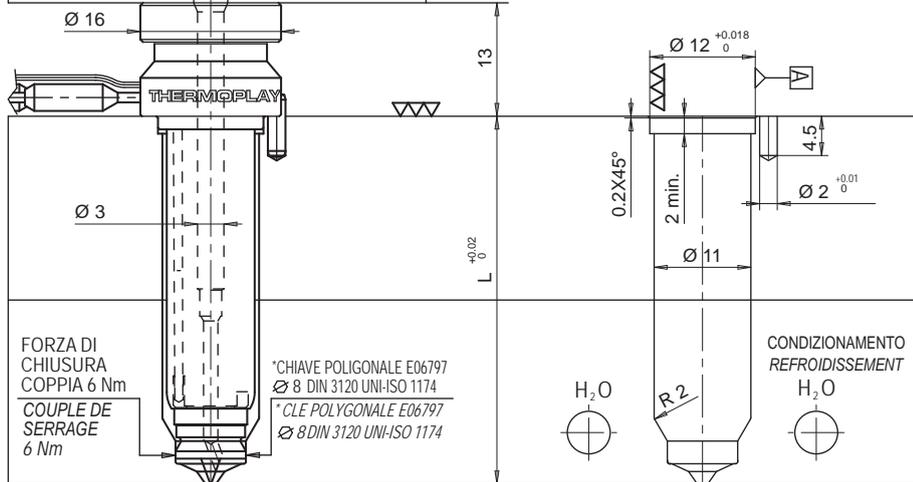


Se non specificato fornito termocoppia a massa
Si pas indiqué nous fournissons thermocouple à la masse

RESISTENZA E TERMOCOPPIA
RESISTANCE ET THERMOCOUPLE

RESISTENZA RESISTANCE	Bianco / Rosso-Bianco Blanc / Rouge-Blanc	230 V
TERMOCOPPIA THERMOCOUPLE	Rosso / Rouge Blu / Bleu	TC+ TC-

Suffisso Suffixe	Descrizione / Description
.. - JG	Termocoppia a massa con calibratura tipo J Thermocouple à la masse calibré type J
.. - JU	Termocoppia isolata con calibratura tipo J Thermocouple isolée calibré type J



Il diametro d'iniezione è INDICATIVO e può variare in funzione del volume iniettabile del materiale termoplastico e dello spessore del pezzo stampato.
Le diamètre d'injection est seulement INDICATIF et peut changer en fonction du volume et d'épaisseur de la pièce moulée.

Guía del Usuario del Manifold & de la Mitad Caliente

Todas las especificaciones técnicas están sujetas a cambio sin previo aviso.
Dibujos no a escala.

Manifold & Mitad Caliente



Todos los Manifolds standards de Fast Heat expuestos aquí están mecanizados según los requisitos individuales del canal del flujo basados en el tamaño de la pieza, tipo de resina y medida de la Boquilla. Esto proporciona un manifold productivo- fabricado para su aplicación específica.

Los Manifolds de Fast Heat se fabrican en acero-pretratado. Todos los manifolds incluyen: resistencias Tubulares 220 Voltios, las placas reflectoras (cuando se solicitan), y una caja de conexiones eléctrica. También son incluidos: Centradores, arandelas separadoras y termopares (vea páginas 28-29). Cada Manifold Fast Heat se prueba y calienta antes del envío.

Todos los sistemas Mitad Caliente Fast Heat incluyen todos los artículos señalados en el Manifold y además el mecanizado del Manifold y las placas de retención del molde que son completamente ensambladas y se conectan según su elección de la Boquilla de canal caliente.

Manifold & Sistemas de Mitad Caliente

Están disponibles Standards y Configuraciones específicas del cliente; contacte con Fast Heat.



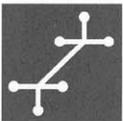
Manifolds 1 P. inyección & Mitad Caliente ... pag 2
Configuración Standard



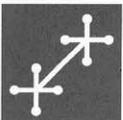
Manifolds 2 P. inyección & Mitad Caliente ... pag 4
Configuración en Línea.



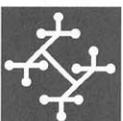
Manifolds 4 P. inyección & Mitad Caliente ... pag 6
Configuraciones en Línea o en "X"



Manifolds 6 P. inyección & Mitad Caliente ... pag 10
Configuración Standard



Manifolds 8 P. inyección & Mitad Caliente ... pag 12
Configuraciones Doble "X" o Doble "H"



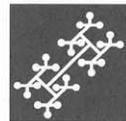
Manifolds 12 P. inyección & Mitad Caliente ... pag 16
Configuración Standard



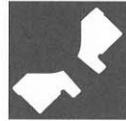
Manifolds 16 P. inyección & Mitad Caliente ... pag 18
Configuraciones en "X" o en "H"



Manifolds Redondos & Mitad Caliente ... pag 22
Configuraciones del Radio



Mitades Calientes Comunes ... pag 24
Están disponible Sistemas Mini, de Inyección Lateral, Modular, Stack y Bimaterial.



Accesorios de Manifolds ... pag 28
Aros Centradores, Centradores de Manifold y Boquilla, arandelas separadoras y Termopares.



Guía de Diseño ... pag 30
Son recomendadas las pautas de diseño para los sistemas de Canal Caliente Fast Heat.



Procedimientos de Puesta en Marcha ... pag 32
Son recomendados los procedimientos de puesta en marcha para los sistemas de Canal Caliente Fast Heat.

Especificaciones Técnicas del Manifold & de la Mitad Caliente

Guía de Diseño

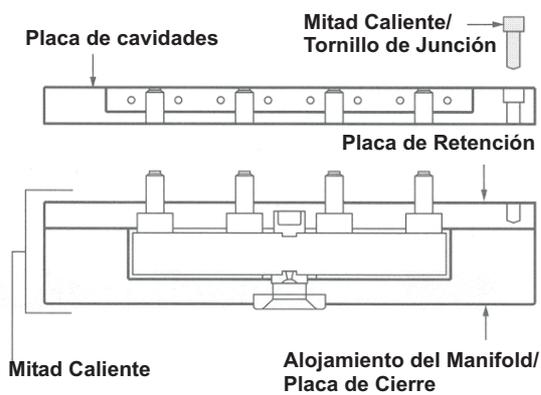
Todas las especificaciones técnicas están sujetas a cambio sin previo aviso.
Dibujos no a escala.

Proyecto de la Mitad Caliente

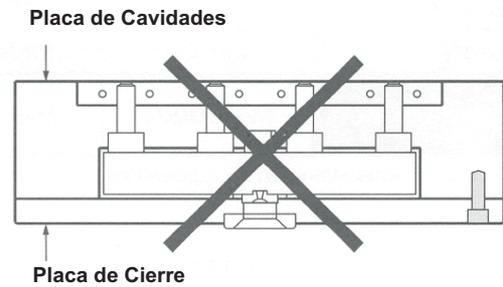
La Mitad Caliente o lado "A" del Molde deberá constar de 2 placas que envuelven el Manifold. Estas placas son independientes de la placa de cavidades o Figuras. La placa de cavidades deberá ser atornillada a la cara de la Mitad Caliente con tornillos desde la línea de partición.

Este diseño reduce expresivamente los costos de mantenimiento aunque aparentemente el coste inicial sea aumentado. Este sistema permite que la placa de cavidades pueda ser retirada de la Mitad Caliente con el molde montado en la máquina inyectora, facilitando fácil acceso a las boquillas y punteras para efectuar pequeñas mantenencias que sean necesarias.

MITAD CALIENTE



DISEÑO NO RECOMENDADO

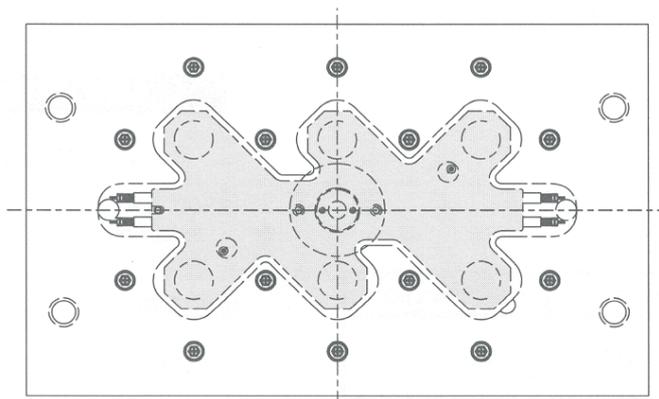


Acero

Acero Inox. tipo AISI-420 (1.4021) es el recomendado para ser usado en las placas de alojamiento. El Acero Inox. ofrece la mejor combinación de resistencia a la corrosión y estabilidad dimensional. Si otro tipo de Acero es seleccionado, téngase en cuenta que es requerido un mínimo de 35 a 40 RC de dureza a fin de mantener sellado y prevenir de infiltraciones el Sistema.

Atornillado de la Mitad Caliente.

Una considerable fuerza de separación es ejercida entre las placas que componen el sistema de la Mitad Caliente, debido a la expansión térmica y a la contra presión del Manifold o presión residual del mismo. El adecuado diseño de las placas ofrece el máximo de resistencia, así como el adecuado número de tornillos y su correcta localización permite sujetar firmemente el Manifold de la placa de alojamiento y la placa de retención. Dos o tres tornillos por cavidad o Figura (con un mínimo de ocho) puede ser usado como regla general. Para casos extremos como: Piezas de pared fina, largo recorrido, etc. que exigen bastante presión de inyección, estas medidas deberán ser extremadas.



30

fastheat

multiheat

C/ Cervantes, 21 08400 Granollers (Barcelona) Tel. 93 879 29 27 Fax 93 879 21 47 www.multiheat.com E.mail: multiheat@multiheat.com

Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Guía de Diseño

Todas las especificaciones técnicas están sujetas a cambio sin previo aviso.
Dibujos no a escala.

Refrigeración

A pesar del poco contacto, entre la cámara de aire y materiales, los sistemas Manifold transfieren todavía calor a las placas que los alojan. Es necesario quitar este calor para mantener una temperatura consistente de la placa. Los canales de agua refrigerados deben estar presentes en todas las placas que rodean el Manifold. (Refiérase a las páginas 3-23 para los diagramas de canal de agua). Los canales de agua deben estar no menos que 7mm de otros componentes del Molde y bordes. Deben evitarse puntos de entrada de agua en la parte superior del Molde para eliminar el riesgo de entrada de agua en los canales de cables.

Cámara de Aire

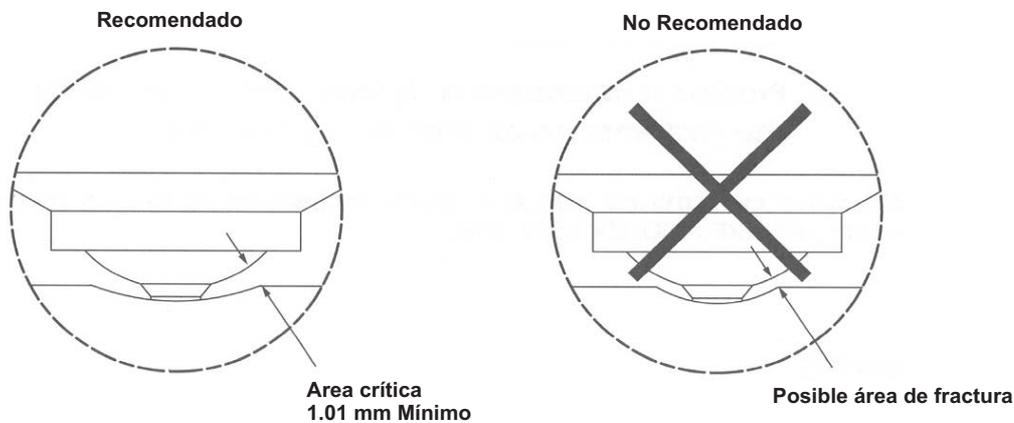
La placa de alojamiento del manifold debe fabricarse con una cámara de aire contorneada a la forma del manifold, pero manteniendo la holgura especificada alrededor del manifold y componentes. La holgura excesiva, así como holgura insuficiente, puede ser perjudicial para el funcionamiento de un sistema.

Gate Refrigerado

Deben localizarse líneas de agua entre 7mm y 23mm del gate. Esto hará el ciclo más eficaz, mantendrá pequeños vestigios de salida y proporcionará un acabado consistente de superficie.

Gates Rebajados

Los gates rebajados pueden debilitar la cavidad y deben diseñarse con pared suficiente en el área crítica para minimizar el riesgo de rotura de la cavidad (vea diagrama abajo).



Diseños

Todos los sistemas de manifold y componentes están disponibles en una variedad de formatos electrónicos, IGES, DWG o DXF.

Componentes de Recambio

Los componentes de uso normal y de recambio se especifican y se cotizan con los sistemas de canal caliente Fast Heat. Fast Heat recomienda tener componentes de recambio, para no perder tiempo fuera de servicio debido al mantenimiento mínimo normal.

Controladores de Temperatura

Se requiere un control cerrado e individual de las boquillas debido a las variaciones termales que pueden existir dentro de un molde. Los controladores de Temperatura Fast Heat (Pulse, Conductor Series..) son altamente recomendados. Ver sección específica.

Especificaciones Técnicas del Manifold & de la Mitad Caliente

Instrucciones Operativas

Todas las especificaciones técnicas están sujetas a cambio sin previo aviso.
Dibujos no a escala.

Sistemas de Canal Caliente Fast Heat- Procedimientos iniciales.

1. AGUA- Abra las aguas de las placas del manifold / Cierre el agua de la cavidad para estabilizar temperaturas.
2. MANIFOLD- Ponga a procesar la temperatura y enchufe el controlador, solamente las zonas para el Manifold.
3. ESPERA- Permíta 15 minutos para que el manifold se estabilize.
4. BOQUILLAS- Enchufe las boquillas y espere 5 minutos hasta que hayan alcanzado el setpoint antes de purgar / procesando.

NOTA: Estos procedimientos se especifican en cada sistema manifold y sistema de mitad caliente que le enviamos. Ver un ejemplo de la placa abajo. Para información detallada acerca de los procedimientos iniciales, contacte con Multiheat.

FAST HEAT HOT RUNNER SYSTEMS - STARTUP PROCEDURES

1. **WATER** - Turn on manifold/clamp plate and cavity water to stabilize temperatures.
2. **MANIFOLD** - Set to processing temperature and turn on controller zones for **MANIFOLD ONLY**.
3. **WAIT** - Allow 30 minutes for manifold to stabilize.
4. **NOZZLES** - Turn on nozzles and wait 5 minutes after they reach setpoint before purging/processing.

This system is designed to process at a temperature of ★ °F + / - 50°F.
Operating outside of this range may result in system failure and/or leakage.

★ **La Temperatura del proceso se define y es aprobada por el cliente en todos los dibujos preliminares.**

AVISO: SI SE OPERA FUERA DEL RANGO de TEMPERATURA ACEPTADO puede PRODUCIR FALLO DEL SISTEMA Y / O FUGAS.

Requisitos de Potencia

- 240 Voltios AC 15 a 30 Amperios.
- Toma de Tierra - Las Boquillas de Fast Heat utilizan el contacto directo de la boquilla, placas del Molde, y placas de la Máquina para establecer un camino para toma de tierra.

ADVERTENCIA

Debe haber un señal presente de tierra entre el Molde "Mitad Caliente" y el controlador de Temperatura o puede dañar la boquilla, el termopar y / o el controlador de temperatura.

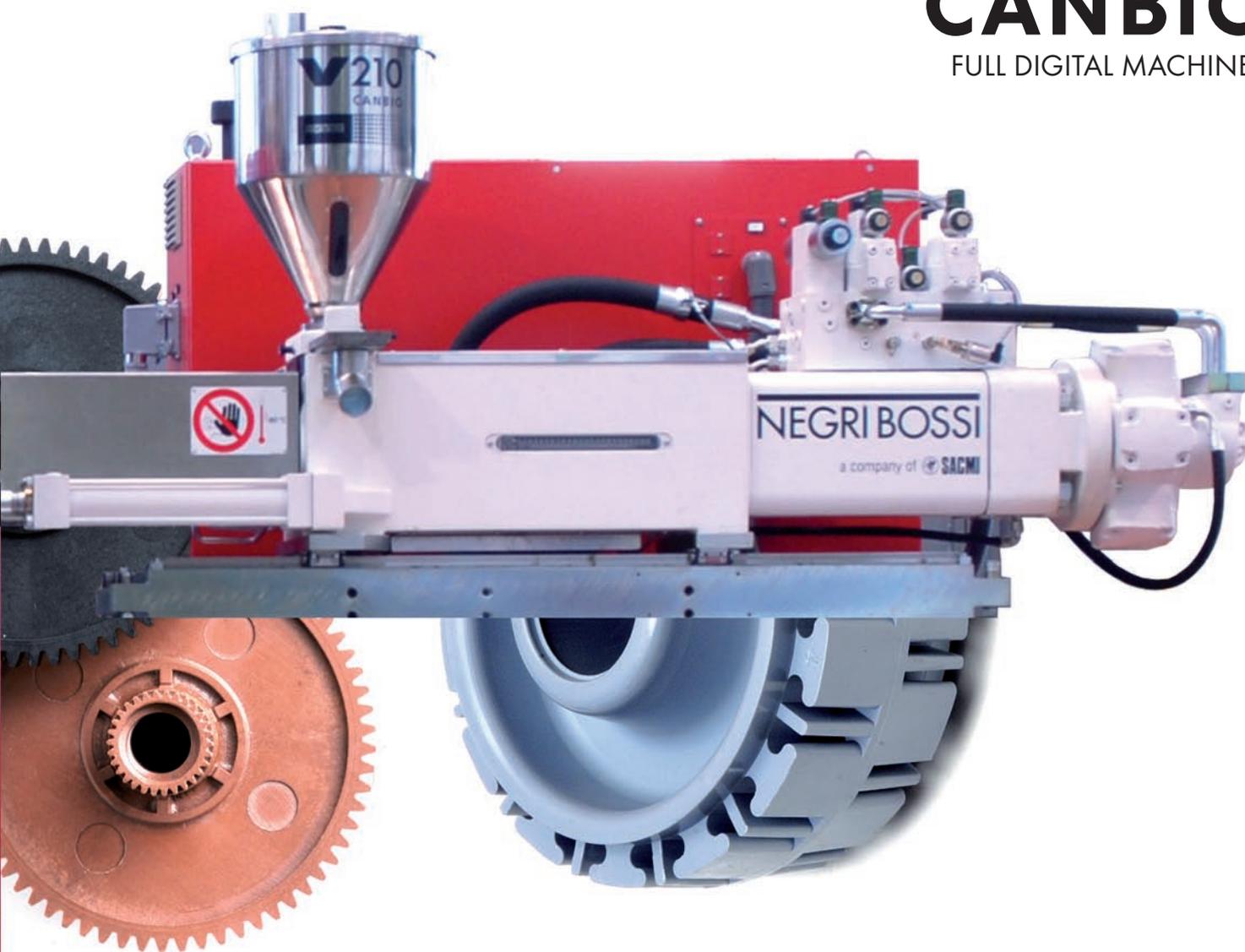
32

fastheat

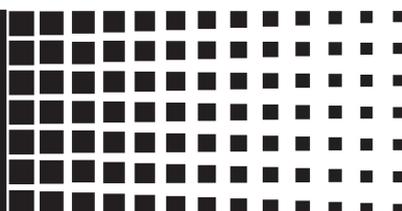
multiheat

CANBIO

FULL DIGITAL MACHINES



NEGRI BOSSI



A person in a dark suit is shown from the chest up, looking intently at a glowing digital interface held in their right hand. The interface consists of several concentric circles and rectangular segments, all illuminated with a bright yellow-green light. The background is dark, with a blue light source illuminating the person's face and suit.

DIGITAL, VERSATILE AND RELIABLE
DIGITAL, VERSÁTIL Y FIABLE
NUMÉRIQUE MULTI-APPLICATIONS ET FIABLE



Thanks to a completely digital control, it provides high moulding accuracy allowing improved repeatability of the moulded parts.

Gracias al control, completamente digital, posee una elevada precisión de moldeo, que determina una notable repetitividad dimensional de la pieza moldeada.

Grâce au contrôle complètement numérique, possède une précision de moulage élevée entraînant ainsi une remarquable répétitivité dimensionnelle de la pièce moulée.

SIMPLE, SILENT AND INEXPENSIVE

SIMPLE, SILENCIOSA Y ECONÓMICA

SIMPLE, SILENCIEUSE ET ÉCONOMIQUE

The engineering design allows an user-friendly IMM operation.

Thanks to the new hydraulic system design (digital pumps with direct control of pressure and delivery), capital investment and running costs are kept to a minimum (from 15 to 20% less consumption than the equivalent traditional IMM).

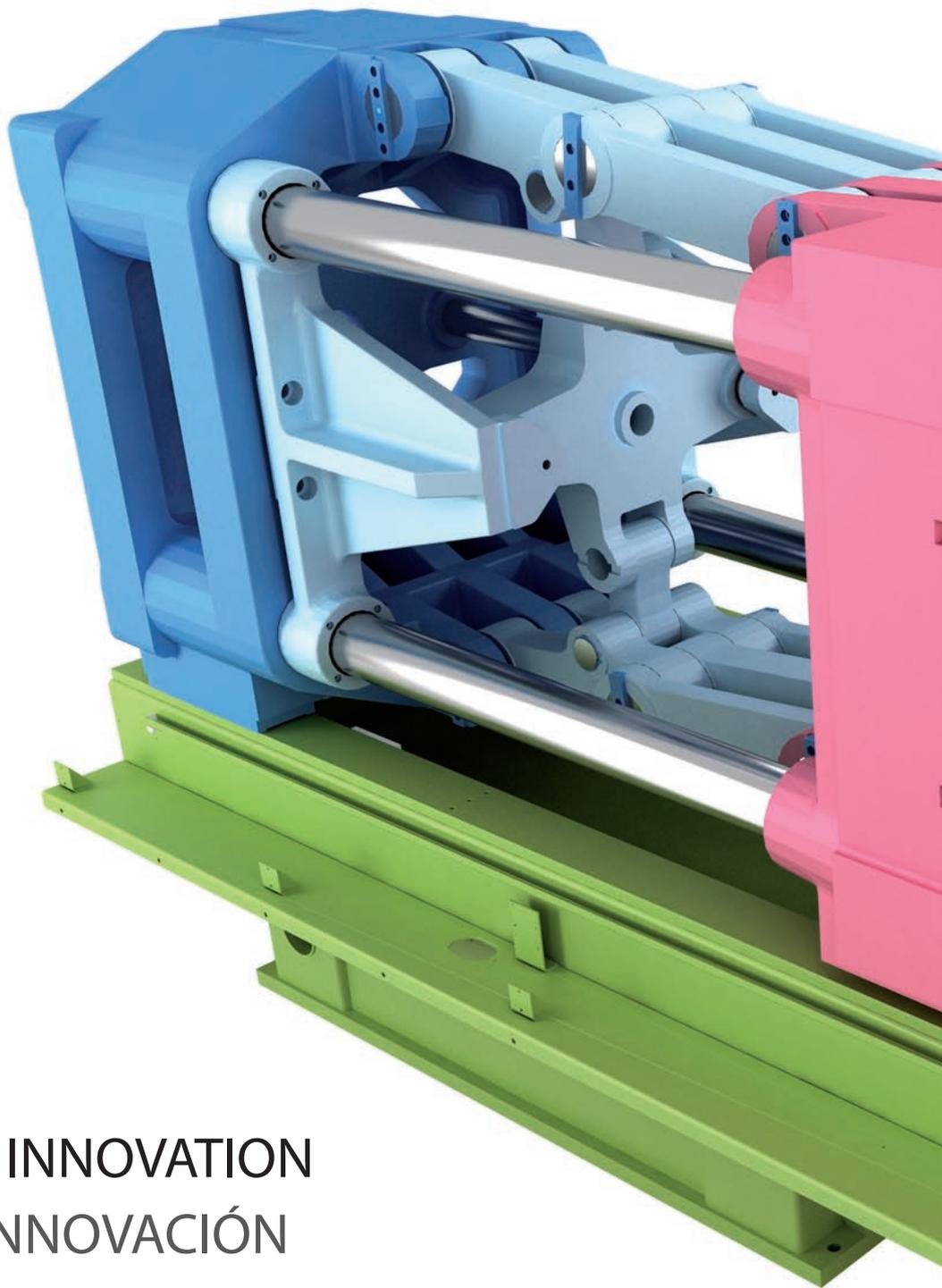
La ergonomía y la accesibilidad para el operador están garantizadas por la concepción técnica del proyecto.

Gracias al nuevo concepto de instalación hidráulica (bombas digitales con control directo de la presión y de la capacidad), resulta más accesible económicamente, tanto en términos de inversión inicial, como de costes de funcionamiento (consumo inferior del 15% - 20% respecto a las prensas tradicionales equivalentes).

L'ergonomie et l'accessibilité pour l'opérateur sont assurées par la conception de l'ingénierie du projet.

Grâce au nouveau concept d'installation hydraulique (pompes numériques avec contrôle direct de la pression et du débit), elle s'avère plus abordable économiquement, que ce soit en termes d'investissement de départ que de coûts de fonctionnement (consommation inférieure de 15% à 20% par rapport aux presses traditionnelles équivalentes).





SIMPLICITY AND INNOVATION

SIMPLICIDAD E INNOVACIÓN

SIMPLICITÉ ET INNOVATION

Closure and injection assemblies are developed following Negri Bossi's tradition of simple mechanics.

Innovative hydraulic system and electronics for your current and future needs in terms of power consumption and performance.

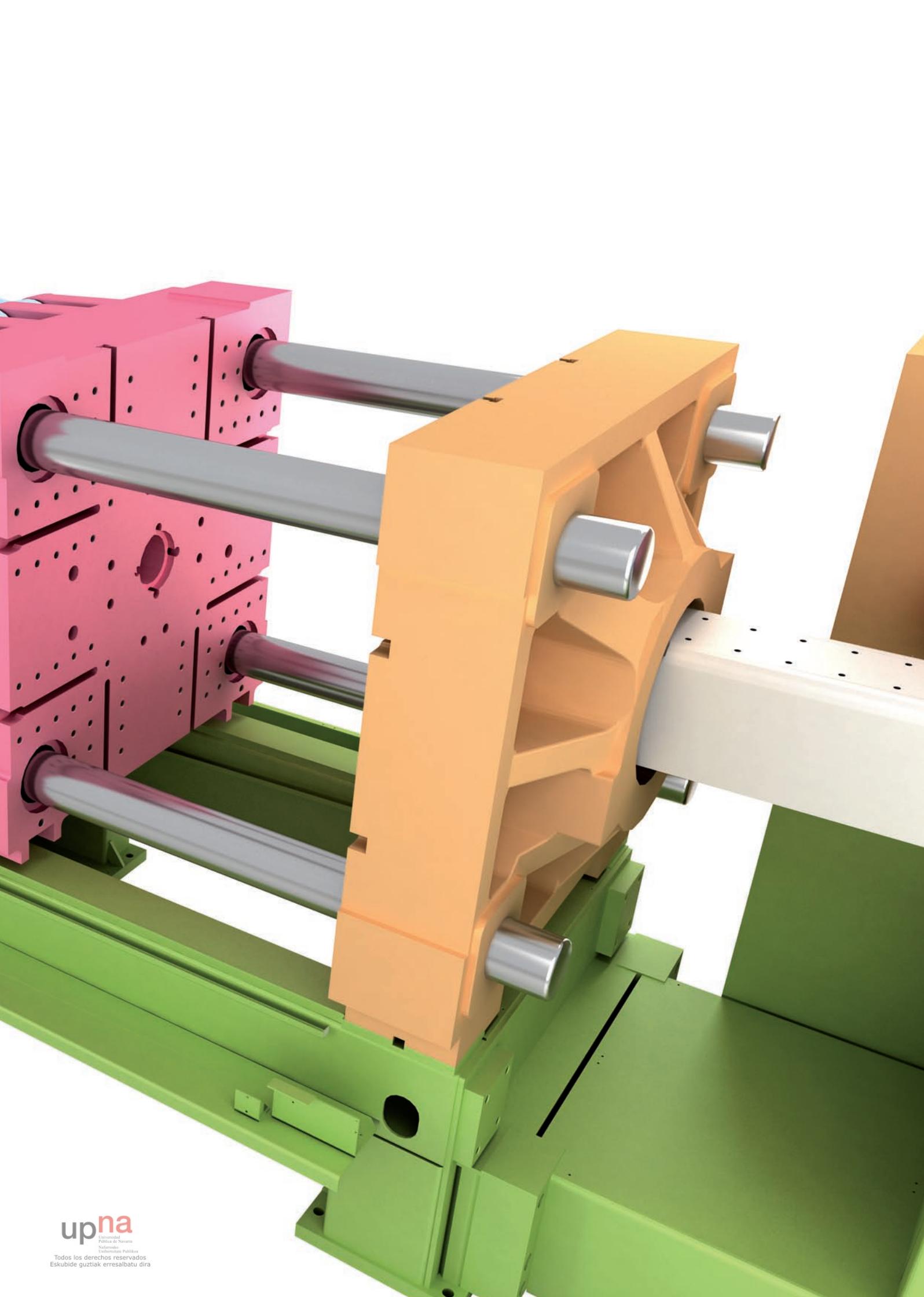
upna
Nafarroako Unibertsitatea
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

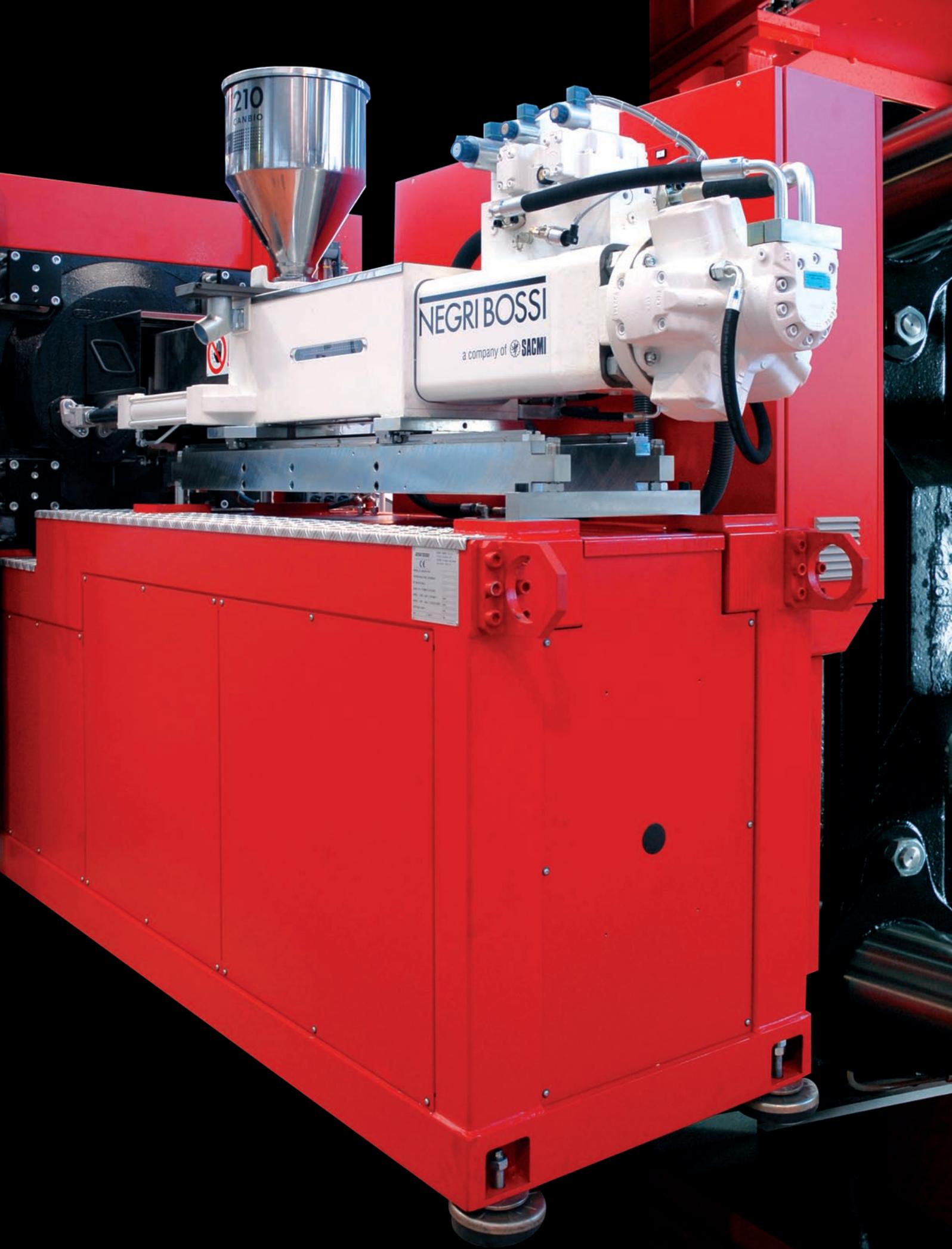
Simplicidad mecánica de los grupos de cierre e inyección desarrollados en la tradición Negri Bossi.

Innovación en las instalaciones hidráulica y electrónica para responder a las exigencias actuales de prestaciones y consumos.

Simplicité mécanique des groupes de fermeture et d'injection développés dans la tradition Negri Bossi.

Innovation dans l'installation hydraulique et électronique pour répondre aux exigences actuelles de prestations et de consommations.





CE
SACMI

NEGRI BOSSI
a company of SACMI

210
CAMBIO



CANBIO: DIGITAL TECHNOLOGY THAT HAS
REVOLUTIONIZED INJECTION PROCESS

CANBIO: LA TECNOLOGÍA DIGITAL
QUE HA CAMBIADO LA INYECCIÓN

CANBIO: LA TECHNOLOGIE NUMÉRIQUE
QUI A CHANGÉ L'INJECTION



CANBUS: WITH DIGITAL YOU CAN

Negri Bossi is the only company in the world that has created an innovative range of hydraulic machines with digital communication networks (CANbus) since 1998. These machines provide state-of-the-art performance with maximum simplicity.

The CANbus system (Controller Area Network) is a control system originally developed by Bosch for the automobile industry. A close and exclusive collaboration with Bosch has allowed Negri Bossi to develop hydraulic components suitable for this system and create a range of injection moulding machines that are fully controlled by digital means for the first time ever.

The CANbus system permits a range of machines with an extremely easy and multi-function control system to be created, considerably improving performance levels (e.g. switching over in the –pressure-holding phase).

Ya desde el 1998 Negri Bossi, única empresa en el mundo, produce una innovadora serie de máquinas hidráulicas equipadas, por primera vez, con una red de comunicación digital (CANbus) con prestaciones de vanguardia y de máxima simplicidad.

El CANbus System (Controller Area Network) es un sistema de accionamiento ideado, originalmente, por la empresa Bosch, para el sector automovilístico. Una estrecha y exclusiva colaboración con la misma Bosch ha permitido a Negri Bossi, poner a punto componentes hidráulicos adecuados para este sistema y realizar por primera vez, una serie de máquinas de inyección, controladas completamente de modo digital.

El sistema CANbus ha permitido realizar una serie de máquinas con una instalación de control extremadamente simple y multifuncional, que permite obtener mayores prestaciones (ej.: conmutaciones en pospresión).

Depuis 1998, Negri Bossi est la seule entreprise au monde à proposer une innovante série de machines hydrauliques dotées d'un réseau de communication numérique (CANbus) dont les prestations sont à l'avant-garde tout en restant de la plus grande simplicité.

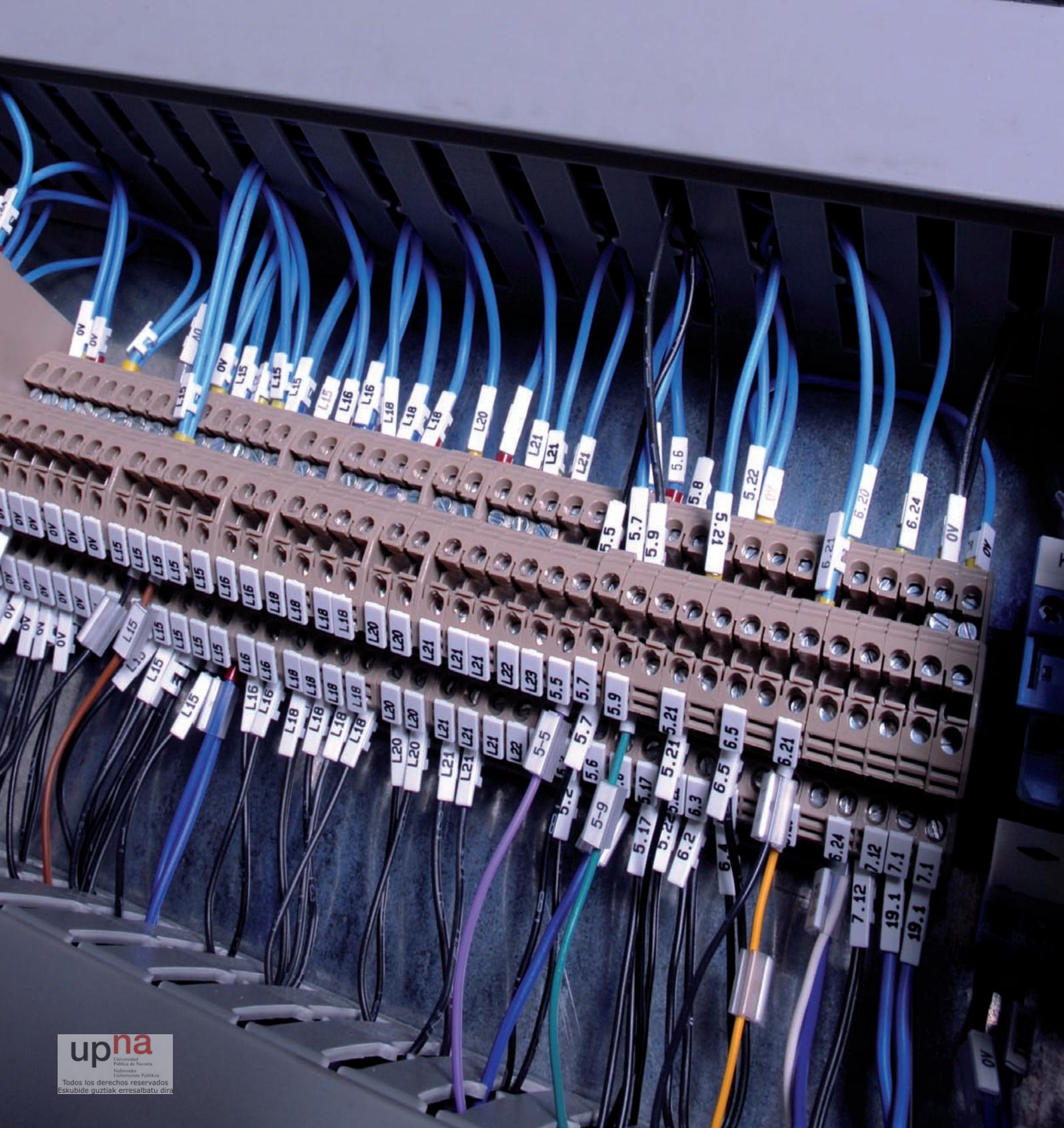
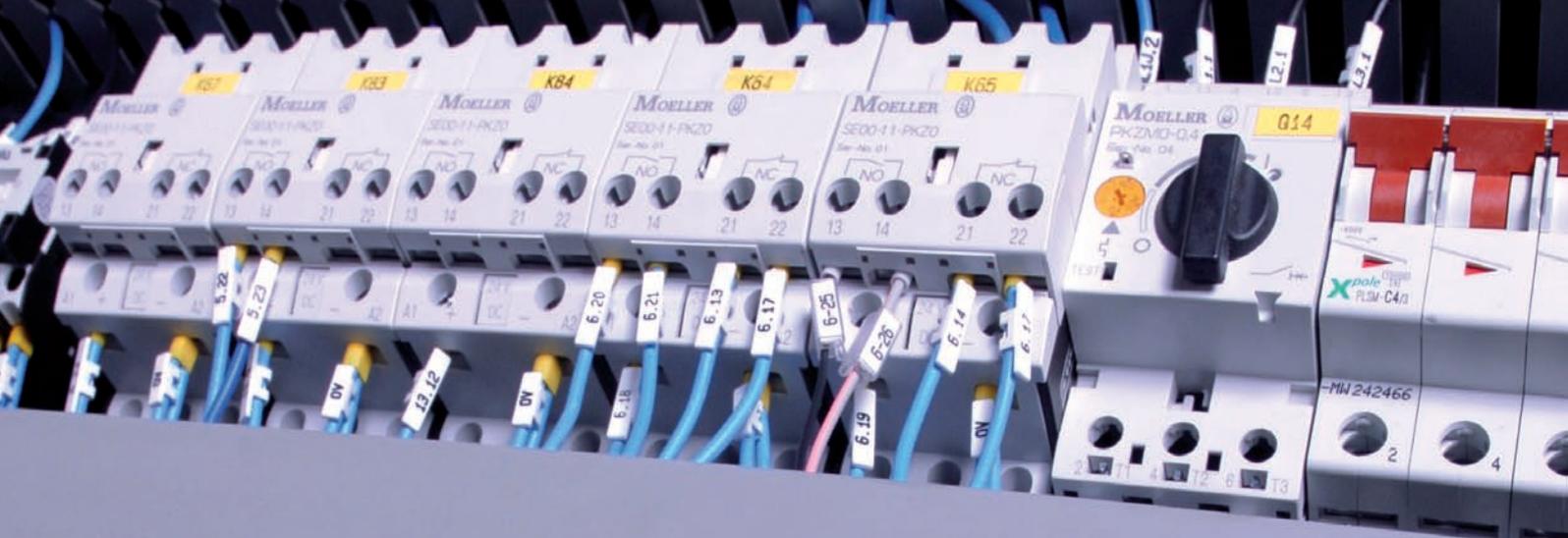
Le CANbus System (Controller Area Network) est un système de commande que la société Bosch a, à l'origine, conçu pour le secteur automobile. Une collaboration étroite et exclusive avec la société Bosch, a permis à Negri Bossi de mettre au point des composants hydrauliques adaptés à ce système et de réaliser, pour la première fois, une série de machines à injection entièrement contrôlées en numérique.

Le système CANbus a rendu possible l'élaboration d'une série de machines pourvues d'une installation de contrôle extrêmement simple et multifonctionnelle qui permet d'obtenir de meilleures prestations (ex : commutations en post-pression).

NEGRI BOSSI
ITALIA

V210
CANBIO

NEGRI BOSSI





The main features and advantages provided are:

- 1) The use of only one CPU to control the IMM interface, the machine cycle and the remote communication. This reduces the possibility of breakdown (reliability).
- 2) The elimination of all the analogue A/D and D/A cards among the control devices, sensors and hydraulic components so that settings and adjustments by the engineer are no longer necessary (simplicity, repeatability).
- 3) The possibility of linking other specific I/O applications or options to various applications, with remote configuration and management coming from the PC (simplicity, flexibility).
- 4) Synchronous information transfer between devices connected to the bus, providing stricter control of sequence execution. This also provides more efficient and accurate control (precision, repeatability).
- 5) The transfer of certain control functions (pressure and closed loops) directly to the variable delivery pumps or proportional distributors for their execution. This makes the control system easier to use because components that are subject to failures are eliminated, making the IMM more reliable (reliability, precision).

Las principales peculiaridades y las consiguientes ventajas son:

- 1) Empleo de una única CPU para el control de la interface operador y del ciclo máquina, que facilita además la conexión remota. Esto supone una reducción de la probabilidad de rotura (fiabilidad).
- 2) Eliminación de todas las tarjetas analógicas A/D y D/A entre el control, los sensores y los componentes hidráulicos que permite la eliminación de la necesidad de calibraciones e intervenciones del encargado del control de calidad (simplicidad, repetitividad).
- 3) Posibilidad de conectar otras aplicaciones I/O u opcionales, específicos para las diferentes aplicaciones, con configuración y gestión remota desde el PC de la prensa (simplicidad, flexibilidad).
- 4) Transferencia sincrónica de la información entre los equipos conectados al bus, con consiguiente mayor control durante la ejecución de las secuencias y control más eficaz y en tiempos reales y inferiores (precisión, repetitividad).
- 5) Transferencia de algunas funciones de control (presiones y circuitos cerrados) directamente a las servobombas a los distribuidores proporcionales a las servoválvulas para su ejecución con la consiguiente simplificación del sistema de control. Dicha simplificación, consistente en la eliminación de componentes típicamente sujetos a roturas e intervenciones comporta una mayor fiabilidad de la prensa (fiabilidad, precisión).

Les principales particularités et les avantages qui en découlent sont:

- 1) Utilisation d'une seule CPU pour le contrôle de l'interface opérateur et du cycle machine ainsi que pour la communication à distance. Ce qui entraîne une réduction de la probabilité de rupture (fiabilité).
- 2) Élimination de toutes les cartes analogiques A/D et D/A parmi le contrôle, les capteurs et les composants hydrauliques. Par conséquent, le technicien d'essai n'a plus d'opérations d'étalonnage ou d'interventions à réaliser (simplicité, répétitivité).
- 3) Possibilité de relier d'autres applications I/O ou options, spécifiques pour les différentes applications, avec configuration et gestion à distance depuis le PC de la presse (simplicité, flexibilité).
- 4) Transfert synchrone de l'information entre les appareillages connectés au bus avec par conséquent un meilleur contrôle sur l'exécution des séquences et donc un contrôle plus efficace avec des temps certains et moindres (précision, répétitivité).
- 5) Transfert de certaines fonctions de contrôle (pressions et anneaux fermés) directement aux servopompes, aux distributeurs proportionnels et aux servovannes pour leur exécution, ce qui se traduit donc par une simplification du système. Une telle simplification, consistant à éliminer des composants généralement exposés à des risques de rupture et des interférences, implique par conséquent une fiabilité accrue de la presse (fiabilité, précision).

V210 CANBIO

NEGRI BOSSI



NEGRI BOSSI



6) Direct transmission of the switch-over signal from the position or pressure transducer to the variable delivery pump This improves repeatability (repeatability) .

7) Use of magnetostrictive digital and sealed (P56) position transducers with a 2 micron resolution and 10,000 detections/ second of the controlled positions to simultaneously transmit information regarding position, speed and intervention points. This simplifies the system, making it more reliable and increasing IMM repeatability.

8) The availability of the measurements taken by the magnetostrictive position transducers directly in physical values (mm, m/sec). This prevents the need for end scale settings and conversions, allowing improved assistance and parts substitution (precision).

9) Significant reduction of cables and electric system connections, increasing simplicity and reliability (reliability).

6) Transmisión directa de la señal de conmutación en pospresión (inyección) bajo intervención por presión o posición desde el transductor a la servobomba, con consiguiente mayor repetitividad (repetitividad).

7) Utilización de transductores digitales y sellados (P56) de posición magnetostrictivos con resolución de 2 micrones y 10.000 detecciones por segundo, de las posiciones controladas para transmitir, simultáneamente, informaciones actualizadas acerca de la posición, velocidad y puntos de intervención. Esto permite la simplificación del sistema y, por lo tanto, un aumento de la fiabilidad y de la repetitividad de la máquina.

8) Disponibilidad de los datos suministrados por los transductores magnetostrictivos de posición directamente en valores físicos (mm., m/seg.). Esto evita las calibraciones de los fondos escalas y las conversiones, para una mejor asistencia y sustitución de las piezas (precisión).

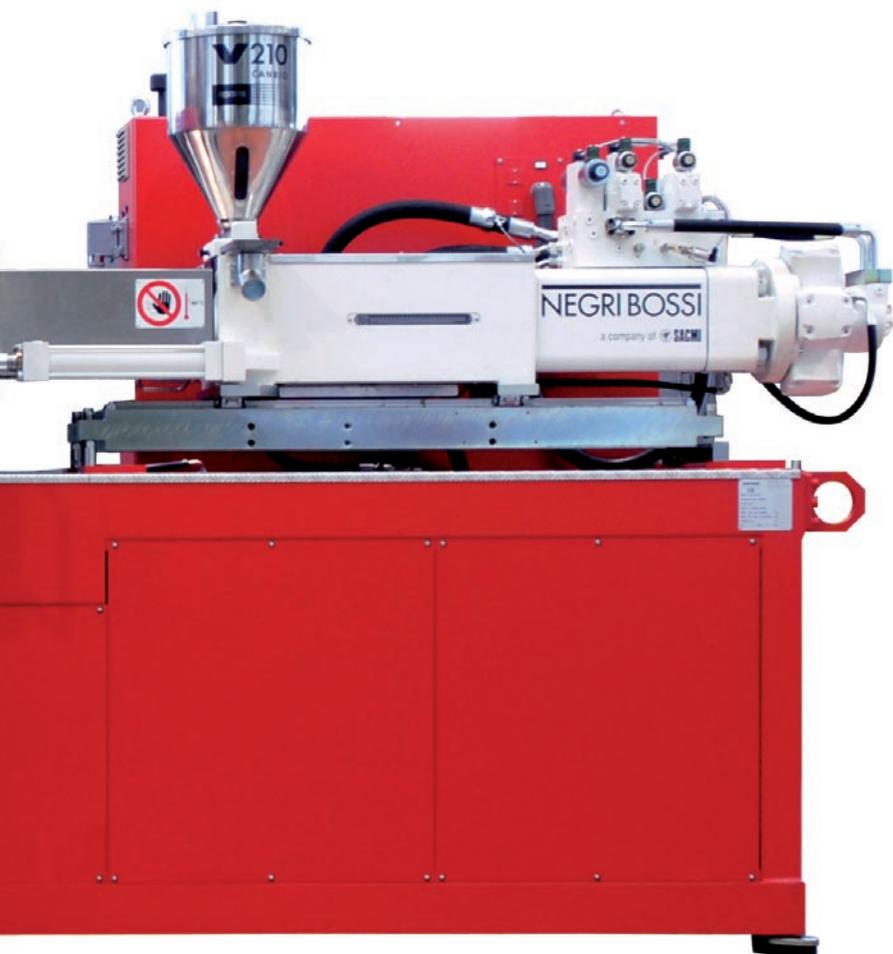
9) Notable reducción de los cables y de las conexiones en la instalación eléctrica, es decir mayor simplicidad y fiabilidad de la prensa (fiabilidad).

6) Transmission directe du signal de commutation en post-pression (injection) sur déclenchement par pression ou position du transducteur à la servopompe, ce qui se traduit donc par une meilleure répétitivité (répétitivité).

7) Utilisation de transducteurs magnétostrictifs numériques de position, étanches (P56) avec résolution de 2 microns et 10000 relevés/seconde des positions contrôlées pour transmettre simultanément des informations réelles concernant la position, la vitesse et les points d'intervention. Cela permet la simplification du système et donc l'augmentation de la fiabilité et de la répétitivité de la presse.

8) Disponibilité des mesures fournies par les transducteurs magnétostrictifs de position directement en dimensions physiques (mm, m/sec). Cela évite les étalonnages des fonds d'échelle et les conversions, ce qui permet donc de proposer un service d'assistance et de remplacement des pièces encore plus efficace (précision).

9) Réductions notables des fils et des connexions au niveau de l'installation électrique ce qui se traduit donc par une plus grande simplicité et fiabilité de la presse (fiabilité).



10) Possibility of digital self-diagnosis by the hydraulic and electric system. This increases the availability of information/ feedback on the operator interface to check operation in an easier manner (precision).

11) Availability of the operator interface service function in which complete monitoring is performed to reduce machine down time.

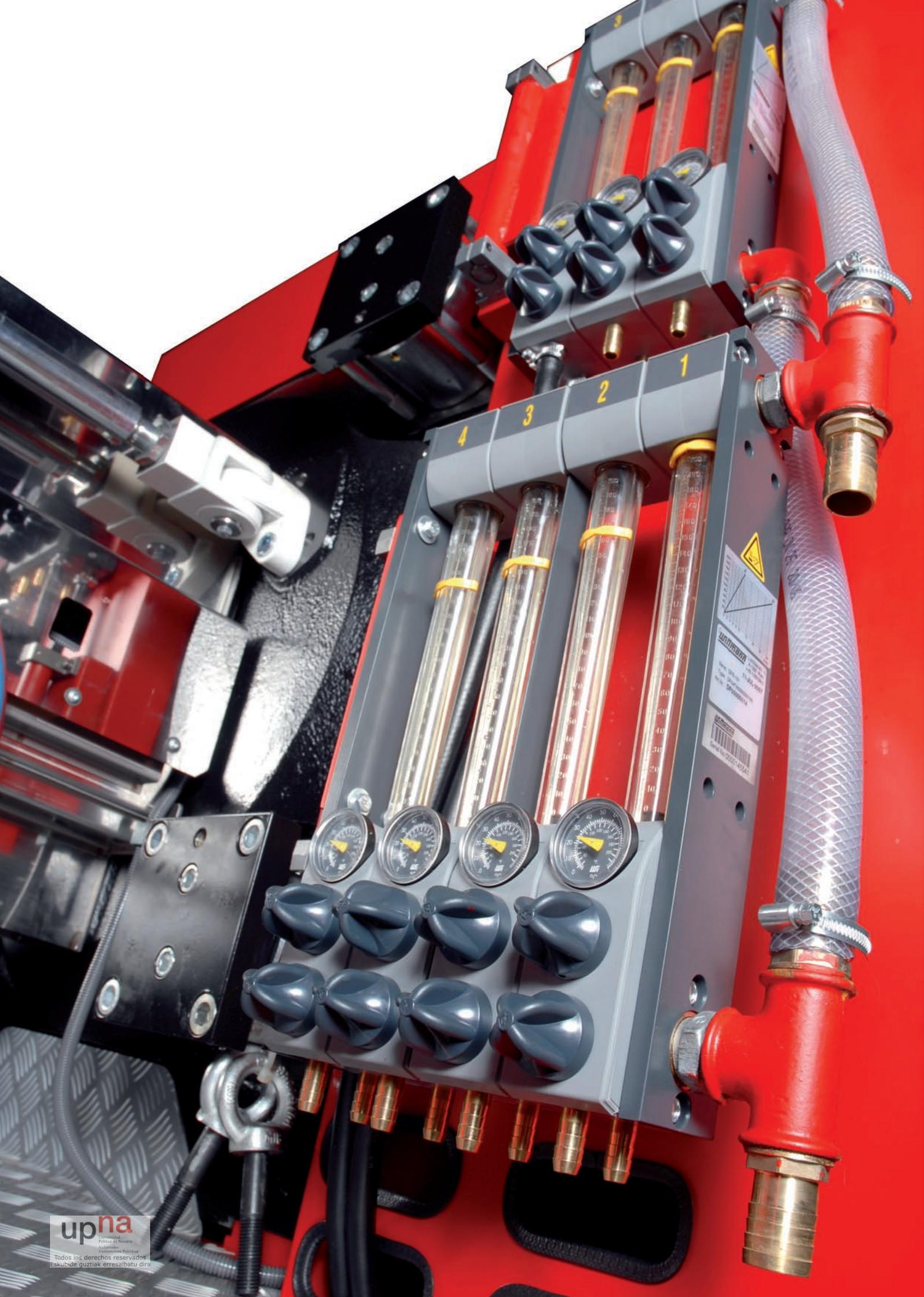
10) Posibilidad de autodiagnóstico digital de toda la instalación hidráulica y eléctrica y, por lo tanto, disponibilidad de mayores informaciones / feedback en el terminal del operador para una fácil comprobación del funcionamiento (precisión).

11) Disponibilidad de funcionalidad del servicio en el interface operador en la que se efectúa una monitorización completa, reduciendo las paradas de la máquina y los tiempos de intervención.

10) Possibilité de diagnostic numérique automatique de toute l'installation hydraulique et électrique et donc possibilité d'obtenir de plus amples informations/feedback sur le terminal opérateur pour un contrôle facile du fonctionnement (précision).

11) Disponibilité de fonctionnalités de service sur l'interface opérateur sur laquelle est effectuée une surveillance complète ce qui permet de réduire les arrêts de la machine et diminuer les temps d'intervention.







CANBIO HAS “CANVERTED” THE ON-BOARD STANDARDS OF MACHINE EFFICIENCY, RELIABILITY AND COMFORT

CANBIO: HA “CANBIATO” GLI STANDARD DI EFFICIENZA, AFFIDABILITÀ E COMFORT A BORDO MACCHINA

CANBIO: A “CHANGÉ” LES STANDARDS D’EFFICIENCE, FIABILITÉ ET CONFORT AU BORD DE LA MACHINE

The mould thickness and closure force adjustment system makes mould adjustment faster and more accurate without the need for intervention by the operator (easy set-up).

The injection assembly is equipped with a quick -changing system for the complete plasticising unit.

The electric-hydraulic system allows efficient energy consumption, even when the IMM is being used at maximum performance levels.

The digital network between the servo-pumps and proportional distributor provides high communication efficiency with the IMM control and also allows to monitor and set-up the components directly from the control.

Sistema de autorregulación de la fuerza de cierre y espesor del molde que lleva a una mayor velocidad y precisión de la operación de regulación del molde y permite evitar la intervención por parte del operador (facilidad en el set-up).

Grupo de inyección equipado con sistema de cambio rápido del husillo y cilindro, con la consiguiente posibilidad de sustituir fácilmente el grupo de plastificación.

Instalación electro-hidráulica que permite una absorción racional de la energía, también en condiciones de utilización de la máquina al máximo de sus prestaciones.

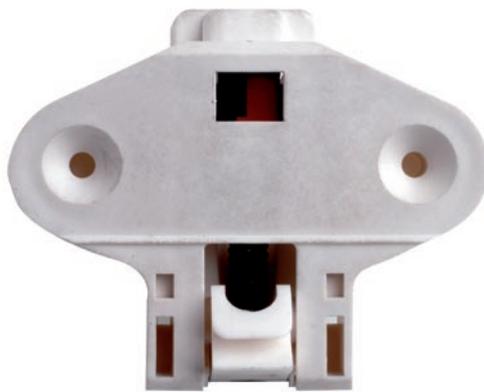
La conexión en red de las servobombas y de los distribuidores proporcionales permite no solo una elevada eficiencia de comunicación entre el control y la prensa, sino también la posibilidad de monitorizar y parametrizar los componentes directamente desde el control mismo.

Systèmes d’auto-régulation de la force de fermeture et de l’épais-seur du moule qui entraîne une vitesse et précision plus importantes de l’opération de réglage du moule et permet d’éviter à l’opérateur d’intervenir (facilité dans le montage).

Groupe d’injection équipé d’un système de changement rapide de la vis et du cylindre, avec par conséquent la possibilité de remplacer facilement le changement du groupe de plastification.

Installation électro-hydraulique en mesure de permettre une absorption rationnelle de l’énergie même dans des conditions d’utilisation de la presse au maximum de ses prestations.

Le raccordement en réseau des servopompes et des distributeurs proportionnels permet d’avoir non seulement une efficacité de communication élevée entre le contrôle et la presse mais également la possibilité de faire surveiller et paramétrer les composants par ce même contrôle.



The magnetostrictive position transducer makes the machine more reliable and accurate. The transducer is also watertight sealed to assure immunity to oil and water contamination.

The IMM control system is based on an industrial PC with control software developed entirely by Negri Bossi on a real time operating system "VX Works". The operator interface is based on a JAVA platform in order to guarantee compatibility with any type of PC hardware.

The automatic tie bar removing system is available as an option to allow higher flexibility during mould changes in difficult conditions, such as a low ceiling, bulky mould, etc. This option puts the NB IMM at the same level as those machines that are working without tie bars but with a better parallelism control (management).

The IMM can be equipped with a NB integrated robot. Therefore, the "FLASH" Cartesian robot with integrated control can be used and managed directly from the PC (management).

Transductor magnetostrictivo que permite una mayor fiabilidad y precisión de la máquina. Su realización con completa estanqueidad garantiza, además, su inmunidad a contaminaciones por agua o aceite.

Sistema de control de la prensa basado en un PC industrial con software de control desarrollado integralmente por Negri Bossi en un sistema operativo real time "VX Works". LA interface operador está realizada en JAVA para garantizar la portabilidad en cada tipo de hardware PC.

Disponibilidad opcional del sistema de extracción automático de la columna para permitir una mayor flexibilidad de las operaciones de cambio de molde en condiciones difíciles como un techo bajo, moldes voluminosos, etc. Esto rinde la prensa equivalente a la competencia sin columnas (gestión).

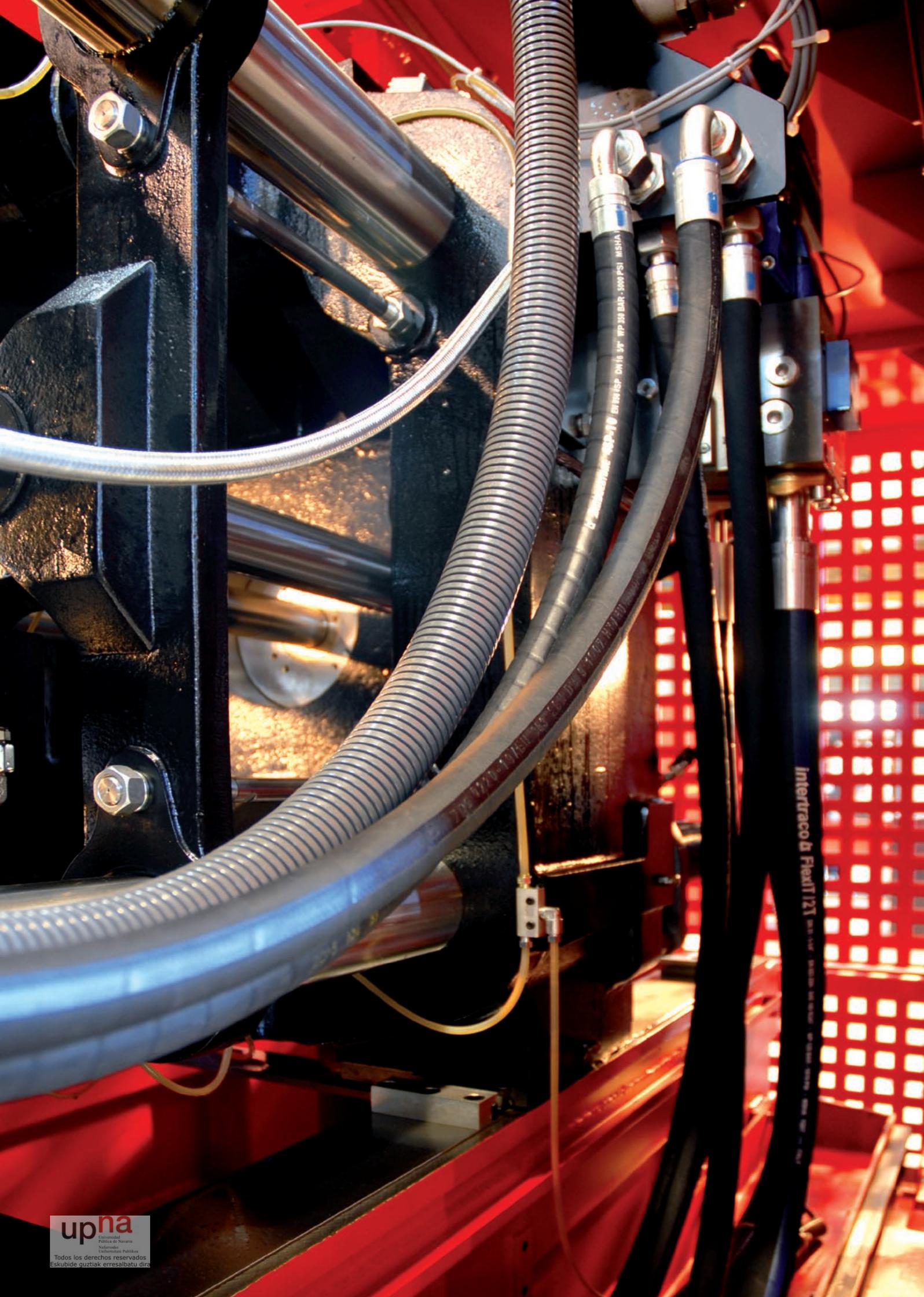
Posibilidad de equiparse con robot integrado flash y, por lo tanto, de utilizar un robot cartesiano integrado a la prensa y gestionado directamente por el PC de la misma (gestión).

Transducteur magnétostrictif qui permet une meilleure fiabilité et précision de la machine. Sa fabrication complètement étanche garantit, en outre, une protection complète contre la pénétration d'eau et d'huile.

Système de contrôle de la presse basé sur PC industriel avec logiciel de contrôle développé intégralement par Negri Bossi sur système d'exploitation en temps réel "VX Works". L'interface opérateur est réalisée sous JAVA afin de garantir la portabilité sur tout type de matériel PC.

Disponibilité, en option, du système de retrait automatique de la colonne, pour obtenir une flexibilité plus importante lors des opérations de changement de moule dans des conditions difficiles comme par exemple lorsque les plafonds sont bas, les moules sont encombrants, etc. Cela rend la presse équivalente aux machines concurrentes sans colonne (gestion).

Peut également être équipée d'un robot intégré flash qui offre la possibilité d'utiliser un robot cartésien intégré à la presse et contrôlé directement par le PC de cette dernière (gestion).

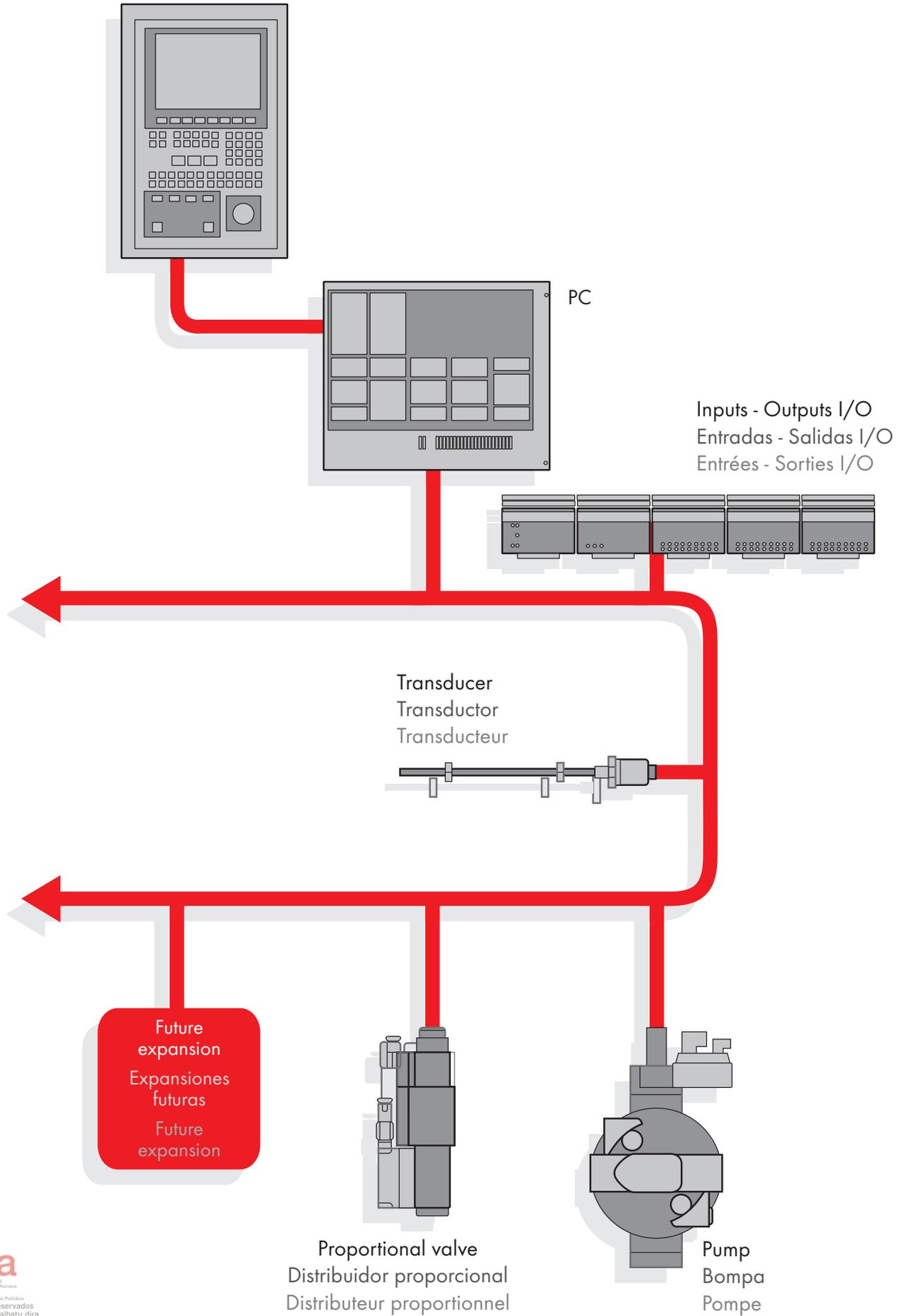


CANBUS SYSTEM

CONFIGURACIÓN DEL SYSTEM CANBUS

CONFIGURATION DU SYSTÈME CANBUS

Dimi EL 2001

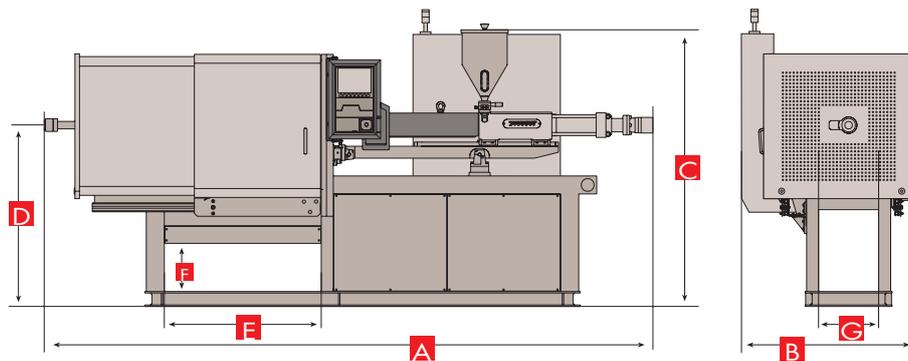


Main overall dimensions - Principales dimensiones exteriores - Mesures principales d'encombrement

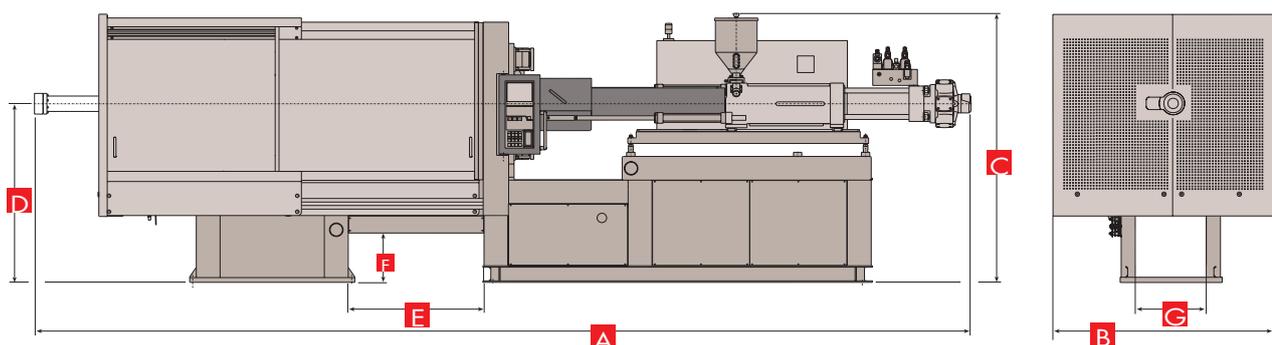
	V 55		V 70			V 90			V 120			V 160		
	165	210	165	210	320	210	320	400	320	400	670	400	670	850
A mm	3635	3720	3980	4065	4490	4260	4690	4800	4960	5070	5440	5515	5865	6040
B mm	1180		1250			1370			1400			1480		
C mm	1800	1890	1890	1920	1920	1935	1970	1970	1945	1945	2075	2100	2150	2150
D mm	1127	1220			1250			1325			1400			
E mm	820	1040			1220			1045			1170			
F mm	320	320			320			420			420			
G mm	330	400			420			430			400			

	V 210			V 320			V 380			V 500			V 550		
	670	850	1600	1600	2100	2920	1600	2100	2920	2100	2920	4250	2920	4250	6700
A mm	6170	6340	6970	7560	7760	8295	7740	7930	8470	8660	9190	9590	9110	9510	10270
B mm	1620			1890			1890			2115			2140		
C mm	2200	2240	2240	2270	2270	2270	2275	2275	2315	2275	2315	2315	2375	2375	2415
D mm	1445	1461			1511			1511			1571				
E mm	1295	1520			1570			1700			1300				
F mm	425	360			420			407			420				
G mm	460	580			660			760			850				

V55 - V70 - V90 - V120 - V160 - V210



V320 - V380 - V500 - V550



NEGRI BOSSI LTD

Unit 2, Titan Business Centre
Spartan Close – Tachbrook Park
Warwick - CV34 6RR - UK
Tel. +44 1926 420303
Fax +44 1926 338271
E-mail: sales@negribossi.co.uk

NEGRI BOSSI FRANCE S.A.S

8, Rue Fulgencio Gimenez
69120 Vaulx en Velin - France
Tel. +33 4 72018090 – Fax +33 4 78973714
E-mail: serv.comm@negribossi.fr

NEGRI BOSSI S.A.

Avda. Prat de la Riba, 184
Naves 2 y 3 – 08780 Palleja - Barcelona - España
Tel. +34 93 6632256 – Fax +34 93 6632319
E-mail: comercial@negribossi.com

NEGRI BOSSI Inc.

5181 Bradco Boulevard
Mississauga (Toronto), Ontario – L4W 2A6 - Canada
Tel. +1 905 6257257 – Fax +1 905 6259991
E-mail: sales@negribossi.ca

SACMI DO BRASIL INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA

Rua Imola 133
13800-970 Mogi Mirim – SP Brasile
Tel. +55 19 38057300 – Fax +55 19 38064999
E-mail: sacmi@sacmi.com.br

NEGRI BOSSI USA

311 Carroll Drive, Bldg. 100
New Castle, DE 19720
Tel. +1 302 328 8020 – Fax +1 302 328-8036
E-mail: sales@negribossiusa.com

NEGRI BOSSI MEXICO

Av. Santa Fe no. 505 - 702
Col. Cruz Manca, Santa Fe – Mexico, D.F. C.P. 05349
Tel. +52 55 5257 5987 – Fax +52 55 2591 0443
E-mail: negribossi.mexico@gmail.com

SACMI MOSCA LTD

119415 Russia Moscow
pr. Vernadskogo 53, office 508
Tel. + 7 495 984 6306
E-mail: Sales-biraghi@sacmi.ru

SACMI ENGINEERING INDIA PVT. LTD NEGRIBOSSİ DIVISION

Plot no – 291/304, near Jekson Hydraulic
Sarkej Bavla Road, Changodar, 382213 Ahmedabad - Gujarat
Tel. +91 02717 250397
Fax +91 02717 250396
E-mail: negribossi.india@gmail.com

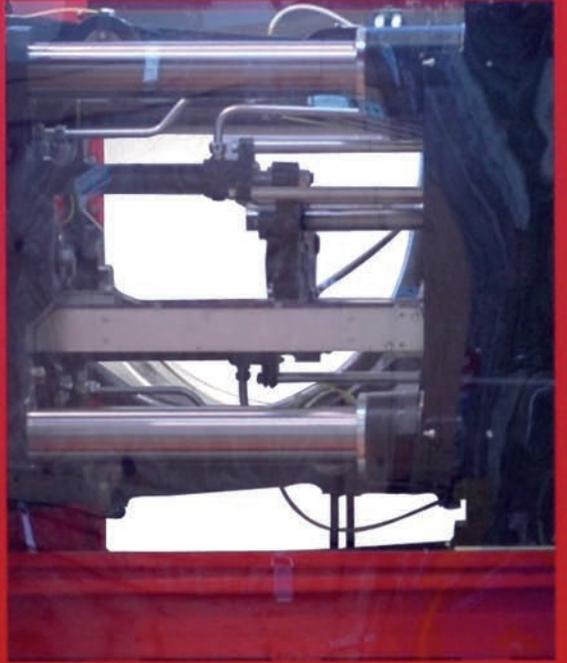
SACMI POLSKA SP Z OO

97-200 Tomaszow Maz.
ul. Warszawska 155
Tel +48 44 725 1503 or 44 723 5541 – Fax +48 44 7250069
E-mail: biuro@sacmi.pl

NEGRI BOSSI S.p.A.

a  **SACMI** company

Viale Europa, 64 20093 Cologno Monzese (MI) - ITALY
Tel. +39 02 273481 - Fax +39 02 2538264
E-mail: nbinfo@negribossi.it www.negribossi.com



Web: www.AdvantageEngineering.com

Phone: 317-887-0729

Temperature Control Units
Water & Oil
30° - 500°F

- **Portable Chillers**
Air & Water-Cooled
20° - 70°F
- **Central Chillers**
Air & Water-Cooled
Packages & Modules
20° - 70°F
- **Pump Tank Stations**
Chilled or Tower Water
200 - 3600 gallons
- **Cooling Tower Cells**
45 - 540 tons
- **Filters**
- **Heat Exchangers**

WARRANTIES

- **Models with LE & HE Control Instruments:**
2 Years covering the entire machine.
4 Years covering the AVT™ valve, control instrument and heater.
Lifetime covering the pump seal.
- **Models with VE Control Instrument:**
2 Years covering the entire machine.
4 Years covering the control instrument.
Lifetime covering the pump seal.
- **Models with 300° Control Instrument:**
2 Years covering the entire machine.
4 Years covering the control instrument.
2 Year covering the pump seal.

SENTRA® SERIES



Sentra® Series temperature control unit, model SK-1035-HE shown with 10 KW heater and 3/4 HP pump.

WATER UNITS

- **30° to 300°F Process Temperatures**
- **1/2 to 7.5 HP Centrifugal Pumps (20 - 100 GPM)**
- **10 to 34 KW Stainless Steel Heaters**
- **1/2" & 3/4" AVT™ Modulating Cooling Valves (LE & HE models)**
- **3/8" - 1" PVT™ Solenoid Cooling Valves (VE & 300°F models)**

CHOOSE THE CONTROL INSTRUMENT THAT FITS YOUR NEEDS



'LE' Series



'HE' Series



'VE' Series



'300' Series

YOUR PROCESS DEMANDS THE MOST DEPENDABLE TEMPERATURE CONTROL UNIT AVAILABLE.

Advantage Sentra® Series temperature control units won't let you down. Every Advantage temperature control unit is supported by application expertise, engineering know how, and un-surpassed service support from experienced technicians.

Since 1977 Advantage has been applying, designing and servicing the best chillers available.

Advantage provides 4 control instrument choices... to fit everyone's unique needs... for every application. From basic temperature control and monitoring to advanced machine diagnostics and primary machine interface, Sentra® temperature control units include accurate and user-friendly control instruments.

APPLICATIONS

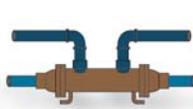
Sentra® Series temperature control units can be used on a variety of process applications that require 30°F to 300°F process water.



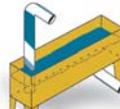
Molds & Dies



Nozzles, Barrels & Tools



Heat Exchangers



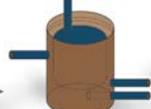
Troughs & Tanks



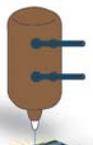
Rolls



Radiators and Air Coils



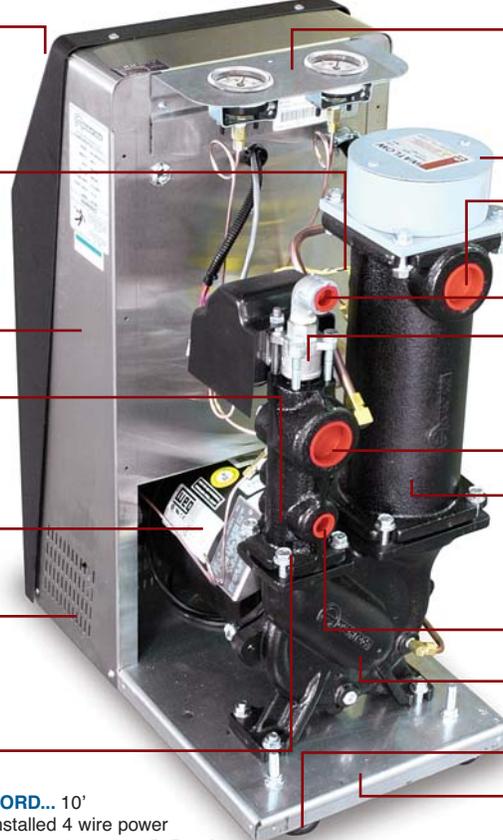
Jacketed Vessels and Mixers



Lasers

THE SENTRA® SYSTEM

The Sentra® is used to preheat a process to the desired operating temperature by engaging the unit's electrical immersion heater and recirculating the water in the system. Upon reaching the operating temperature the Sentra® can continue to add heat or becomes a cooling device by exchanging a small amount of recirculated water with cooling water from an external source. The cooling water is precisely metered into the system by cooling valve.



INSTRUMENTATION... choice of microprocessor instrument offers precise temperature control, machine status and diagnostic information presented in an easy-to-understand interface (not visible from this angle).

SENSOR PROBE... placed in the fluid stream for accurate temperature monitoring. The **To Process** sensor reads process temperature delivered to process. The **High Temperature Limit** protects against overheating. HE & 300° Instruments include a From Process sensor probe.

ELECTRICAL CABINET... hinged door opens to allow full access to electrical components.

FLOW METER... optional accessory on HE instruments monitors process flow. Flow is displayed in GPM (gallons per minute) or LPM (liters per minute). Knowing the process flow is critical for fine tuning heat transfer efficiency.

MOTOR... horizontal orientation extends pump seal service life and assures that water and debris will not foul motor windings.

STAINLESS STEEL CABINET... durable and sturdy construction, vented to dissipate excess process heat, and easy to clean. The rear cover panel is easy-to-remove for access to the mechanical components (panel removed in photo).

COOLING CYLINDER

POWER CORD... 10' factory installed 4 wire power cord (3 power & 1 ground). Ready for installation to customer supplied disconnect. (Not shown in picture).

PRESSURE GAUGES... indicates 'to process' and 'from process' pressure. The operator can determine ΔP , pump direction and other operating characteristics from these gauges.

HEATER... flange mounted for easy service.

TO PROCESS CONNECTION... all unit connection ports are machined into reinforced bosses to provide strong and rigid connections.

COOLING WATER DRAIN CONNECTION

COOLING VALVE... provides precise control and easy maintenance. AVT™ modulating valve on LE & HE models. PVT™ solenoid valve on VE and 300° units.

FROM PROCESS CONNECTION

HEATING CYLINDER... cylinder castings are custom designed to eliminate leak-prone pipe fittings found on competitive models. The Heating and Cooling cylinders are flange mounted to the pump casing.

COOLING WATER SUPPLY CONNECTION

PUMP CASING... with built-in seal flush for extended pump seal service life.

CASTERS... swivel casters allow easy mobility.

GALVANIZED STEEL BASE... provides a rigid, strong, and long lasting support structure.



CLOSED CIRCUIT SYSTEMS... use to isolate the process loop from the cooling loop. The closed circuit kit can be field or factory installed.



WATER PURGE KITS... removes process water from the process to the unit drain. The purge kit is supplied as a factory installed option or a field retrofitted kit.

COMPONENTS

Phone: 317-887-0729 Web: www.AdvantageEngineering.com

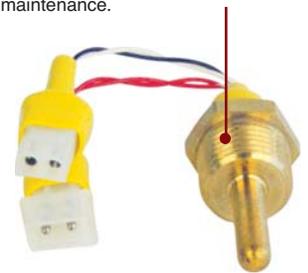
HEATER... 6 KW to 34 KW are offered. The heater is made with an stainless steel sheath. The stainless steel sheath minimizes 'pitting' damage from dissolved chemicals in the process water. The stainless steel sheath also performs well during high temperature duty when compared to copper heating elements. The heater has a flange for bolt-in mounting and an o-ring seal to prevent leaking. The heater is easy to replace if needed.



MERCURY CONTACTOR... engages the heater to add heat to the process circulation. Mercury contactors are more reliable and last longer compared to conventional mechanical contactors.

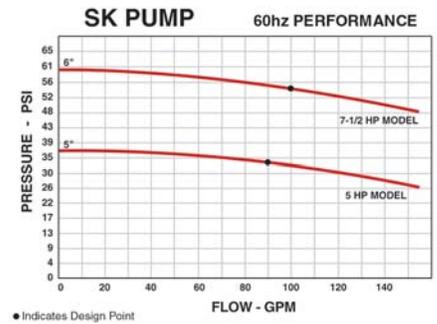
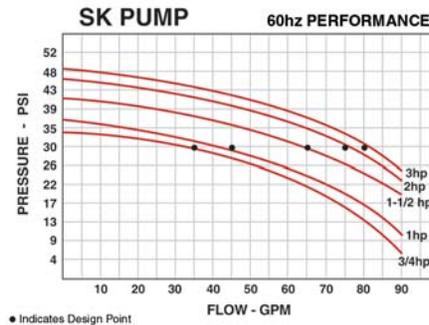


PROBES... solid state temperature sensors are embedded in a threaded bulbwell. All probes are terminated with quick-disconnect plugs to ease service and maintenance.



CENTRIFUGAL PUMP

The custom designed casing and impeller generates 20% more flow with the same horsepower as compared to competitive machines. Standard 3/4 HP pumps produce 35 GPM at 30 PSI. Refer to the pump curves for more details. The pump casing has vertically facing machined ports that receive the heating and cooling cylinder assemblies. This eliminates dozens of flow restricting and leak prone pipe fittings found on some competitive machines. The motor is mounted horizontally to extend bearing and seal life. All Sentra® temperature control units have an open drip proof motor with a stainless steel shaft. A pump seal flush line diverts a portion of the water flow over the pump seal to wash away solids and debris that may damage the seal. The standard shaft seal is covered by a **lifetime warranty** on most standard models.



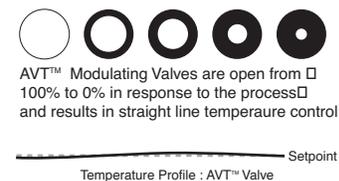
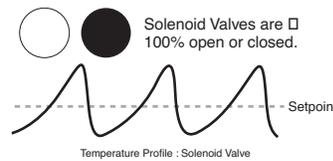
AVT™ MODULATING COOLING VALVE

(LE & HE Models Only)



The Sentra® temperature control unit relies on an external source of cooling water. The patent pending **AVT™ (Advanced Valve Technology)** is the industry's first and only modulating cooling valve designed specifically for temperature control units. The **AVT™** cooling valve offers straight line temperature control by opening or closing in 2000 steps, from 0% to 100% to pass a precise flow to drain. This introduces cooling water from plant supplies with no water hammer

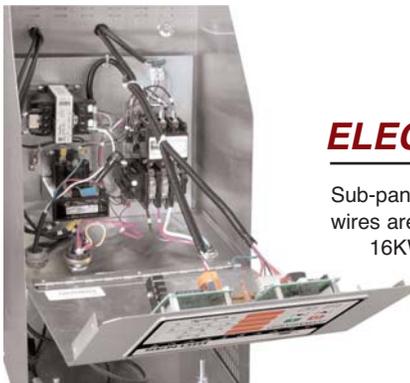
pressure spikes or temperature swings. At start-up the **AVT™** valve opens for about 30 seconds so that trapped air can be purged from the process piping. A 1/2" modulating cooling valve has the approximate cooling capacity of a 1" solenoid valve.



Straight line control is difficult to achieve with a solenoid valve because it is either fully open or closed. As it opens, it passes a slug of over-temperature water to drain and introduces an equal portion of cooling water. As it closes, it creates a pressure spike known as water hammer sending shock waves across the process and rapidly decreasing the useful life of pump seals, O-rings, and other system components. The over-cooling pulse creates wasteful heater operation and consumes electrical energy. The **AVT™** modulating cooling valve eliminates this.

The AVT™ valve provides precise cooling with no water hammer.

The Sentra® cannot achieve temperatures below the cooling water supply temperature and generally will provide slightly warmer water to process compared to the cooling water temperature even with the cooling valve fully open. Your Advantage sales representative can help you select the proper cooling valve for your application.



ELECTRICAL PANEL

Sub-panel mounted electrical components are selected for reliability and are UL approved. Color coded numbered wires are easy to identify for service purposes. A **10' power cord** is included on standard models up to 3HP and 16KW. The **transformer** supplies power to the control circuit. The **motor starter** is a high grade contactor type, tested for over 10,000 cycles. A **mercury contactor** is standard for the heater and is more reliable and lasts longer than mechanical contactors. **NEMA 1** electrical construction is standard and suitable for the majority of applications. **NEMA 12** electrical construction is available.

Phone: 317-887-0729

Web: www.AdvantageEngineering.com

WATER PRESSURE SWITCH... monitors water supply pressure. Minimum supply pressure of 20 PSI is required to maintain process temperatures over 100°F. For process temperatures over 250°F minimum water supply pressure of 55 PSI is critical.

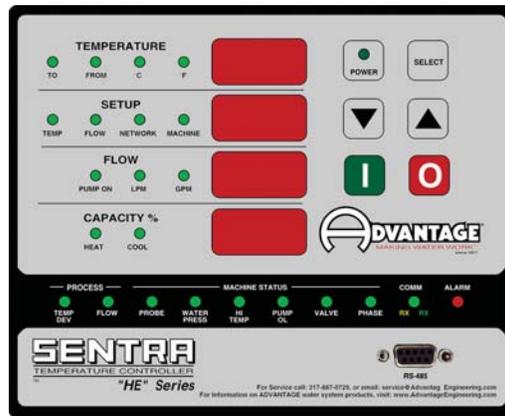


HEATING & COOLING CYLINDERS... separate heating and cooling cylinders are required for precise blending of process and cooling water. Cylinders are cast iron from custom molds with reinforced bosses for process and ancillary connections. The tanks are flange mounted to the pump casing.

PRESSURE GAUGES... 'To' and 'From' process pressure gauges are standard and are placed across the process to provide full process performance information. Pump generated pressure is determined by the difference between the two pressure readings. Plant water supply pressure is indicated when the unit is off and the plant's water supply pressure is on.



CONTROL INSTRUMENTS



FLOW METER... made of high quality elastomer to operate under high temperature and a wide range of flows.



For Process Temperatures up to 250°F.

The **HE Series** provides **Four Large Display Windows** showing 'Temperature', 'Setup', 'Flow', and 'Capacity'. **Process temperatures** can be displayed in Fahrenheit or Celsius. **Setup parameters** are easily programmed. The built-in **flow meter** displays process flow in gallons per minute (gpm) or liters per minute (lpm). **Capacity** displays the heating or cooling capacity in use. Six **OK - Fault Indicators** monitor unit operation and display green for Ok conditions and Visual alarm outputs are provided for temperature and flow deviations. An optional audible alarm is available. **Machine Status Indicators** are provided for 'probe', 'water pressure', 'high temp', 'pump overload', 'valve' and 'phase'. Built-in **SPI Communications** allow for set up and monitoring from a control network. A 20' communications cable is available as an option. The Advantage AVT™ modulating cooling valve is used with this instrument.



For Process Temperatures up to 250°F.

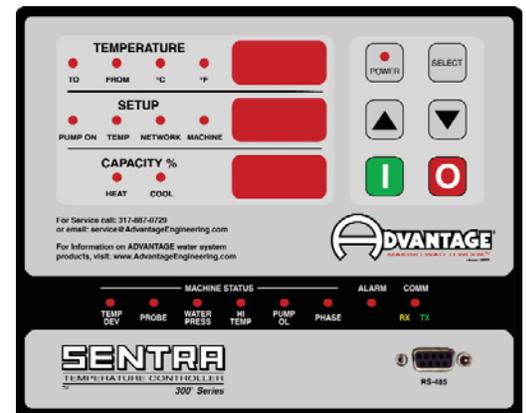
The **VE Series** provides **One Large Display Window** showing 'To Process Temperature'. Status indicators lights show 'Power On', 'Pump On', 'Cool On', and 'Heat On'. The PVT™ pulsed solenoid Cooling is used with this instrument.

The VE Series unit is best suited for application with smaller cooling loads or when operating with a large temperature difference between the cooling water supply and the set point.



For Process Temperatures up to 250°F.

The **LE Series** instrument provides **Two Large Display Windows** showing 'To Process' and 'Setpoint' temperatures. Setup parameters are displayed when necessary. The proximity of these display windows allow instant analysis of unit performance. Temperatures can be displayed in Fahrenheit or Celsius. **Machine Status Indicators** are provided for 'power', 'safety', 'alarm', 'pump', 'heat' and 'cool'. Built-in **SPI Communications** allow for set up and monitoring from a control network. A 20' communications cable is available as an option. The Advantage AVT™ modulating cooling valve is used with this instrument.



For Process Temperatures up to 300°F.

The **300°F Series** is the instrument of choice when the required process temperature exceeds 250°F up to 300°F. Providing **Three Large Display Windows** showing 'Temperature', 'Setup', and 'Capacity'. **Process temperatures** can be displayed in Fahrenheit or Celsius. **Setup parameters** are easily programmed. Six **OK - Fault Indicators** monitor unit operation and display green for Ok conditions and red for Fault conditions. Visual alarm outputs are provided for temperature deviation. **Machine Status Indicators** are provided for 'probe', 'water pressure', 'high temp', 'pump overload' and 'phase'. Built-in **SPI Communications** allow for set up and monitoring from a control network. Modbus™ and other interface methods are optional. A 20' remote communications cable is optional.

The unit requires an external source of water for system filling, pressurizing and cooling. The minimum water supply pressure is 55 psi to operate up to 300°F. A pulsed 3/8" solenoid cooling valve is used with this instrument.

STANDARD FEATURES

TANK CONSTRUCTION:

- Twin tanks - separate heating and cooling tanks
- Cast iron material
- Mild steel on models with 5 and 7.5 hp pumps and 24 and 34 kw heaters
- Machined process connections
- Flange mounted to pump casing
- Replaceable

PUMP:

- Cast iron casing - custom design for increased flow
- High efficiency impeller
- Pump seal flush
- Stainless steel pump motor shaft
- ODP pump motor

COOLING VALVE (LE & HE Models):

- AVT™ modulating valve
- 0 - 100% aperture range
- Microprocessor controlled
- Integral to the cooling tank
- Field serviceable
- Stainless steel construction

COOLING VALVE (VE & 300° Models):

- 3/8" PVT™ solenoid valve
- Microprocessor controlled
- Integral to cooling cylinder
- Field serviceable

HEATER:

- Flanged bolt-in mounting
- Stainless steel sheath
- Mercury heater contactor

CABINETY:

- Stainless steel
- Thermofomed polymer front panel (models up to 3HP and 16KW)
- Hinged electrical cabinet door
- Lift-off mechanical cover
- Portable, on casters

LIMIT DEVICES:

- Water supply pressure
- Motor overloads
- Pressure relief valve
- High temperature
- Fused control circuit

PRESSURE GAUGES:

- To process
- From process

ELECTRICAL:

- Process pump motor starter
- Fused transformer
- 10' power cord (models up to 3HP and/or 16KW)
- 110 volt alarm output (HE, LE, and 300° models)

'LE' SERIES CONTROL INSTRUMENT:

- Continuous *to process* and *setpoint* temperature display
- Temperature display in Fahrenheit or Celsius
- Status indicators for *power on, pump on, heat on, cool on, safety condition* and *alarm*
- RS-485 SPI communications via a DB-9 receptacle

'HE' SERIES CONTROL INSTRUMENT:

- Digital flow indication (gpm / lpm)
- Capacity indication (% or actual)
- Out-of-spec alarms for temperature and flow
- Ok-fault status display for *probe, water pressure, high temp, pump overload, cooling valve* and *phase (pump rotation)*
- Continuous *to process* temperature display
- Continuous *setpoint* temperature display
- Selectable from process temperature display
- Temperature display in Fahrenheit or Celsius
- Setup display for *temperature, flow, network* and *machine*
- RS-485 SPI communications via a DB-9 receptacle

'300°' SERIES CONTROL INSTRUMENT:

- Continuous *to process* and *setpoint* temperature display
- Continuous *capacity* display for heating and cooling
- Temperature display in Fahrenheit or Celsius
- Setup display for *pump on, temperature, network* and *machine*
- Machine status indicators for *temperature deviation, probe, water pressure, high temperature, pump OL* and *phase*
- Status indicators for *Alarm* and *Communications*
- RS-485 SPI communications via a DB-9 receptacle

'VE' SERIES CONTROL INSTRUMENT:

- Continuous *To Process* temperature display
- Selectable *Setpoint* temperature display
- Status indicators for *Power On, Pump On, Heat On,* and *Cool On*

OPTIONS

INSTRUMENTATION:

- HE remote display - 20' cable
- SPI communications cable - 20'

COMMUNICATIONS PROTOCOLS:

- Modbus™ RTU (HE instruments only)
- Modbus™ TCP/IP (HE instruments only)

COOLING VALVE:

- 3/4" AVT™ (LE & HE Models)
- 1/2" - 1" PVT™ (VE Models)

WATER PURGE:

- 1-1/4" for 1/2 - 3HP models
- 1-1/2" for 5 & 7.5 HP models

ELECTRICAL:

- Nema 12 construction

TANK CONSTRUCTION:

- Non ferrous tanks
- Bronze pumps and/or piping
- Total non ferrous units
- Closed circuit designs

SYSTEM ALARMS:

- Audible alarm
- Visual/audible alarm beacon

UNIT:

- Dual zone dolly with water manifold or with electrical junction box
- Stacking stand with water manifold or with electrical junction box

CUSTOM UNIT DESIGNS



Sentra® Series temperature control unit with Nema 12 electrical specifications, master start switch and emergency stop switch..

Advantage staffs a complete CAD based **Engineering Department** with experienced water system designers. Working from customer supplied facility and process information, Our designers can custom design a temperature control unit to your exact specifications, including higher flows and greater heater capacities.

SPECIFICATIONS

	SK-	620	635	645	665	675	680	1020	1035	1045	1065	1075	1080	1090	10100	1620	1635	1645	1665	
Heater¹	KW	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16	
Process Pump	HP	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	5	7 1/2	1/2	3/4	1	1 1/2	
	GPM	20	35	45	62	75	80	20	35	45	62	75	80	90	100	20	35	45	62	
	PSI	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	34	54	30	30	30	30
Full Load Amperage	230 volt	17.0	17.8	18.6	20.2	21.8	24.6	27.0	27.8	28.6	30.2	31.8	34.6	40.3	47.1	42.0	42.8	43.6	45.2	
	@3ø/60hz²	460 volt	8.5	8.9	9.3	10.1	10.9	12.3	13.5	13.9	14.3	15.1	15.9	17.3	20.2	23.5	21.0	21.4	21.8	22.6
Dimensions (inches)	Height	28 1/4	28 1/4	28 1/4	28 1/4	28 1/4	28 1/4	28 1/4	28 1/4	28 1/4	28 1/4	28 1/4	28 1/4	28 1/4	44	44	28 1/4	28 1/4	28 1/4	28 1/4
	Width	12 1/2	12 1/2	12 1/2	12 1/2	12 1/2	12 1/2	12 1/2	12 1/2	12 1/2	12 1/2	12 1/2	12 1/2	12 1/2	16	16	12 1/2	12 1/2	12 1/2	12 1/2
	Depth	19 1/2	19 1/2	19 1/2	19 1/2	19 1/2	19 1/2	19 1/2	19 1/2	19 1/2	19 1/2	19 1/2	19 1/2	19 1/2	24	24	19 1/2	19 1/2	19 1/2	19 1/2
Connections (inches)	T/F³	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	
	S/D⁴	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
Weight (pounds)	Shipping⁵	195	200	205	205	210	220	198	200	208	208	213	223	275	290	200	205	210	210	

	SK-	1675	1680	1690	16100	2435	2445	2465	2475	2480	2490	24100	3435	3445	3465	3475	3480	3490	34100
Heater¹	KW	16	16	16	16	24	24	24	24	24	24	24	34	34	34	34	34	34	34
Process Pump	HP	2	3	5	7 1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	5	7 1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	5	7 1/2
	GPM	75	80	90	100	35	45	65	75	80	90	100	35	45	65	75	80	90	100
	PSI	30	30	34	54	30	30	30	30	30	34	54	30	30	30	30	30	34	54
Full Load Amperage	230 volt	46.8	49.6	55.4	62.2	63.1	63.9	65.5	67.1	69.9	75.5	82.3	88.2	89.0	90.6	92.2	95.0	100.6	107.4
	@3ø/60hz²	460 volt	23.4	24.8	27.7	31.1	31.6	32.0	32.8	33.6	35.0	37.8	41.2	44.1	44.5	45.3	46.1	47.5	50.3
Dimensions (inches)	Height	28 1/4	28 1/4	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
	Width	12 1/2	12 1/2	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	Depth	19 1/2	19 1/2	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Connections (inches)	T/F³	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/2	1 1/2	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/2	1 1/2
	S/D⁴	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
Weight (pounds)	Shipping⁵	220	225	285	300	270	275	280	285	290	295	310	280	285	290	295	300	305	320

Notes: 1. Derate heater output by 25% for 208/3/60 operation. 2. Consult factory for 50hz operations. 3. T - to process; F - from process. 4. S - water supply; D - drain. 5. Approximate unit shipping weight.

OTHER PRODUCTS



Model Designator for Sentra® Series Temperature Control Units

SK - 1035-HE

Sentra® Series
Heater KW
Flow Rate GPM

Instrument
• HE : HE Series
• LE : LE Series
• VE : VE Series
• 300° : 300° Series



Phone: 317-887-0729 Web: www.AdvantageEngineering.com

TEMPERATURE CONTROLLERS • PORTABLE CHILLERS • CENTRAL CHILLERS • PUMP TANK STATIONS • TOWER SYSTEMS • FILTERS

ADVANTAGE ENGINEERING, INC. 525 East Stop 18 Road Greenwood, IN 46142 phone: 317-887-0729 fax: 317-881-1277

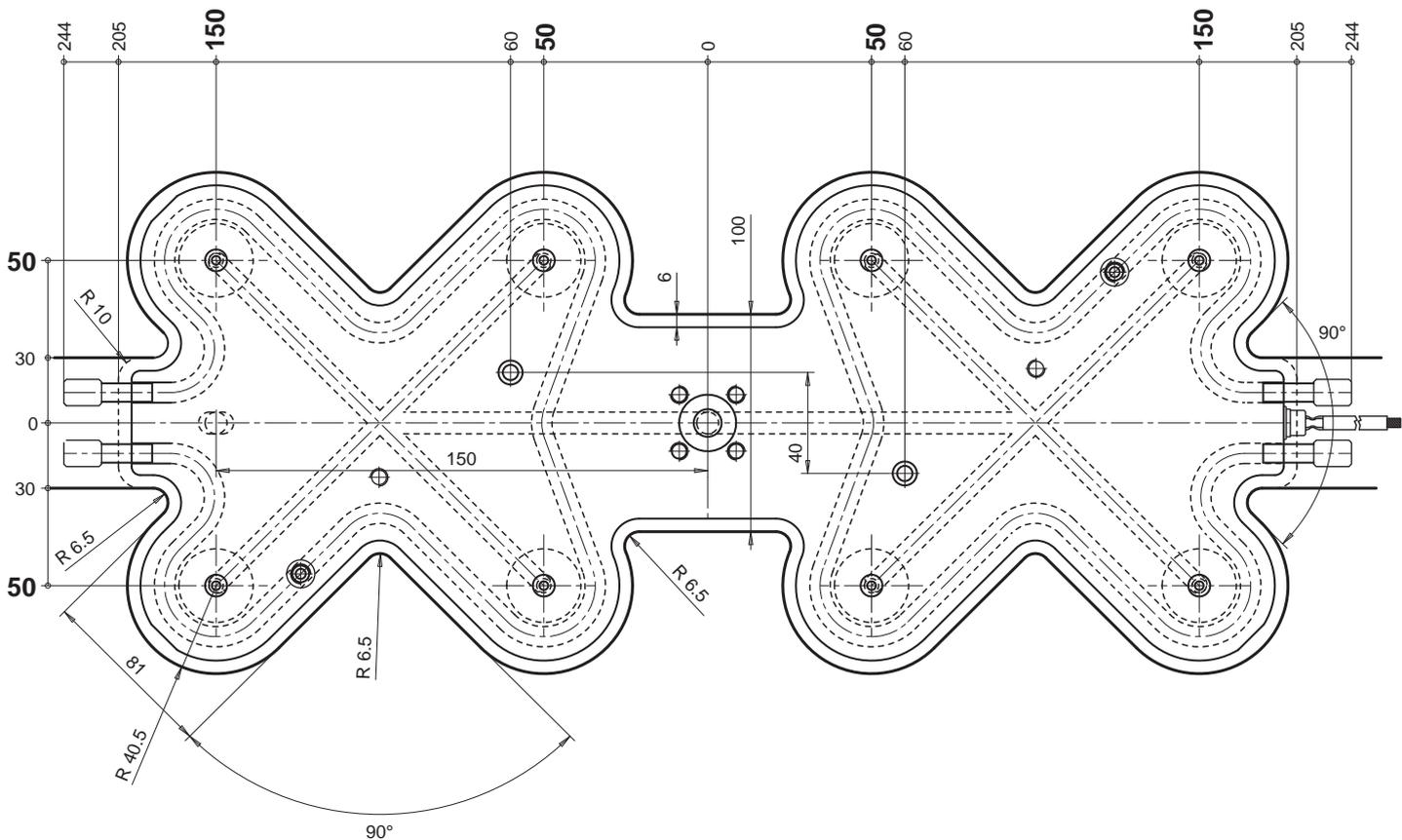
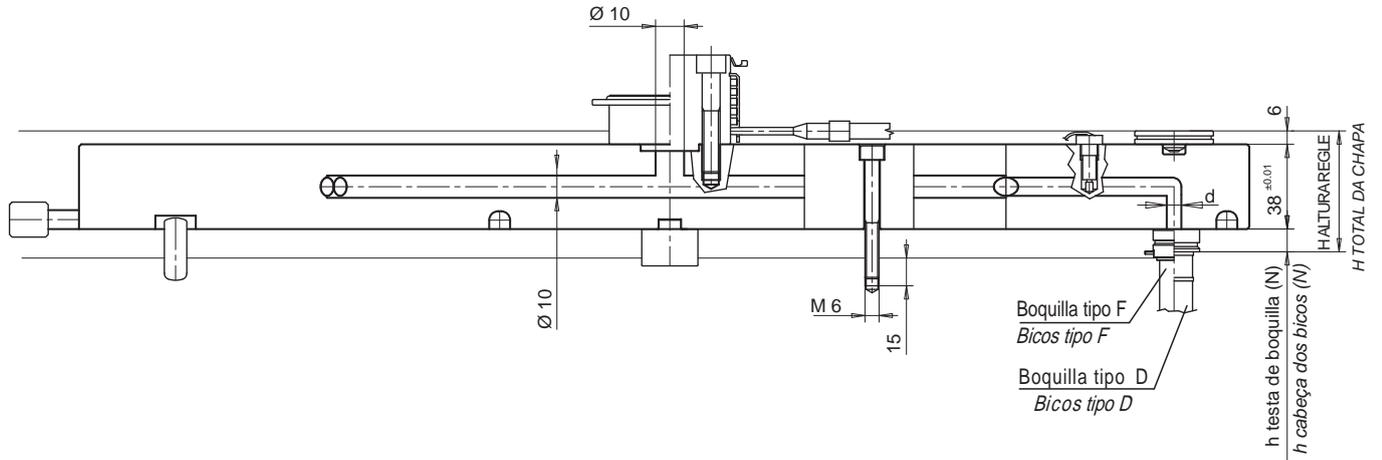
Todos los derechos reservados. web site: www.AdvantageEngineering.com email: sales@AdvantageEngineering.com ©2007 ADVANTAGE ENGINEERING, INC. Form #ADV-609 9/07

SINCE PRODUCT INNOVATION AND IMPROVEMENT IS OUR CONSTANT GOAL, ALL FEATURES AND SPECIFICATIONS ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE OR LIABILITY.

Placas de distribución / Carburadores		
Código / Código	tipo de boquilla / tipo de bico	d
E90285- 45	D22	Ø 4.5
E90285- 60	KS5/8 Ø22 - F16 - F24	Ø 6
E90285- 65	D30	Ø 6.5
E90285- 80	KS5/8 Ø30	Ø 8

RECAMBIO / SUBSTITUIÇÃO					
Código / Código	Descripción / descrição	Cant. / Qtd.	Código / Código	Descripción / descrição	Cant. / Qtd.
E92046	Resistencia 240 Volt Potencia 2000 Watt cada una Resistência 240 Volt Potência 2000 Watt cada	2	E08562	Termopar Fe-CuNi tipo J a masa Termocouple Fe-CuNi type J à massa	2

Para los accesorios ver pagina 25.02 / Para acessórios ver página 25.02



H altura regle / total da chapa = (N + 38 + 6) + [(N + 38 + 6) • Δt • k] - 0.05 = mm

N= testa de la boquilla / cabeça dos bicos

Δt=diferencial de temperatura entre el canal caliente y el molde / Diferença entre a temperatura do carburador e do molde

K=coeficiente de dilatación térmica del acero / Coeficiente de dilatação térmica do aço (= 0.0000125)