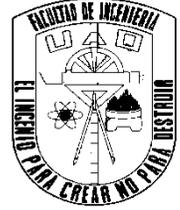




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TESINA PARA OBTENER EL GRADO DE LIC. EN DISEÑO INDUSTRIAL



I. DATOS GENERALES

- Opción de titulación: CURSOS DE ACTUALIZACIÓN

- Título del trabajo:

SISTEMA DE INYECCION APLICADO EN LA INDUSTRIA DEL PLASTICO

- Nombre del pasante: CORINA CARMONA JIMÉNEZ / DIANA GABRIELA MARTÍNEZ DE LA PIEDRA

- Expediente: 134553 / 165733

- Nombre de la licenciatura: LIC. DISEÑO INDUSTRIAL

- Nombre del asesor: MSC. GUILLERMO HIYANE NASHIRO

- Teléfono celular: (044) 4423349393 / (044) 4422193970

ÍNDICE GENERAL

1. Resumen	7
2. Justificación	7
3. Objetivo	7
4. Antecedentes	8
4.1. La máquina de inyección	8
4.2. El plástico	10
4.3. Origen de los plásticos en México	12
5. Introducción	14
5.1. Química	14
5.1.1. Carbono	14
5.1.2. Petróleo	16
5.2. Resinas plásticas (polímeros)	17
5.2.1. Termoplásticos	19
5.2.2. Termofijos	23
5.2.2.1. Cristalino o Semicristalino	24
5.2.2.2. Amorfos	25
5.2.3. Elastómeros	26
5.3. Propiedades de los plásticos	27
5.4. Mecanismos de Polimerización	31
5.4.1. Por adición	32
5.4.2. Por condensación	33
5.4.3. Modificantes	34
6. Contenido	38
6.1. Equipos de inyección de plásticos	38
6.1.1. Unidad de inyección	38
6.1.2. Unidad de cierre	39
6.1.2.1. Tipos de unidad de cierre	40
6.1.3. Unidad de control	41

6.2. Principio de funcionamiento de las máquinas de inyección	41
6.3. Proceso de inyección	42
6.3.1. Parámetros de la máquina de inyección	43
6.3.2. Ciclo del moldeo por inyección	46
6.4. Diseño de moldes	46
6.4.1. Sistemas que conforman un molde de inyección	48
6.4.1.1. Sistema de alimentación	48
6.4.1.2. Sistema de refrigeración	50
6.4.1.3. Sistema de expulsión	52
6.4.1.4. Insertos	54
6.4.2. Tipos de moldes	55
6.4.2.1. Molde de dos placas	55
6.4.2.2. Otros tipos de molde	57
6.4.3. Reglas a considerar en el diseño de moldes	58
6.4.4. Colada fría	60
6.4.5. Colada caliente	65
6.5. Proyecto	67
6.5.1. Material	67
6.5.2. Diseño de la Pieza	70
6.5.3. Diseño de la Colada	71
6.5.5. Molde	73
6.5.6. Análisis Mold Flow	76
6.5.7. Resultados	83
7. Conclusión	88
8. Bibliografía	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Máquina de Inyección	8
Figura 4.2 Pluma fuente, primer artículo de producción masiva en Inglaterra	9
Figura 4.3 Cinta de celuloide	10
Figura 5.1 Carbón	14
Figura 5.2 Barriles de petróleo	16
Figura 5.3 Proceso de petróleo a polímeros	16
Figura 5.4 Conversión a polímeros de etileno	17
Figura 5.5 Conversión a polímeros de polipropileno	18
Figura 5.6 Conversión a polímeros de butadieno	18
Figura 5.7 Clasificación de los plásticos	19
Figura 5.8 Clasificación de los plásticos según su composición	19
Figura 5.9 Arreglo molecular de plásticos cristalinos lo cual en apariencia física resulta ser opaco debido a que refracta el paso de la luz	25
Figura 5.10 Arreglo molecular de plásticos amorfos lo cual en apariencia física resulta ser transparente debido a que permite el libre paso de la luz	26
Figura 5.11 Polímeros de adición	32
Figura 6.1 Unidades que conforman un equipo de inyección de plásticos	38
Figura 6.2 Unidad de inyección	39
Figura 6.3 Sistemas de cierre mecánico (a) e hidráulico (b)	40
Figura 6.4 Esquema de una máquina de inyección	43
Figura 6.5 Proceso de inyección de plástico	45
Figura 6.6 Molde de inyección de plástico	46
Figura 6.7 Componentes de un molde de inyección	47
Figura 6.8 Diferentes geometrías comúnmente empleadas para canales de alimentación	49
Figura 6.9 Patrón de flujo en cavidad con una entrada (a) y con tres entradas (b)	50
Figura 6.10 Dimensiones de los canales y de los parámetros de diseño	52
Figura 6.11 Sistema de expulsión para molde de 3 placas	54

Figura 6.12	Insertos metálicos para piezas de plástico	55
Figura 6.13	Molde de dos placas	56
Figura 6.14	Entrada a cavidad para molde de canales calientes	58
Figura 6.15	Sprue gate	60
Figura 6.16	Edge gate	61
Figura 6.17	Tab gate	61
Figura 6.18	Overlap gate	62
Figura 6.19	Edge gate	62
Figura 6.20	Film gate	63
Figura 6.21	Diaphragm gate	63
Figura 6.22	External ring	64
Figura 6.23	Spoke or multipoint gate	64
Figura 6.24	Pin gate	65
Figura 6.25	Submarine gate	65
Figura 6.26	Sistema de canal caliente	66
Figura 6.27	Desarrollo del proyecto	67
Figura 6.28	Pellets Ultramid B35EG3	68
Figura 6.29	Hoja de datos Ultramid B35EG3	69
Figura 6.230	Botones	70
Figura 6.31	Modelo tridimensional del botón	70
Figura 6.32	Vista superior del modelo del botón	70
Figura 6.33	Planos de la pieza botón	71
Figura 6.34	Planos de la colada	71
Figura 6.35	Modelo tridimensional de los 12 botones con su colada	72
Figura 6.36	Colada y canales de alimentación	72
Figura 6.37	Medidas estándar de los moldes	73
Figura 6.38	Ensamble del molde de inyección	74
Figura 6.39	Sistema de enfriamiento	74
Figura 6.40	Componentes del molde de inyección	75
Figura 6.41	Análisis en Mold Flow de la pieza “botón”	76
Figura 6.42	Mallado de la pieza	76

Figura 6.44 Detalles del mallado de la pieza	77
Figura 6.45 Definición del sistema de enfriamiento	77
Figura 6.46 Sistema de enfriamiento	78
Figura 6.47 Descripción del sistema de enfriamiento	78
Figura 6.48 Ajustes de deformación	79
Figura 6.49 Selección del material	79
Figura 6.50 Características del material	80
Figura 6.51 Tiempo de llenado	80
Figura 6.52 Aire atrapado	81
Figura 6.53 Gráfica de toneladas – tiempo	81
Figura 6.54 Fases de llenado	82
Figura 6.55 Fase de empaque	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1 Aditivos para plásticos	34
Tabla 6.1 Ventajas y desventajas de la colada caliente	66

1. RESUMEN

Utilizando la investigación de los plásticos y de los moldes se construirá un molde de inyección de 12 cavidades con sistema de colada fría y sistema de expulsión de piezas, por el cual, se utiliza un simulador de inyección de piezas plásticas, llamada Mold Flow, donde, indica los puntos críticos de moldeo por inyección, así como posibles fallas de diseño, permitiendo determinar la geometría adecuada de la pieza, como el punto de inyección, dirección de llenado, líneas de partición y comportamiento del material inyectado en el molde.

2. JUSTIFICACIÓN

Esta tesina, está sustentada y justificada por este proyecto; la realización de un molde con sistema de colada fría para una pieza plástica denominado Botón, que, cumpliendo con los requerimientos y normas de calidad de la empresa de inyección de plásticos para la industria textil ofrece al cliente un menor costo y mejor tiempo de entrega que satisface las ventas.

3. OBJETIVO

Diseñar y modelar un molde de inyección de plásticos con sistema de colada fría de 12 cavidades con sistema de expulsión para la fabricación de una pieza plástica: Botón; aumentando la producción y así satisfacer la demanda del mercado.

4. ANTECEDENTES

4.1. La Máquina de Inyección

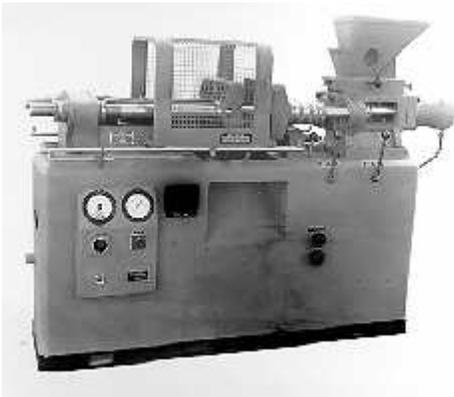


Figura 4.1 Máquina de Inyección

Las máquinas diseñadas para moldear por medio de inyección de materiales termoplásticos; son una consecuencia de las máquinas de fundición a presión para metales.

John Hyatt en 1872 registró una máquina de inyección de nitrato de celulosa, pero a origen de la flamabilidad y peligrosidad, el proceso no se desarrolló, la cual constaba de un pistón que contenía en la cámara derivados celulósicos a compañía alemana Cellon-Werk el haber sido precursor de la máquina de inyección moderna. Esta firma presentó, en 1928, una patente incluyendo la descripción de nitrocelulosa (celuloide). Debido al carácter flamable de la nitrocelulosa, se usaron después otros derivados celulósicos como el etanoato de celulosa. Los británicos John Beard y Peter Delafield, a causa de ciertas diferencias en la traducción de la patente alemana, desarrollaron paralelamente la misma técnica en Inglaterra, con los derechos de patente inglesa para la compañía F.A. Hughes Ltd.

El apogeo de este proceso sucedió entre los años 1930 a 1940 con los manejos para los recientes polietilenos y acrílicos, se observó que el procedimiento permitía la fabricación rápida y económica de artículos útiles. De las máquinas manuales, continuaron las máquinas accionadas hidráulicamente, las cuales, su construcción alcanzaron su verdadero apogeo hasta el final de la Segunda Guerra Mundial. Eran equipos que no necesitaban complicados o costosos sistemas hidráulicos para operar. Por su sencillez se podían instalar en pequeños lugares. A partir de este momento, el desarrollo y la evolución técnica fueron sorprendentes. Se maneja con máquinas totalmente automáticas que no necesitan de la intervención del operador.

El primer proyecto de producción masiva en Inglaterra fue la pluma fuente, desarrollada durante los años 30's por la compañía Mentmore Manufacturing. La misma utilizaba máquinas de moldeo por inyección de

Eckert & Ziegler (Alemania). Estas máquinas trabajaban principalmente con aire comprimido (aproximadamente 31 kg/cm²); el sistema de apertura de molde y la extracción de la pieza eran manejados manualmente, y los controles incluían válvulas manuales, sin control automático ni pantallas digitales; además, carecían de sistemas de seguridad.



Figura 4.2 Pluma fuente, primer artículo de producción masiva en Inglaterra

En 1932 surgió la primera máquina de inyección operada con sistemas eléctricos, desarrollada por la compañía Eckert & Ziger. En 1951 se desarrolló en Estados Unidos la primera máquina de inyección con un husillo recíprocante pero solo fue registrada hasta 1956, siendo así uno de los aportes más importantes en la historia de máquinas inyectoras.

Desde entonces, el desarrollo y evolución técnica fue sorprendente. Actualmente tenemos máquinas totalmente automáticas que no requieren ninguna intervención del operador. Un progreso similar rápido y sorprendente ha tenido igualmente la construcción de moldes.

4.2. El Plástico

El primer plástico fue a causa de un concurso realizado en 1860 en Estados Unidos, cuando se ofrecieron 10.000 dólares a quien produjera un sustituto del marfil (cuyas reservas se agotaban) para la fabricación de bolas de billar. Ganó el premio John Hyatt, quien inventó un tipo de plástico al que llamó celuloide.

El celuloide se fabricaba disolviendo celulosa, un hidrato de carbono adquirido de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol. Con él se comenzaron a fabricar varios objetos como mangos de cuchillo, armazones de lentes y película cinematográfica. Sin el celuloide no se hubiera podido iniciar la industria cinematográfica a fines del siglo XIX. El celuloide puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico.



Figura 4.3 Cinta de celuloide

En 1907 Leo Baekeland inventó la baquelita, el primer plástico calificado como termofijo o termoestable: plásticos que puede ser fundidos y moldeados mientras están calientes, pero que no pueden ser ablandados por el calor y moldeados de nuevo una vez que han fraguado. La baquelita es aislante y resistente al agua, a los ácidos y al calor moderado. A causa de estas características se extendió

rápidamente a numerosos objetos de uso doméstico y componentes eléctricos de uso general.

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos estimulo a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros. En la década del 30, químicos ingleses hallaron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron polietileno (PE). Hacia los años 50 aparece el polipropileno (PP).

Al sustituir el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro se obtuvo el cloruro de polivinilo (PVC), un plástico duro y resistente al fuego, especialmente adecuado para cañerías de todo tipo. Al agregarles diversos aditivos se origina un material más blando, sustituto del caucho, comúnmente usado para ropa impermeable, manteles, cortinas y juguetes. Un plástico similar al PVC es el politetrafluoretileno (PTFE), conocido mejormente como teflón y usado para rodillos y sartenes antiadherentes.

Otro de los plásticos desarrollados en los años 30's en Alemania fue el poliestireno (PS), un material muy translúcido comúnmente usado para vasos, hueveras., etc. El poliestireno expandido (EPS), una espuma blanca y rígida, es usado mayormente para embalaje y aislante térmico.

También en los años 30's se crea la primera fibra artificial, el nylon. Su inventor fue el químico Wallace Carothers, que trabajaba para la empresa Du Pont. investigó que dos sustancias químicas como el hexametildiamina y ácido adípico podían crear un polímero que bombeado a través de agujeros y estirados podían formar hilos que podían tejerse. Su primer uso fue la fabricación de paracaídas para las fuerzas armadas estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial, extendiéndose rápidamente a la industria textil en la fabricación de medias y otros tejidos combinados con algodón o lana. Al nylon le siguieron otras fibras sintéticas como por ejemplo el orlón y el acrilán.

En la presente década, principalmente en lo que tiene que ver con el envasado en botellas y frascos, se ha desarrollado vertiginosamente el uso del tereftalato de polietileno (PET), material que viene desplazando al vidrio y al PVC en el mercado de envases.

4.3 Origen de los plásticos en México

En el sector de la petroquímica, la fabricación de resinas sintéticas es la que presenta una mayor importancia, la producción en México para los plásticos se remonta escasamente a 57 años la cual se ha distinguido por su agilidad en los últimos años, nos encontramos ante una industria fresca que ha desarrollado en forma rápida y normalmente a índices altos a mostrado por el Producto Interno Bruto Nacional (PIB) y al Manufacturero.

Entrándonos en la década de los 40's, la comercialización de los plásticos y los estudios del desarrollo a nivel industrial que ha tenido este sector y la flexibilidad de sus productos han comenzado, lo que les ha permitido adentrarse en mercados que antes eran cautivos de materiales como, el hierro, cobre y acero. Desde 1960 la inflexiones y capacidad de las regiones económicamente fuertes, hicieron incrementar el sector, y como consecuencia el crecimiento de resinas termoplásticas, la demanda de resinas sintéticas mostró un declive significativo durante 1982 a 1984 del orden del 12% en términos globales. En 1986 y 1987 presentó una importante mejoría, y en 1985, 1988 y 1989 un importante crecimiento del 4.5%

Por lo generoso del Poliestireno (PS) se posiciona como uno de los plásticos mas usados a nivel mundial, en 1945 el PS fue el primer plástico que se comercializó en México, y se importaron las primeras máquinas inyectoras en 1957, con la ventaja de obtener de forma industrial artículos iguales y en mayor número para cubrir las demandas del mercado, pero fue hasta 1962 cuando se inició la producción nacional principalmente en la elaboración de productos de embalaje, carcasas de electrodomésticos, cassettes, envases térmicos, etc.

Desde 1947 el PVC se comercializa en México. De 1953 a 1955 se instalaron las primeras plantas productoras de esta resina en el país, sin embargo la mayor evolución tecnológica y la comercialización a nivel internacional se dio con el inicio de la década de los 80's. Y hasta 1987 el PVC mantuvo el liderazgo como la resina de mayor producción. El campo de aplicación mayormente era en tuberías.

Los polietilenos empezaron a comercializarse a partir de 1934, en 1946 se empezó la producción nacional, de 1961 a 1963 se aumentó la producción significativamente por la rebaja de precios de origen. El polietileno fue la resina de mayor producción nacional en 1988. Su uso principal es en el mercado de

envase y embalaje se aplica en película encojible y estirable, empaque de alimentos y recubrimiento de latas, tubería a presión, bolsas grandes y películas.

El polipropileno junto con el polietileno son las dos olefinas o parafinas más significativas, tanto para su uso como por sus propiedades y practica. En 1950 fue descubierto, y comercializado en 1957, ocupando por su consumo, el cuarto a nivel nacional considerando al polietileno de alta y baja como un solo polímero. La mayor aplicación de este material se utilizaba en el sector de rafia para la elaboración de costales para azúcar, granos y otros productos alimenticios, en películas para botanas, chocolates, dulces, productos secos, carnes frías. Debido a la gran demanda de éste, la construcción de la primera planta fue en 1989 y en 1992 se dio la comercialización formal en México.

Fue patentado como un polímero para fibras en 1941, el PET ha presentado una constante evolución tecnológico. A causa de su diferencia obtuvo un gran crecimiento a nivel mundial, principalmente por sus grandes utilidad como empaque. A mediados de la década de los 80's, en México se comenzó a utilizar para este fin. Entretanto en 1989 se consumían en el país 11 mil toneladas, la comercialización de éste hasta la fecha, es de casi 500 mil toneladas. La elaboración de PET empezó a principios de 1987, aunque presentó algunos obstáculos desde su aparición a causa del costo relativamente alto de la materia prima.

Ha incrementado el consumo de polímeros en los últimos años. Las causas que han ayudado en el mercado de los polímeros son los precios de bastantes materiales plásticos que son competitivos y a veces inferiores a los de productos naturales, junto al hecho de que el petróleo ofrece una mayor disponibilidad de materiales sintéticos que otras fuentes naturales. Estos petroquímicos han sustituido parcial y a veces totalmente a muchos materiales naturales como madera, algodón, papel, lana, piel, acero y concreto.

5. INTRODUCCIÓN

5.1. Química

5.1.1. Carbono

En la química del carbono, se abarca el estudio de todas las combinaciones del carbono, ya sean naturales ó artificiales, pero nos centraremos principalmente en el estudio de los hidrocarburos.

El carbono es un elemento químico de número atómico 6 y símbolo C, es sólido a temperatura ambiente. Dependiendo de cómo se forma, puede encontrarse en la

naturaleza en distintos aspectos alotrópicos, carbono amorfo y cristalino en forma de grafito o diamante. Es la base de la química orgánica y se conocen aproximadamente 16 millones de compuestos de carbono, incrementando este número en unos 500.000 compuestos por año, y forma parte de todos los seres vivos conocidos.

Formando el 0,2 % de la corteza terrestre, el carbono puede componer más compuestos que ningún otro elemento por la propiedad de formar enlaces sencillos, dobles y triples.

El carbono es un elemento importante por varias razones, sus formas alotrópicas incluyen, sorprendentemente, una de las sustancias más blandas (el grafito) y la más dura (el diamante) y, desde el punto de vista económico, uno de los materiales más baratos (carbón) y uno de los más caros (diamante), presenta una gran atracción para enlazarse químicamente con otros átomos pequeños, incluyendo otros átomos de carbono con los que puede formar largas cadenas, y su pequeño radio atómico le permite formar enlaces múltiples. Así, con el oxígeno forma el óxido de carbono, vital para el crecimiento de las plantas; con el hidrógeno, forma numerosos compuestos denominados genéricamente hidrocarburos, esenciales para la industria y el transporte en la forma de combustible fósiles; y combinado con el oxígeno



Figura 5.1 Carbón

e hidrógeno forma gran variedad de compuestos como, por ejemplo, los ácidos grasos, esenciales para la vida, y los ésteres que dan sabor a las frutas; además es vector, a través del ciclo carbono-nitrógeno de parte de la energía producida por el Sol.

Se conocen cinco formas alotrópicas del carbono, además del amorfo:

(1) grafito

(2) diamante

(3) fulerenos

(4) nanotubos

(5) carbinos

Una de las distintas formas en las que se puede encontrar el carbono es en el grafito, que es el material del cual está hecha la parte interior de los lápices de madera. El grafito tiene exactamente los mismos átomos del diamante, pero por estar dispuestos en diferente forma, su textura, fuerza y color son diferentes. Los diamantes naturales se forman en lugares donde el carbono ha sido sometido a grandes presiones y altas temperaturas.

Los diamantes se pueden crear artificialmente, sometiendo el grafito a temperaturas y presiones muy altas. Su precio es menor al de los diamantes naturales, pero si se han elaborado adecuadamente tienen la misma fuerza, color y transparencia.

5.1.2. Petróleo



Figura 5.2 Barriles de petróleo

Cuando el petróleo se refina se forman moléculas orgánicas pequeñas, que se conocen como monómeros, que posteriormente se combina para poder formar polímeros resinosos, que se moldean para fabricar productos de plástico.

Del total del petróleo utilizado, el 70% se quema para producir energía, el 20%, lo utilizan diferentes industrias, el 4% la industria petroquímica lo utiliza para diferentes usos y sólo el 6% es empleado en la fabricación de plásticos.

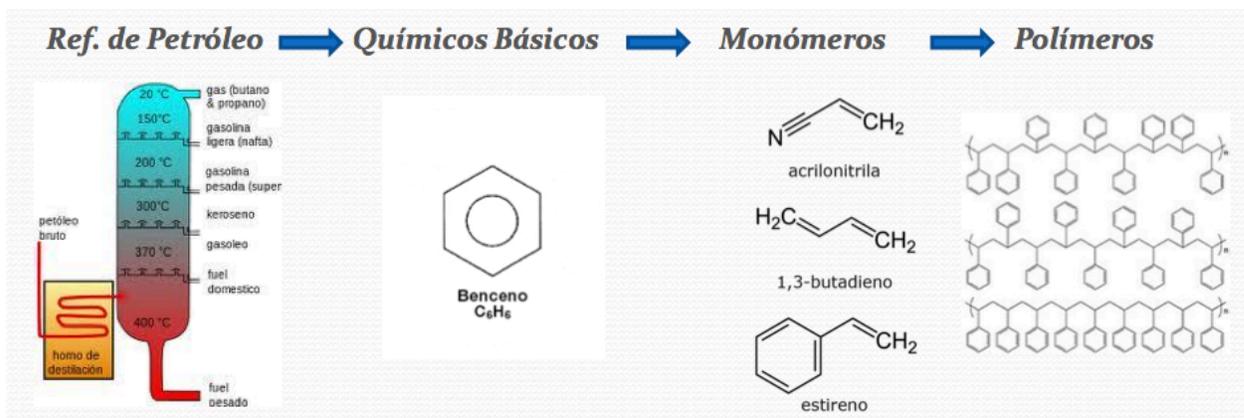


Figura 5.3 Proceso de petróleo a polímeros

5.2. Resinas Plásticas (Polímeros)

Dentro de los materiales poliméricos, las resinas se aplican a todos los polímeros que constituyen la materia prima de base en la producción de los productos plásticos acabados o semiacabados y a las resinas empleadas directamente en obra.

Por su origen las resinas se pueden clasificar en:

- Resinas naturales: de origen vegetal y raramente de origen animal.
- Resinas artificiales: proceden de la modificación química de ácidos grasos, de las resinas naturales y de otras sustancias macromoleculares.
- Resinas sintéticas: proceden de reacciones químicas controladas a partir de materias perfectamente definidas que, en sí mismas, no tienen carácter de resinas.

A un polímero se le conoce como un compuesto que consta de moléculas de cadena larga, cada molécula está formada de unidades repetitivas que se conectan entre sí. Puede haber miles o millones de unidades en una sola molécula de polímero, el término se deriva de las palabras griegas *poly* que significa muchos y *meros* que significa parte.

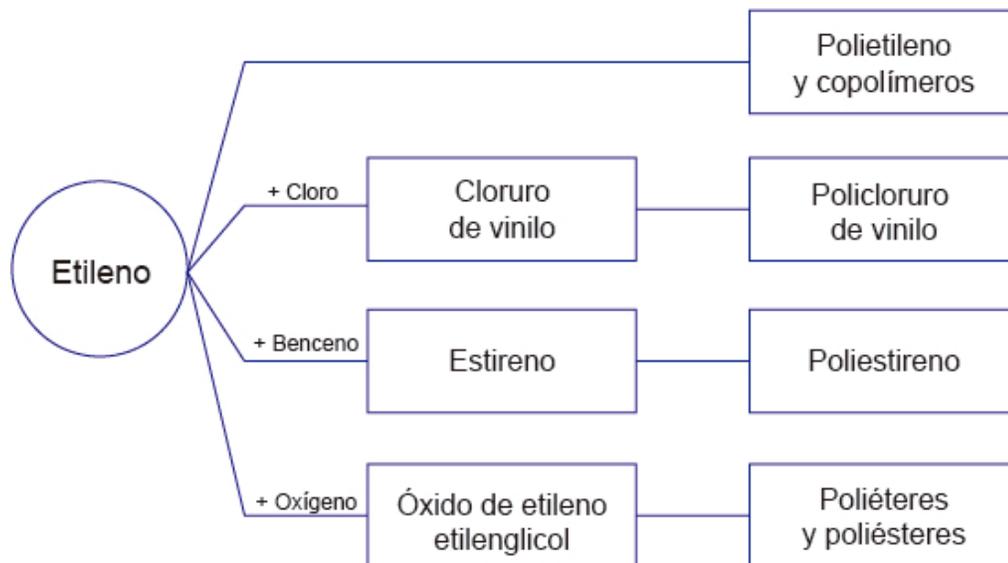


Figura 5.4 Conversión a polímeros de etileno

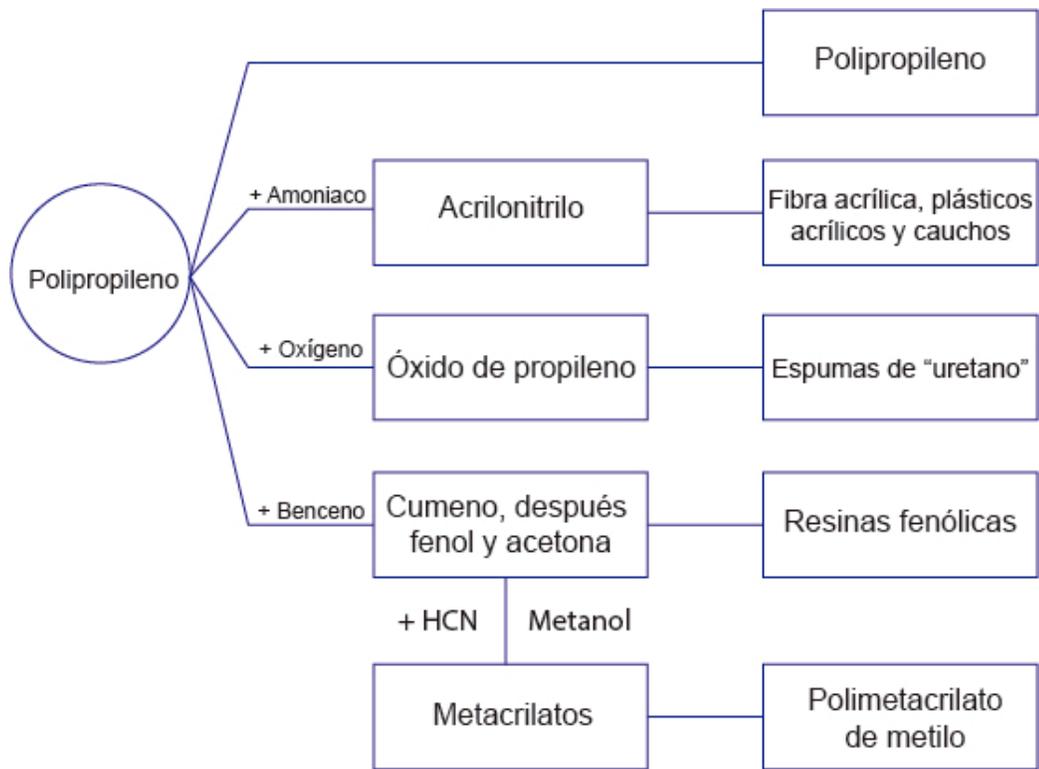


Figura 5.5 Conversión a polímeros de polipropileno

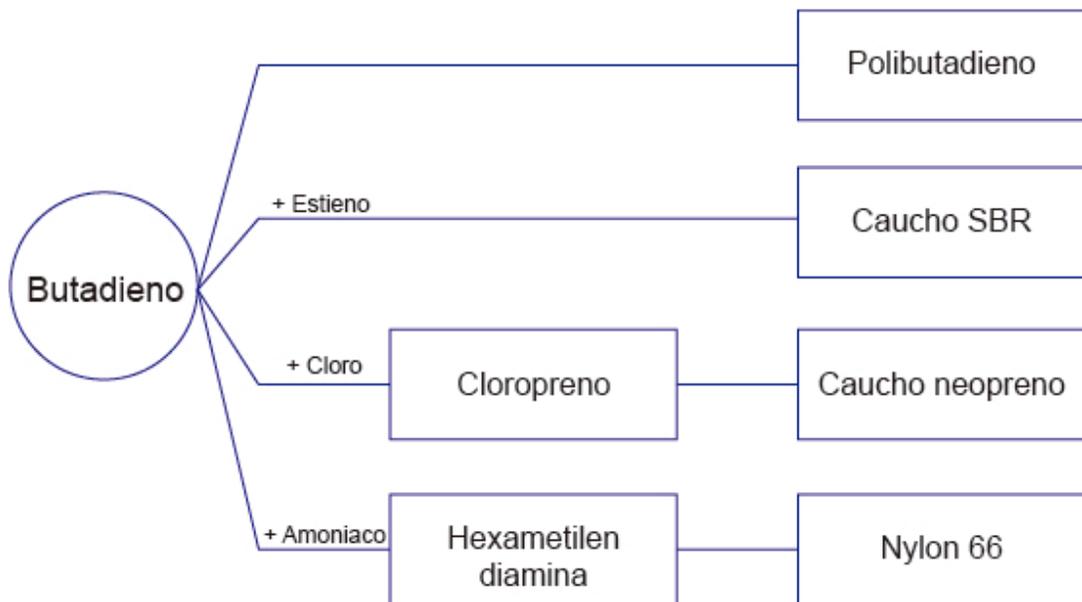


Figura 5.6 Conversión a polímeros de butadieno

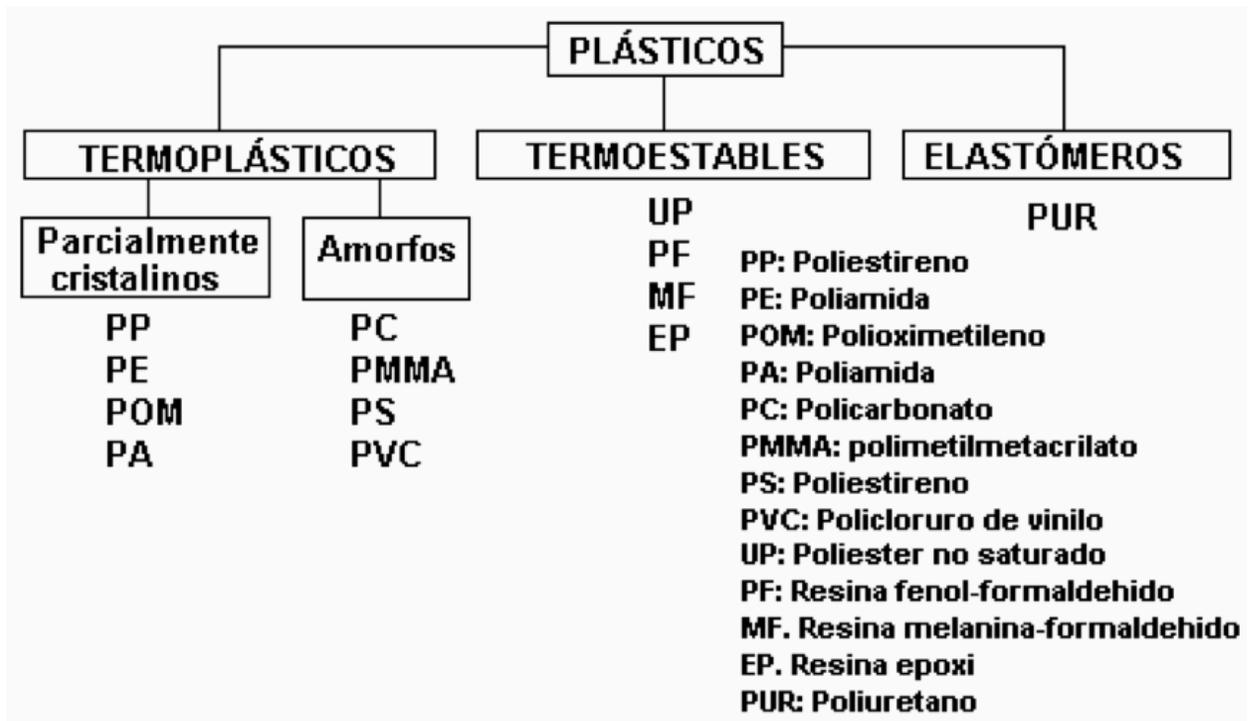


Figura 5.7. Clasificación de los plásticos

5.2.1. Termoplásticos



Figura 5.8 Clasificación de los plásticos según su composición

Son polímeros (lineales, ramificados o no), que de manera reiterativa se pueden reblandecer (plastificar) por la acción del calor y endurecer al enfriarse. Pueden llegar a fundirse sin que tenga lugar su descomposición química siempre que no se alcance una determinada temperatura, denominada de descomposición.

Están constituidos por macromoléculas lineales o ramificadas que, a partir de cierta temperatura, inferior a la de descomposición, deslizan entre sí de modo que el material adquiere una fluidez viscosa.

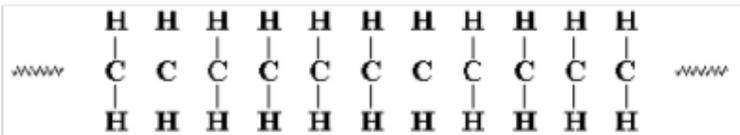
Para que un polímero tenga aplicación como termoplástico debe tener una temperatura de transición vítrea

Tg (si se trata de un material amorfo), o una temperatura de fusión Tm (si se trata de un material cristalino), superior a la temperatura ambiente.

Por lo general los materiales termoplásticos presentan un buen conjunto de propiedades mecánicas, son fáciles de procesar, reciclables y bastante económicos. La principal desventaja deriva del hecho de que son materiales que funden, de modo que no tienen aplicaciones a elevadas temperaturas puesto que comienzan a reblandecer por encima de la Tg, con la consiguiente pérdida de propiedades mecánicas.

Algunos casos de termoplásticos:

-Poliolefinas (polietileno, polipropileno, polibuteno, polisobuteno, etc.)

 <p>PEAD</p>	<p>PEAD (HDPE) Polietileno de alta densidad</p> <div data-bbox="695 877 1435 1012"><p>~~~~~ H H H H H H H H H H H C C C C C C C C C C C H H H H H H H H H H H ~~~~~</p></div> <p>El polietileno de alta densidad es un termoplástico fabricado a partir del etileno a temperaturas inferiores a 70 °C y presión atmosférica (proceso Ziegler-Natta).</p> <p>Polimeriza con estructura lineal (de tipo cristalino), y densidad comprendida entre 0,94 y 0'96 kg/dm³.</p> <p>Es muy versátil y se lo puede transformar de diversas formas: Inyección, Soplado, Extrusión, o Rotomoldeo.</p>
---	---

 <p>PEBD</p>	<p>PEBD. (LDPE) Polietileno de baja densidad.</p> <p>A temperaturas de unos 170 ° centígrados y 1.400 atmósferas de presión el etileno se transforma en un polímero con aspecto de polvillo blanco, estructura muy ramificada (amorfa, algunos de los carbonos, en lugar de tener hidrógenos unidos a ellos, tienen asociadas largas cadenas de polietileno) y densidad comprendida entre 0' 91-0,93 kg/dm³.</p>
--	--



PP Polipropileno

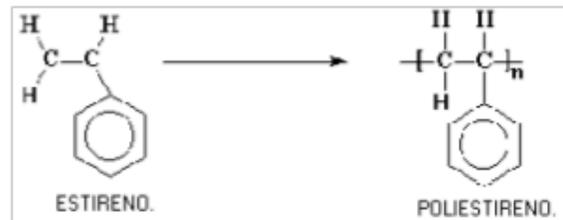


Es un **termoplástico** que se obtiene por polimerización del propileno. Los copolímeros se forman agregando etileno durante el proceso.

-Polimerizados del estireno (poliestirenos, copolímeros ABS y ASA, etc.)



PS Poliestireno



El poliestireno estructuralmente, es una larga cadena hidrocarbonada, con un grupo fenilo unido cada dos átomos de carbono.

Las materias primas para la fabricación del estireno son el **etileno** y el **benzeno**

Hay tres clases de poliestireno:

- **PS Cristal:** Es un polímero de estireno monómero (derivado del petróleo), cristalino y de alto brillo.
- **PS Alto Impacto:** Es un polímero de estireno monómero con oclusiones de Polibutadieno que le confiere alta resistencia al impacto.
- **PS expandido** que es una espuma.

Es **Termoplástico** y fácilmente moldeable a través de procesos de: Inyección, Extrusión/Termoformado, Soplado.

Acrilonitrilo-estireno.
SAN.

El SAN fue desarrollado para conseguir altas fluideces y rigidez a la vez que un buen comportamiento al impacto y transparencia, características que no cumplía el PS ni el ABS.

Se podría definir como un PS mezclado con cauchos, o un copolímero de estireno/acrilonitrilo.

Termoplástico.

-Polímeros halogenados (policloruros de vinilo, copolímeros vinílicos, polietrafluoretileno o teflón, polifloruro de vinilo, etc.)



PVC

PVC. Cloruro de polivinilo

Se produce a partir de dos materias primas naturales: gas 43% y sal común (*) 57%.

$$\begin{array}{ccc}
 \text{H} & & \text{H} \\
 & \backslash & / \\
 & \text{C} = \text{C} \\
 & / & \backslash \\
 \text{H} & & \text{Cl}
 \end{array}
 \xrightarrow{\text{Polimerización}}
 \begin{array}{ccc}
 & \text{H} & \text{H} \\
 & | & | \\
 - & \text{C} & - \text{C} & - \\
 & | & | \\
 & \text{H} & \text{Cl}
 \end{array}$$

Cloruro de vinilo
Policloruro de vinilo

Estructuralmente, el PVC es similar al polietileno, con la diferencia que cada dos átomos de carbono, uno de los átomos de hidrógeno está sustituido por un átomo de cloro.

A este polímero **termoplástico** es necesario añadirle aditivos, plastificantes, elastificantes, cargas y otros polímeros para que adquiera las propiedades que permitan su utilización en las diversas aplicaciones .

Así, puede ser flexible o rígido; transparente, translúcido o completamente opaco; frágil o tenaz; compacto o espumado .

El PVC rígido no lleva aditivos plastificantes . El flexible o plastificado, sí los lleva .

-Ésteres de polivinilo y polmetacrilato (poliacetato de vinilo, polimetilmetacrilato o plexiglas; vidrio acrílico, etc.)

Polimetacrilato de metilo. **PMMA**.

Termoplástico.

$$\begin{array}{ccc}
 \text{H} & & \text{CH}_3 \\
 & \backslash & / \\
 & \text{C} = \text{C} \\
 & / & \backslash \\
 \text{H} & & \text{C} = \text{O} \\
 & & | \\
 & & \text{O} \\
 & & | \\
 & & \text{CH}_3
 \end{array}
 \xrightarrow{\text{Polimerización}}
 \begin{array}{ccc}
 & \text{H} & \text{CH}_3 \\
 & | & | \\
 - & \text{C} & - \text{C} & - \\
 & | & | \\
 & \text{H} & \text{C} = \text{O} \\
 & & | \\
 & & \text{O} \\
 & & | \\
 & & \text{CH}_3
 \end{array}$$

Comercializado bajo la marca Plexiglas.

-Óxidos, sulfonas y similares (Polímeros con cadena de constitución mezclada – heteropolímeros.)



PET
Polietileno Tereftalato

Se produce a partir del Ácido Tereftálico y Etilenglicol, por policondensación; existiendo dos tipos: grado textil y grado botella.

USOS Y APLICACIONES:

Envases de gaseosas, aceites, agua mineral, salsas... (Para el grado botella se lo debe post condensar, existiendo diversos colores para estos usos).
Fibras textiles, Cintas de vídeo y audio, películas radiográficas...
Geotextiles (telas para pavimentación).

CARACTERÍSTICAS:

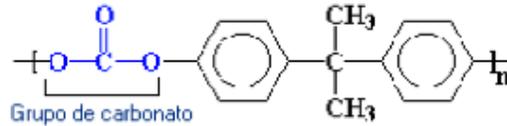
Barrera a los gases - Transparente - Irrompible - Liviano - No tóxico.

Policarbonato. PC.



**Ter
mop
lásti
co.**

El policarbonato toma su nombre de los grupos carbonato en su cadena principal. También se denomina policarbonato de bisfenol A, porque se elabora a partir de bisfenol A y fosgeno.



Es amorfo y transparente , aguanta una temperatura de trabajo hasta 135 °C , y tiene buenas propiedades mecánicas , tenacidad , y resistencia química .

5.2.2. Termofijos

También son conocidos como durómeros o duroplastos. Son materias poliméricas que a causa del calor o mediante agentes endurecedores apropiados, se solidifican de forma irreversible y al fundirse se descomponen químicamente. Se componen de macromoléculas reticuladas en el espacio, que en el proceso de endurecimiento, o de curado, se tejen más estrechamente.

En una primera fase, un producto intermedio (prepolímero) se forma a partir de materias primas de bajo peso molecular, no reticulado o muy poco y por tanto todavía capaz de fundir (y por tanto de rellenar un

molde). La reticulación espacial tiene causa por reacción química (curado) durante el moldeo de la pieza, es decir, durante el proceso de transformación.

Como no funden y no reblandecen deben ser materiales que presentan muy buenas propiedades a elevadas temperaturas, teniendo en cuenta su alta resistencia térmica presentan alta resistencia química, rigidez, dureza superficial, buena estabilidad dimensional, etc.

El acabado es deficiente a diferencia con los de la mayoría de los termoplásticos; por lo general las resinas termoplásticas son muy opacas y en bastantes casos presentan cierta coloración amarillenta.

Debido a que la reacción de polimerización se efectúa dentro de la transformación, los procesos son lentos, teniendo como consecuencia la disminución de la demanda de estos materiales en los últimos años.

5.2.2.1. Cristalino o Semicristalino

El plástico es un material duro a temperatura ambiente, las macromoléculas se sujetan unas a otras mediante fuerzas intermoleculares, y no pueden moverse. Si se llegara a aumentar la temperatura, la movilidad de estas macromoléculas crece, así como su elasticidad y tenacidad, a diferencia de la resistencia del material, que disminuye.

Al pasar la temperatura de transición vítrea (T_G), las fuerzas intermoleculares disminuyen su tamaño, tanto que las macromoléculas pueden deslizarse unas sobre otras cuando actúa una fuerza exterior. La resistencia disminuye considerablemente, mientras que su viscosidad aumenta bruscamente. En este intervalo de temperaturas el plástico se encuentra en un estado termo elástico, parecido al del caucho.

Si sigue aumentando la temperatura, las fuerzas intermoleculares llegan a desaparecer. El plástico pasa de manera continua desde el estado termo elástico al estado fundido. Esta transición se caracteriza por el intervalo de temperaturas de fusión (T_F). No se trata, en este caso, de una temperatura concreta.

Si el calentamiento del plástico continua, llega a producirse, la descomposición de su estructura química. Este límite queda definido por la temperatura de descomposición (T_z).

La temperatura de uso del PVC rígido se encuentra entre los $-10\text{ }^\circ\text{C}$ y los $50\text{ }^\circ\text{C}$, aproximadamente. Superados los $150\text{ }^\circ\text{C}$, este material pasa al estado termoplástico.

La temperatura máxima de uso del termoplástico amorfo PC, con el que se fabrican los compact disc, es

de unos 135 °C. Debido a la temperatura, un compact disc colocado sobre el salpicadero de un automóvil, que por exposición al sol puede calentarse hasta 80 °C, todavía permanece en perfectas condiciones de uso.

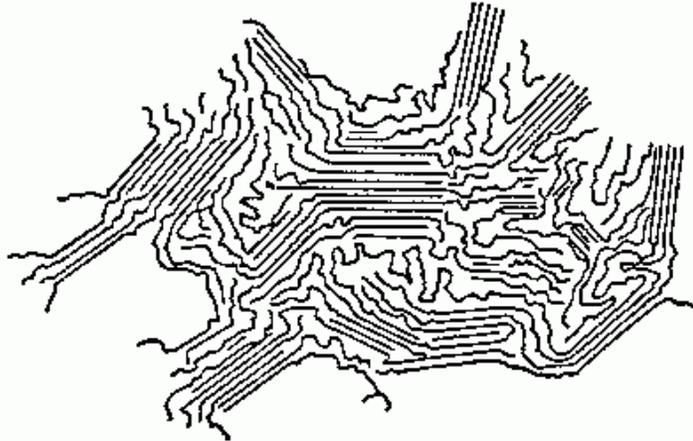


Figura 5.9 Arreglo molecular de plásticos cristalinos lo cual en apariencia física resulta ser opaco debido a que refracta el paso de la luz.

5.2.2.2. Amorfos

En los termoplásticos amorfos, existen dos tipos de zonas. Por un lado, las zonas cristalinas, en las que las moléculas se encuentran estrechamente empaquetadas, y por otro, las zonas amorfas, en las que las moléculas se encuentran más distantes unas de otras. Las fuerzas intermoleculares que aglutinan las zonas cristalinas son considerablemente más intensas que las de las zonas amorfas. El margen de temperaturas en el que las regiones amorfas del plástico llegan al estado termoplástico viene representado por el intervalo de temperaturas de fluencia (T_F); el de las regiones cristalinas, por la temperatura de fusión de las cristalitas (T_K).

Por debajo de la temperatura de transición vítrea (T_G), todas las regiones del plástico se encuentran congeladas, por lo que éste resulta muy duro y frágil. Dentro de este intervalo de temperaturas, el plástico no es útil para aplicaciones prácticas.

Cuando se supera T_G , las primeras moléculas en empezar a moverse son las de las regiones amorfas, ya que en ellas las fuerzas intermoleculares no son tan intensas como en las regiones cristalinas, que

permanecen congeladas. En los plásticos parcialmente cristalinos más comunes, esta temperatura se encuentra por debajo de la temperatura ambiente. El plástico posee ahora tenacidad y resistencia.

Con el aumento progresivo de temperatura, la movilidad de las cadenas moleculares de las regiones amorfas crece cada vez más. En las regiones cristalinas, las moléculas empiezan lentamente a agitarse.

Muy pronto se llega a la temperatura de fluencia (T_F), en la que las fuerzas intermoleculares de las regiones amorfas quedan totalmente contrarrestadas. Un aumento ulterior de la temperatura nos acerca la temperatura de fusión de las cristalitas (T_K). Por encima de la temperatura de fusión de las cristalitas, las fuerzas de enlace son demasiado débiles para impedir el deslizamiento y el desplazamiento de las cadenas moleculares incluso en las regiones cristalinas. Todo el plástico empieza a fundirse. Si siguiéramos calentando, al alcanzarse la temperatura de descomposición T_Z el plástico se destruiría.

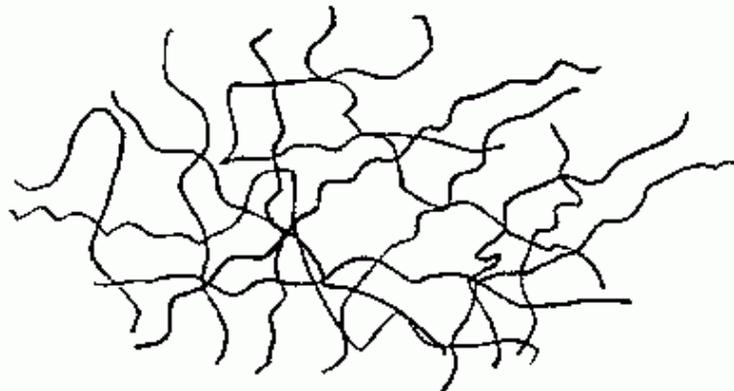


Figura 5.10 Arreglo molecular de plásticos amorfos lo cual en apariencia física resulta ser transparente debido a que permite el libre paso de la luz

5.2.3. Elastómeros

Los elastómeros son sustancias formadas por macromoléculas lineales unidas entre sí transversalmente por puentes de enlace, conocido como reticulación suelta. Las cadenas de polímero se encuentran enrolladas y retorcidas de forma arbitraria, al azar, lo que les confiere gran flexibilidad para permitir que el material sea capaz de soportar deformaciones muy grandes.

La vulcanización es el proceso por el cual los polímeros son entrecruzados.

Son materiales muy tenaces, resistentes a aceites y grasas, al ozono, y presentan buena flexibilidad a

bajas temperaturas; de hecho, todos los elastómeros tienen temperaturas de transición vítrea inferiores a la temperatura ambiente. Presentan, algunas de las desventajas de los termoestables: requieren un procesamiento lento, lo que consume grandes cantidades de tiempo y energía.

Esto ha originado a que en los últimos años se haya evolucionado un grupo de elastómeros conocidos como elastómeros termoplásticos (TR). Pueden estar reticulados de forma química o física.

A continuación se explican las dos formas:

- Químicamente: la reticulación se deshace a temperaturas altas, lo que convierte en termoplásticos amorfos o semicristalinos que, cuando la temperatura sigue aumentando, adquieren consistencia termoplástica. Tiene, por tanto el comportamiento de uso de los elastómeros y el comportamiento de fusión de los termoplásticos.

- Físicamente: consiste por lo general en una mezcla de una matriz termoplástica, generalmente PP, mezclada con un caucho, por lo general EPDM. En este caso la matriz termoplástica permite que el material funda y sea moldeado, mientras que las partículas de caucho contribuyen dando tenacidad y elasticidad al material. En general la capacidad de deformación de los elastómeros termoplásticos es menor que la de los demás elastómeros (elastómeros permanentes).

5.3. Propiedades de los Plásticos

Cada uno de los materiales plásticos tiene una serie de propiedades y características que los hacen ideales para alguna aplicación específica.

Cada una de estas deberá exigir ciertos requisitos para que el polímero tenga una aplicación satisfactoria.

Para facilitar la selección de un plástico, sus características se han clasificado en las propiedades de los mismos.

PROPIEDADES FÍSICAS

- Densidad

La densidad es el peso específico que tienen los plásticos por unidad de volumen, también conocida como densidad neta.

Generalmente viene reportada en las fichas técnicas de las empresas que se elaboran la materia prima, y en algunos casos referida también como gravedad específica.

- Contracción de moldeo

La contracción de moldeo es la característica que tienen los materiales plásticos, que al ser moldeados tienden a reducir sus dimensiones en el momento de solidificación o enfriamiento.

Generalmente viene reportada en las fichas técnicas de las empresas que se elaboran la materia prima, y en algunos casos referida también como gravedad específica.

- Absorción de agua

Es la cantidad de agua que tienden a retener los plásticos reflejándose en un aumento en el peso de la muestra después de estar en contacto continuo con un ambiente húmedo.

Generalmente viene reportada en las fichas técnicas de las empresas que se elaboran la materia prima, y en algunos casos referida también como gravedad específica.

PROPIEDADES MECÁNICAS

- Resistencia a la tensión

Es la capacidad que presentan los plásticos, de oponerse a un estiramiento.

La fuerza nominal al esfuerzo, está definida por la fuerza de tensión por unidad de área.

Generalmente viene reportada en las fichas técnicas de las empresas que se elaboran la materia prima, y

en algunos casos referida también como gravedad específica.

- Elongación

Es la máxima extensión que alcanza una probeta, hasta llegar al punto de ruptura después de ser sometido a un proceso de estiramiento.

Generalmente viene reportada en las fichas técnicas de las empresas que se elaboran la materia prima, y en algunos casos referida también como gravedad específica.

- Resistencia a la compresión

Es la propiedad que presentan todos los plásticos al oponerse a una fuerza que los presiona o comprime hasta obtener su grado de ruptura o deformación.

- Resistencia a la tensión y módulo de flexión

La resistencia a la flexión es la propiedad que tienen los materiales plásticos de soportar un esfuerzo sobre ellos antes de flexionarse.

- Resistencia al impacto Izod

Es la propiedad que presentan los plásticos a resistir un golpe o prolongar una fractura al estar sujeto un extremo de la muestra.

- Dureza Rockwell

Es la resistencia que presentan los plásticos a ser mellados o rayados sobre su superficie.

PROPIEDADES TÉRMICAS

- Temperatura de ablandamiento VICAT

Es la temperatura que puede soportar un plástico antes de deformarse, sin que sobre él se ejerza un

esfuerzo mecánico (estado libre).

- Temperatura de deflexión

Es aquella que soporta un material plástico antes de deformarse cuando está sujeto a una carga continua.

- Resistencia al calor continuo

Es la capacidad que tienen los materiales plásticos de soportar al ser sometidos a una alta temperatura en un lapso de tiempo, sin ningún esfuerzo mecánico hasta llegar a su degradación.

- Conductividad térmica

La conductividad térmica es la cantidad de calor que transmiten los materiales plásticos a través de ellos.

- Flamabilidad

Es la capacidad que presentan los plásticos para arder con mayor o menor intensidad cuando son expuestos a la flama, de acuerdo a su estructura química y dependiendo de la rapidez con la que se consume.

- Calor específico

Es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un material plástico en un grado centígrado por unidad de peso.

PROPIEDADES ELÉCTRICAS

- Resistividad volumétrica

Es la oposición que presentan los materiales plásticos al paso de corriente por unidad de volumen.

- Constante dieléctrica

Es la capacidad de los materiales plásticos de almacenar la energía electrostática dentro de ellos.

- Resistividad dieléctrica

Es la oposición que presentan los materiales plásticos al paso de la corriente eléctrica; esta se expresa en Volts / Unidad de espesor.

- Resistencia al arco

Es el tiempo que tardan los materiales plásticos en soportar la acción de un alto voltaje sobre su superficie, hasta el momento de su fractura.

PROPIEDADES ÓPTICAS

- Índice de refracción

Es la propiedad que tienen los materiales plásticos de desviar la luz cuando esta se hace pasar a través de ellos.

- Transmitancia

Es la propiedad que presentan los materiales plásticos de permitir el paso de luz a través de ellos.

PROPIEDADES QUÍMICAS

- Resistencia a productos químicos

Es el comportamiento de los materiales plásticos cuando son sometidos al contacto directo con agentes químicos.

5.4. Mecanismos de Polimerización

Se entiende por polimerización la reacción química en la que las moléculas de los monómeros se unen para formar polímeros. Existen dos tipos fundamentales de polimerización:

- Polimerización por adición
- Polimerización por condensación

5.4.1. Por Adición

La masa molecular del polímero es un múltiplo exacto de la masa molecular del monómero, pues al formarse la cadena los monómeros se unen sin perder ningún átomo.

El cuadro siguiente muestra algunos de los polímeros de adición más importantes, sus principales aplicaciones, así como los monómeros de los que proceden. Los polímeros basan su nomenclatura en el nombre comercial de los monómeros.

<u>MONÓMERO</u>	<u>POLÍMERO</u>	<u>USOS PRINCIPALES</u>
$\text{CH}_2=\text{CH}_2$ <i>eteno (etileno)</i>	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ <i>polietileno</i>	Bolsas, botellas, juguetes...
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$ <i>propeno (propileno)</i>	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$ <i>polipropileno</i>	Películas, útiles de cocina, aislante eléctrico...
$\text{CH}_2=\text{CHCl}$ <i>cloroeteno (cloruro de vinilo)</i>	$-\text{CH}_2-\text{CHCl}-\text{CH}_2-\text{CHCl}-$ <i>policloruro de vinilo</i>	Ventanas, sillas, aislantes.
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$ <i>fenileteno (estireno)</i>	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-$ <i>poliestireno</i>	Juguetes, embalajes aislante térmico y acústico.
$\text{CF}_2=\text{CF}_2$ <i>tetraflúoreteno</i>	$-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$ <i>PTFE (teflón)</i>	Antiadherente, aislante...
$\text{CH}_2=\text{CCl}-\text{CH}=\text{CH}_2$ <i>2-clorobutadieno</i>	$-\text{CH}_2-\text{CCl}=\text{CH}-\text{CH}_2-$ <i>cloropreno o neopreno</i>	Aislante térmico, neumáticos
$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$ <i>propenonitrilo (acrilonitrilo)</i>	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CN}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{CN}}{\text{CH}}-$ <i>poliacrilonitrilo</i>	Tapicerías, alfombras, tejidos
$\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{COOCH}_3$ <i>metil-propenoato de metilo (metacrilato de metilo)</i>	$-\text{CH}_2-\underset{\text{COOCH}_3}{\text{C}}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\underset{\text{COOCH}_3}{\text{C}}(\text{CH}_3)-$ <i>PMM (plexiglás)</i>	Muebles, lentes y equipos ópticos

Figura 5.11 Polímeros de adición

En la polimerización por adición hay una serie de reacciones, cada una de las cuales consume una partícula reactiva y produce otra similar mediante un mecanismo en cadena (Vincent María, Álvarez Silvia, Zaragoza José Luis, 2006).

5.4.2. Por Condensación

En la polimerización por condensación los componentes iniciales (monómeros) se unen entre sí con desprendimiento de agua u otras moléculas simples. Además, el polímero se forma por medio de una reacción por etapas (Vincent María, Alvarez Silvia, Zaragoza José Luis, 2006). Por tanto, la masa molecular del polímero no es un múltiplo exacto de la masa molecular del monómero. Los principales polímeros de condensación son:

- Homopolímeros:

- Polietilenglicol
- Siliconas

- Copolímeros:

- Baquelitas
- Poliésteres
- Poliamidas

Estas reacciones se realizan generalmente a temperaturas altas para que las moléculas tengan la suficiente energía para reaccionar y que la reacción sea lo más completa posible. Por otra parte, ya que trata de reacciones de equilibrio, es necesario eliminar continuamente las partículas pequeñas (con vacío, destilación azeotrópica, etc.) que se forman, para que las reacciones estén desplazadas hacia las macromoléculas deseadas (Vincent María, Alvarez Silvia, Zaragoza José Luis, 2006).

5.4.3. Modificantes

Las diversas clases de plásticos y sus copolímeros proporcionan una amplia variedad de propiedades, pero no son suficientes para cubrir las muchas demandas de características y aplicaciones especiales que se requieren en el mercado. Los modificantes amplían el campo de aplicación de los plásticos y proporcionan una variación muy matizada de propiedades principalmente los aditivos y cargas.

- ADITIVOS

Se consideran aditivos aquellos materiales que van dispersos físicamente en una matriz polimérica, sin afectar a su estructura molecular. La incorporación de aditivos a plásticos pueden alterar considerablemente las propiedades del material. Los aditivos se clasifican en relación a su función. La concentración de los aditivos en las formulaciones de plásticos se expresa generalmente en peso, referida a 100gr de polímero o phr (partes por 100gr de resina) (Beltrán Maribel, Marcilla Antonio, 2012).

Se adicionan a los materiales plásticos para cumplir 2 funciones principales:

- Modificar y enriquecer sus características de procesamiento y/o desempeño en su uso final.
- Prevenir o proteger al material plástico contra la Degradación Polimérica durante su procesamiento o su vida de servicio.

Muchos aditivos se adicionan al polímero base, durante o en una etapa final de la fabricación del mismo.

En el caso de Termoplásticos, “generalmente” se adiciona a la resina principal, a través de una resina vehículo que es compatible con la resina principal.

En el caso de Termofijos, generalmente se adiciona en mezcla física con la resina a procesar.

Función del aditivo	Tipo de aditivo
Aditivos que facilitan el procesado	Estabilizadores Lubricantes
Aditivos que modifican las propiedades mecánicas	Plastificantes Cargas reforzantes Modificadores de impacto

Aditivos que disminuyen costes de las formulaciones	Cargas Diluyentes y extendedores
Modificadores de propiedades superficiales	Agentes antiestáticos Aditivos antideslizamiento Aditivos anti desgaste Promotores de adhesión
Modificadores de propiedades ópticas	Pigmentos y colorantes Agentes de nucleación
Aditivos contra el envejecimiento	Estabilizantes contra luz UV Fungicidas
Otros	Agentes espumantes Retardantes de llama

Tabla 5.1 Aditivos para plásticos

- PLASTIFICANTES

Según el Consejo de la IUPAC: Un plastificante es una sustancia que se incorpora a un material plástico o elastómero para aumentar su flexibilidad y facilitar su transformación. Un plastificante puede reducir la viscosidad del fundido, rebajar la temperatura de transición vítrea o disminuir el módulo elástico del fundido (Beltrán Maribel, Marcilla Antonio, 2012).

Posibilitan a bajas temperaturas lo que podría hacer el calor a temperaturas más altas, a base de atenuar las fuerzas de tracción entre las moléculas lineales y permitiendo que puedan moverse fácilmente unas con relación a las otras.

Los plastificantes se emplean en concentraciones que pueden oscilar entre 40 y 180 phr.

- CATALIZADORES

La adición de un catalizador a una reacción química hace aumentar la velocidad de reacción. Los catalizadores son muy importantes en la industria química, donde su uso puede aumentar la eficiencia de un proceso químico o hacer disminuir el costo total del fabricante. La adición de un catalizador no afecta directamente la termodinámica de la reacción. El papel de un catalizador es acelerar las reacciones directa e inversa en la misma proporción y como consecuencia reducir el tiempo que se tarda en alcanzar el equilibrio (Avery H.E., 1982).

- ESTABILIZADORES

Los plásticos sin mezcla, tales como la tubería de polietileno o la lámina de cloruro de polivinilo, pueden degradarse cuando se exponen a ciertos ambientes, como por ejemplo la luz solar. Sin embargo, pueden reforzarse con estabilizadores, tales como los absorbentes de rayos ultravioleta y antioxidantes. El negro de humo, por ejemplo, convierte el polietileno, que es un material rápidamente degradable, en otro que resiste muy bien la luz solar y la intemperie. Otros estabilizadores cumplen su cometido sin colorear ni volviendo opaco al plástico (<http://ocw.usal.es/eduCommons/enseanzas-tecnicas/materiales-ii/contenidos/PLASTICOS.pdf>).

- CARGAS

Material sólido añadido a las formulaciones de plásticos y adhesivos, con objeto de reducir costos. Una carga no debería interferir en las propiedades del polímero (propiedades mecánicas, comportamiento reológico, color) y debería dispersarse con facilidad, de modo que la distribución fuera adecuada. Las cargas deben ser baratas, de modo que supongan una clara disminución del costo de la formulación (Beltrán Maribel, Marcilla Antonio, 2012).

La naturaleza química de las cargas es de carácter diverso. Se utilizan desde las sustancias inorgánicas minerales más sencillas, como carbonato de calcio, sulfatos de metales alcalinotérreos, silicatos, sílices y otros óxidos. Entre las cargas orgánicas se encuentran la celulosa, almidón, cáscara de almendra, etc., y se emplean en concentraciones entre 5 y 50 phr (Beltrán Maribel, Marcilla Antonio, 2012).

En general, los materiales cargados presentan peores propiedades mecánicas (resistencia a la tracción e impacto) y problemas de blanqueamiento al aplicar un esfuerzo (deshumedecen), por ello sólo se suelen

emplear para aplicaciones de bajos requerimientos (Beltrán Maribel, Marcilla Antonio, 2012).

- COLORANTES

Una ventaja de muchos polímeros sobre los metales o los cerámicos es que el material en sí puede obtenerse en casi cualquier color. Esto elimina la necesidad de operaciones secundarias de recubrimientos. Los colorantes para polímeros son de dos tipos:

1. Pigmentos
2. Tintes

Los pigmentos son materiales insolubles finalmente pulverizados que se distribuyen uniformemente en la masa del polímero en bajas concentraciones, en general menos de 1%. Añaden opacidad y color al plástico. Los tintes son sustancias químicas surtidas en forma líquida y generalmente son solubles en el polímero. Se usan normalmente para colorear plásticos transparentes como el estireno y los acrílicos (Groover, Mikell P., 1997).

- REFUERZOS

Muchos plásticos se fabrican en forma de material compuesto, lo que implica la adición de algún material de refuerzo (normalmente fibras de vidrio o de carbono) a la matriz de la resina plástica. Los refuerzos deben de estar fuertemente unidos a la matriz, de forma que su resistencia y rigidez sea transmitida al material compuesto. Los materiales compuestos tienen la resistencia y la estabilidad de los metales, pero por lo general son más ligeros. Las espumas plásticas, un material compuesto de plástico y gas, proporcionan una masa de gran tamaño pero muy ligera.

- LUBRICANTES

La función de los lubricantes consiste en disminuir la fricción de las moléculas de polímero entre sí, de modo que mejore el flujo del material. Idealmente deben ser compatibles con el polímero sólo a temperaturas altas. Si la compatibilidad se mantiene también a temperaturas bajas, el lubricante debe usarse en pequeñas concentraciones. Un exceso de lubricación podría provocar el deslizamiento excesivo de las partículas entre sí y de las partículas sobre las superficies metálicas. Esta situación daría lugar a una velocidad menor de fusión y, en consecuencia, provocaría una disminución en la producción (Beltrán Maribel, Marcilla Antonio, 2012).

6.1. Equipos de Inyección de Plásticos

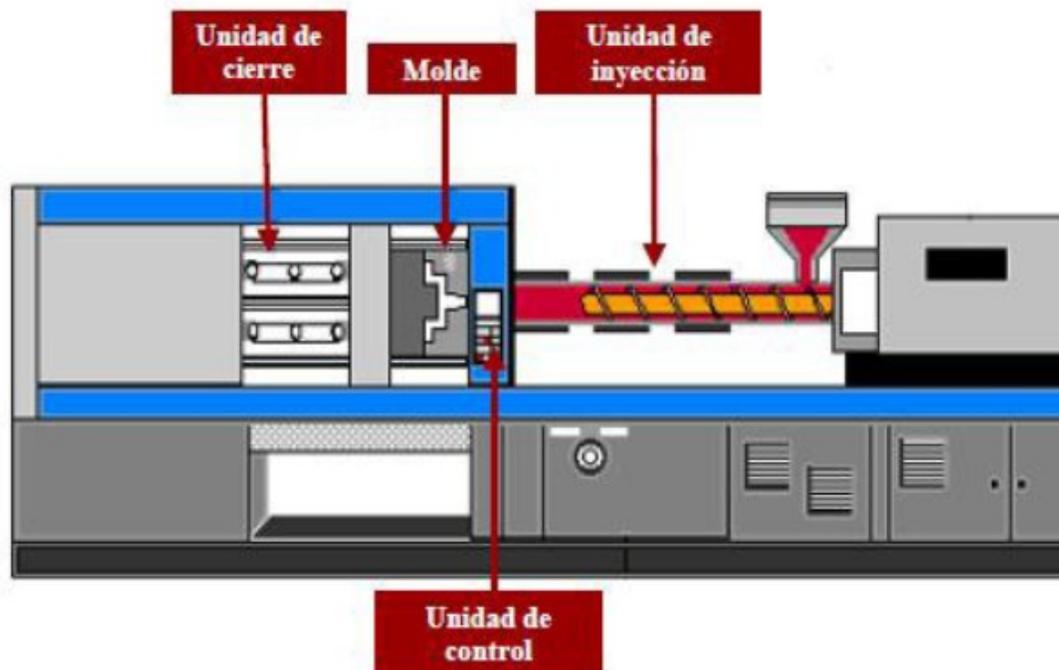


Figura 6.1 Unidades que conforman un equipo de inyección de plásticos

6.1.1. Unidad de Inyección

Su función principal será el de fundir, mezclar e inyectar la resina plástica. La unidad de inyección se parece mucho a un extrusor. El sistema está formado por un ciclo conectado, en uno de sus extremos, a una tolva de alimentación que contiene una provisión de pellets de plástico. Dentro del cilindro hay un tornillo cuya operación supera a la de tornillo de extrusión en el sentido de que además de girar para mezclar y calentar el polímero, también actúa como un émbolo que mueve rápidamente el plástico fundido hacia adelante para inyectarlo en el molde. Una válvula de no retorno, montada cerca de la punta del tornillo, previene que la fusión fluya hacia atrás a lo largo de la rosca del tornillo. Al final del ciclo de moldeo el émbolo vuelve a su posición original. Debido a esta acción dual se le llama tornillo reciprocante, cuyo nombre identifica al tipo de máquina (Groover, Mikell P, 1997).

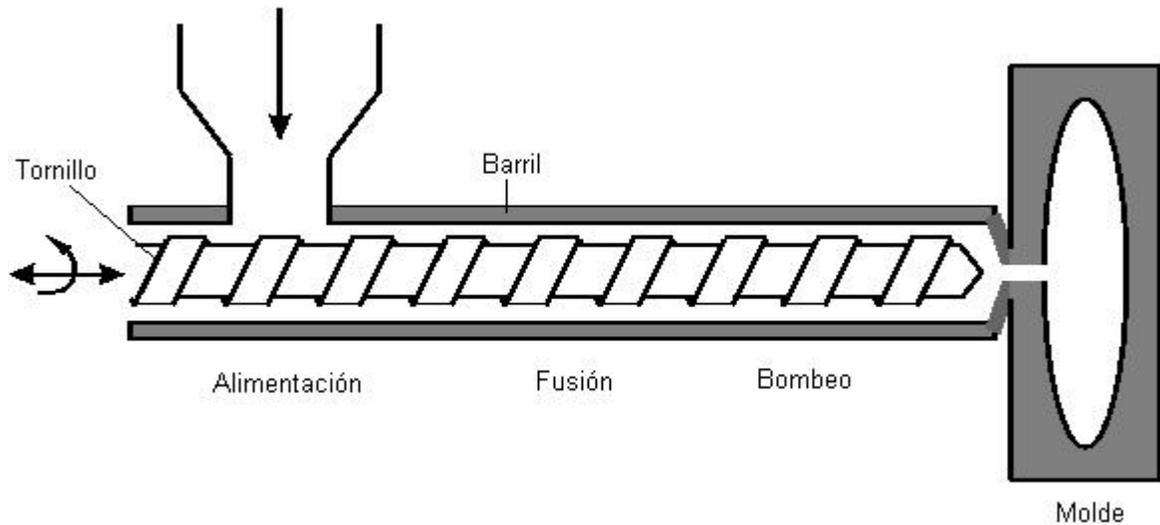


Figura 6.2 Unidad de inyección

6.1.2. 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.

La fuerza de cierre es aquella que mantiene unidas las dos mitades del molde mientras, en la cavidad de moldeo, se desarrolla la máxima presión como consecuencia de su llenado. La presión en la cavidad de moldeo es inferior que la presión de inyección, si bien se desarrolla una fuerza que tiende a separar las dos mitades del molde y que viene dada por el producto de la presión máxima en la cavidad de moldeo (presión de compactación) por el área proyectada de ésta. Esta fuerza interna del molde puede ser muy grande y necesita ser contrarrestada por una fuerza de cierre que, en todo momento, sea superior a ella asegurando así que el molde se mantiene cerrado durante la inyección (Beltrán Maribel, Marcilla Antonio, 2012).

6.1.2.1. Tipos de unidad de cierre

- Mecánica
- Hidráulica
- Eléctrica

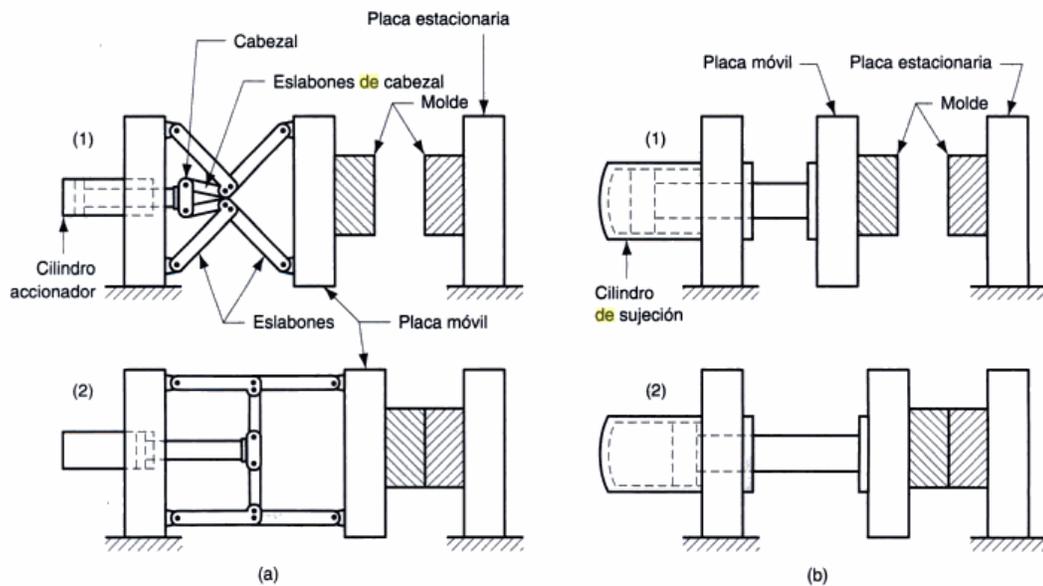


Figura 6.3 Sistemas de cierre mecánico(a) e hidráulico (b)

- MECÁNICAS

Un accionador mueve los cabezales transversales hacia adelante, extendiendo los eslabones articulados para empujar la placa móvil hacia la posición de cerrado. Al principio del movimiento la potencia mecánica es baja y la velocidad es alta, pero cerca del final de la corrida la situación se invierte. Los sujetadores articulados proporcionan así, alta velocidad y alta fuerza en puntos diferentes del ciclo cuando dichos parámetros no son necesarios. Los sujetadores articulados se accionan ya sea por cilindros hidráulicos o tornillos movidos por motores eléctricos (Groover, Mikell P., 1997).

- Costo inicial menor que las hidráulicas y eléctricas.
- Mantenimiento más fácil que el hidráulico.
- Capacidad de cierre menor en tonelajes.
- Más limpias y silenciosas que las hidráulicas.

- **HIDRÁULICAS**

Se usa en máquinas de moldeo por inyección de alto tonelaje, típicamente de 150 a 1000 tons. Estas unidades son más flexibles que la sujeción articulada, ya que hacen posible fijar el tonelaje en determinadas posiciones durante la corrida (Groover, Mikell P., 1997).

- Costo inicial menor que las Eléctricas.
- Uso de Potencia Hidráulicas: mantenimiento mayor.
- Más común utilizados en las empresas de inyección.
- Uso de mayores presiones de cierre.

- **ELÉCTRICAS**

- Costo inicial mayor.
- Ahorro de más de 60% de energía.
- Más precisas y exactas (Tolerancias más cerradas ya que no hay aceite que cambie su viscosidad con tiempo y temperatura).
- Más limpias y silenciosas.
- Para usos de partes médicas.

6.1.3. Unidad de Control

La unidad de control proporciona la repetitividad de las operaciones de la máquina. Controla todos los parámetros de proceso, temperatura, presión de velocidad de inyección y posición del husillo. Es muy importante ya que de ello depende la calidad de las piezas finales y por tanto la economía del proceso (Rodríguez Julián, Castro Lucas, Del Real J. Carlos, 2006).

6.2. Principio de Funcionamiento de las Máquinas de Inyección

En el proceso de inyección fluye un polímero fundido a través de conductos cuyas paredes están más frías que el mismo polímero, y se conduce hasta llenar un molde en el que las paredes están frías también. El

modelado de plásticos es un proceso muy complejo, aunque existen algunos softwares comerciales ampliamente extendidos como el MOLDFLOW, que han contribuido al desarrollo actual de esta técnica. El moldeo por inyección es, posiblemente, el método de transformación más característico de la industria de plásticos, y de hecho las máquinas de inyección modernas son un ejemplo de máquinas ideadas y fabricadas con vistas a la producción masiva de piezas.

Los polímeros conservan la forma tridimensional que tomaron del molde cuando son enfriados por debajo de su Temperatura de Fusión.

6.3. Proceso de Inyección

Actualmente, el 32% de todos los plásticos es moldeado por inyección debido a la capacidad de producir en grandes cantidades partes complicadas de un modo preciso. Es casi imposible encontrar un conjunto sin que se hayan utilizado partes moldeadas por inyección. Se utilizan en un gran número de aplicaciones como son piezas del interior de automóviles, bastidores electrónicos, artículos para el hogar, equipamiento médico, etc. (Rodríguez Julián, Castro Lucas, Del Real J. Carlos, 2006).

El proceso de moldeo por inyección requiere de la fundición del plástico en una extrusora y de la utilización del tornillo de la extrusora para inyectar el plástico en un molde, donde es enfriado (Rodríguez Julián, Castro Lucas, Del Real J. Carlos, 2006).

El moldeo por inyección es un proceso de producción de piezas plásticas. El polímero a moldear se agrega a una tolva, de ésta pasa al sistema barril-tornillo en el que el material es calentado, homogeneizado y es llevado a la boquilla para posteriormente ser inyectado en las cavidades del molde, donde obtiene la forma final.

Las máquinas inyectoras son muy diversas y poseen distintas características, pero por lo general, están compuestas por una tolva, que es una especie de embudo en el cual el material es colocado para alimentar un barril. Éste posee resistencias eléctricas, que son las encargadas de calentar el material, al mismo tiempo que lo hace la fricción generada por el tornillo ubicado dentro del barril, sobre el material al homogeneizarlo. El tornillo es girado por un motor eléctrico y a su vez es controlado por un sistema que permite programar la velocidad de giro y los tiempos que emplea la máquina en cada paso del proceso.

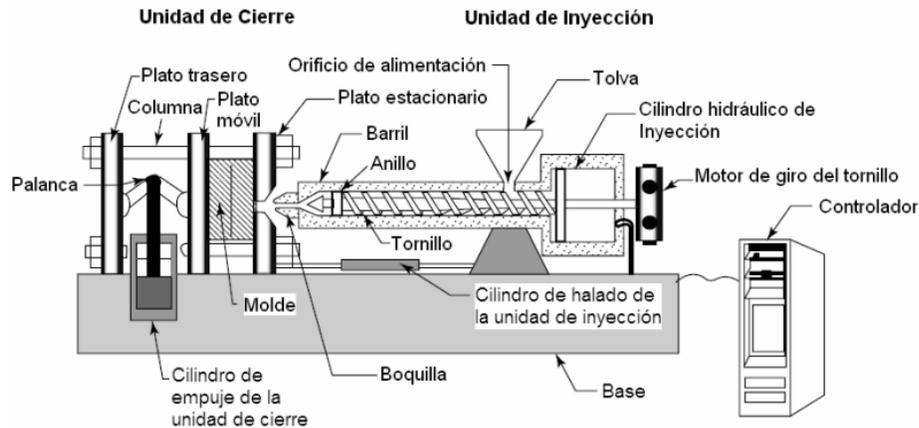


Figura 6.4 Esquema de una máquina de inyección

6.3.1. Parámetros de la Máquina de Inyección

En el proceso de inyección hay diversas variables que afectan el comportamiento del polímero, y por tanto, deben ser determinadas para lograr un ciclo de inyección correcto. Entre estas variables se encuentran:

Velocidad de inyección: determina el tiempo en que las cavidades del molde serán llenadas y está dada por la presión con la que el tornillo empuja el polímero hacia el molde. Cuando se plantea una pieza para ser fabricada por inyección se intentará maximizar la producción, minimizando la duración del ciclo, que es el tiempo que se necesita para derretir el plástico, inyectarlo en el molde, enfriarlo y obtener una pieza terminada. Depende de la capacidad de la máquina de mantener constante la velocidad de empuje del tornillo, variando la presión hidráulica ejercida. Esta variable es muy importante pues de ser muy alta podría provocarse degradación del material o excesivos esfuerzos residuales en la pieza; y de ser muy baja el material podría enfriarse en los canales dificultando el llenado, así como también el material podría no tener la orientación deseada y lo más importante: se aumentarían los tiempos de ciclo y se reduciría la producción (D. Rosato y M. Rosato, 2000), (J. Bozzelli, 1999), (Rodríguez Julián, Castro Lucas, Del Real J. Carlos, 2006).

Presión de inyección: está directamente relacionada con la velocidad de inyección, pues de este parámetro depende la velocidad de llenado, pero a su vez, depende de las dimensiones del tornillo, la boquilla y de las condiciones del compuesto a inyectar, como la temperatura del mismo, ya que a medida

que ésta es mayor, la viscosidad del material disminuye y la presión necesaria para desplazar el fundido es menor (D. Rosato y M. Rosato, 2000), (J. Bozzelli, 1999).

Temperatura de fundido: es una de las variables más difíciles de controlar pues el polímero es calentado mediante dos vías diferentes: bandas de calentamiento, colocadas en las paredes del barril y la fricción generada por los esfuerzos de corte a medida que el material avanza dentro del barril por acción del tornillo. Los transductores empleados miden, principalmente, la temperatura del barril y no la del material, lo que deja un error en la medición que debe disminuirse al calibrar los controladores. Las temperaturas empleadas dependen de muchos factores, como lo son: la naturaleza del material, el tiempo que vaya a permanecer el mismo en la máquina, la velocidad de plastificación del tornillo, las conductividades térmicas de los elementos de la máquina en contacto con el material y el área de contacto de los mismos, entre otros (D. Rosato y M. Rosato, 2000), (J. Bozzelli, 1999).

Temperatura del molde: no es un parámetro que pueda fijarse en los controles de la máquina, pero de éste depende en gran medida el aspecto final de la pieza, ya que, de ser ésta muy baja, el material puede solidificarse en la superficie del flujo, formando una "piel", la cual causa inestabilidad de flujo y dificulta el llenado de las cavidades. Por otra parte, si ésta no lo es, el tiempo de enfriamiento requerido es mayor, lo que aumenta los tiempos de ciclo y reduce la producción. Por lo general, viene dada por el agente refrigerante empleado y por la temperatura y tasa del flujo del mismo (D. Rosato y M. Rosato, 2000), (J. Bozzelli, 1999).

Presión sostenida o de compactación: se usa en procesos de inyección de dos etapas. En la primera etapa de estos, se llena aproximadamente el 99% de la cavidad, mientras que en la segunda se completa el llenado al mantener una presión sostenida, siendo este tipo de procesos el más común en la industria. La presión sostenida es sumamente importante, pues se aplica al mismo tiempo que se enfría el material y evita que las piezas puedan deformarse luego de ser desmoldadas, si los valores escogidos son lo suficientemente altos (sin llegar a causar daño en el molde). Una presión sostenida excesiva es posible causa de piezas con dimensiones irregulares, pérdida de material, y otros problemas que llevan a desechar las piezas obtenidas (D. Rosato y M. Rosato, 2000), (J. Bozzelli, 1999).

Tiempo de ciclo: el tiempo de ciclo viene determinado por la sumatoria de los tiempos de inyección (llenado), enfriamiento, presión sostenida y de expulsión. De los cuales el más significativo es el de enfriamiento que es en muchos casos el 90% del tiempo de ciclo.

Aun así, no es necesariamente el más importante, pues aunque de él depende en gran medida el aspecto final de la pieza, las propiedades de la misma dependen más del tiempo de inyección. En cuanto al tiempo de presión sostenida, es hasta cierto punto tan importante como el tiempo de enfriamiento, pues durante este tiempo el material también está enfriándose, pero su función es independiente pues durante el tiempo de enfriamiento, específicamente, no se está ejerciendo presión sobre la cavidad para compactar el material (D. Rosato y M. Rosato, 2000), (J. Bozzelli, 1999)

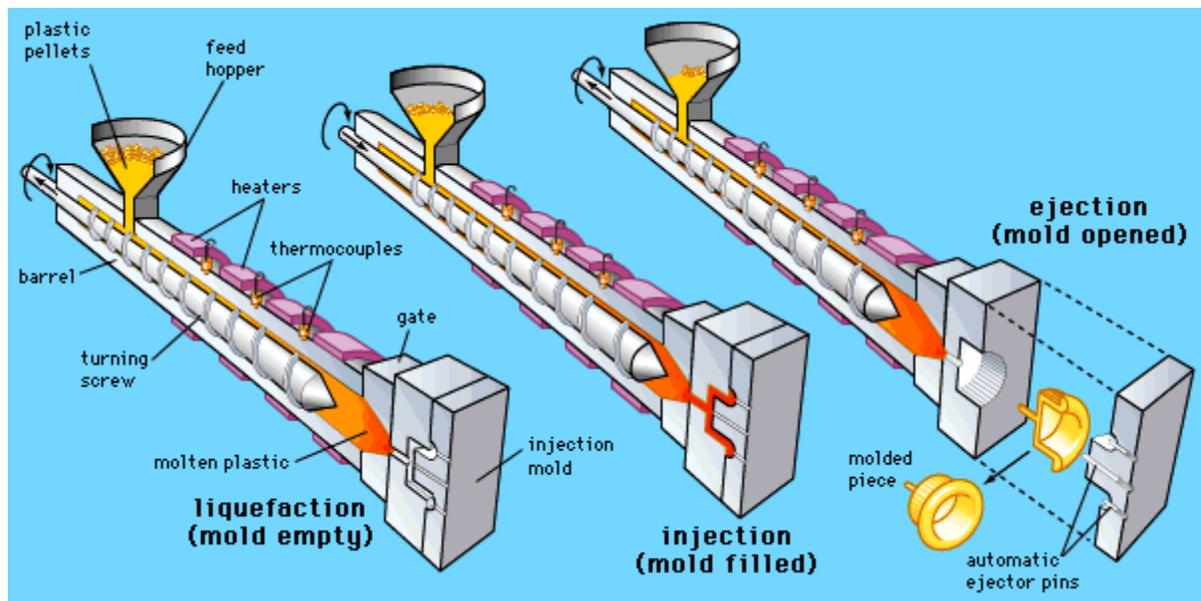


Figura 6.5 Proceso de inyección de plástico

En el proceso de Inyección, la masa termoplásticas sometidos a presión y temperatura, pasa la masa del estado sólido a un estado líquido viscoso, al pasar dentro del conducto dentro del molde toma la forma de la cavidad y corazón y al enfriarse este, se solidifica y toma la forma deseada.

El proceso de llenado del molde se realiza en un estado cerrado, sometidos a una alta presión, causado por la naturaleza visco elástica del material y depende de ciertas condiciones del Equipo, Temperatura, presión al cual es sometido el material (D. Rosato y M. Rosato, 2000), (J. Bozzelli, 1999).

6.3.2. Ciclo del Moldeo por Inyección

El ciclo de moldeo por inyección se conforma principalmente de tres pasos:

1. FASE DE LLENADO: 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.
2. FASE DE EMPAQUE: 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.
3. FASE DE ENFRIAMIENTO: La pieza en el molde termina de enfriarse, 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.

6.4. Diseño de Moldes



Figura 6.6 Molde de inyección de plástico

El molde es la herramienta especial del moldeo por inyección, se diseña y fabrica a la medida de la pieza a producir. Cuando termina la corrida de producción de la parte, el molde se reemplaza por otro nuevo

para la siguiente (Groover, Mikell P., 1997).

Los moldes son una parte sumamente importante en el proceso de obtención de piezas; y de la efectividad de su diseño depende, en gran medida, la productividad y tiempo de vida que de éste se obtenga durante su uso. Básicamente, los moldes de inyección poseen dos funciones: el dar al material la forma de la pieza deseada y la de enfriar el mismo para que se solidifique. Están compuestos básicamente por las placas porta cavidades, la placa fija del bebedero, la placa soporte y el sistema de expulsión. La placa del bebedero está ubicada del lado de la máquina donde se inyecta el material; y la placa soporte y el sistema de expulsión que son móviles, se encuentran del lado del sistema de cierre y expulsión. La superficie que divide a ambas placas (fija y móvil) se denomina: plano de partición (D. Rosato y M. Rosato, 2000).

El molde debe estar diseñado para soportar las presiones a las que debe estar sometido para lograr la calidad esperada de las piezas, así como también, para lograr la distribución correcta del flujo de material garantizando uniformidad en las piezas, y con un sistema de enfriamiento que pueda uniformemente solidificar las piezas antes de ser expulsadas. Un molde posee muchos más componentes que las placas porta cavidades. La boquilla de la máquina de inyección se centra en el molde mediante un anillo de centrado, que evita que el material se dirija hacia fuera del molde; luego pasa al bebedero, el cual permite la entrada de material a los canales de alimentación que posteriormente, lo conducen hacia la cavidad. El anillo de centrado y el bebedero están colocados en el plato fijo del molde, y en el caso del bebedero, éste continúa hacia la placa porta cavidades, que está sujeta al plato fijo (D. Rosato y M. Rosato, 2000).

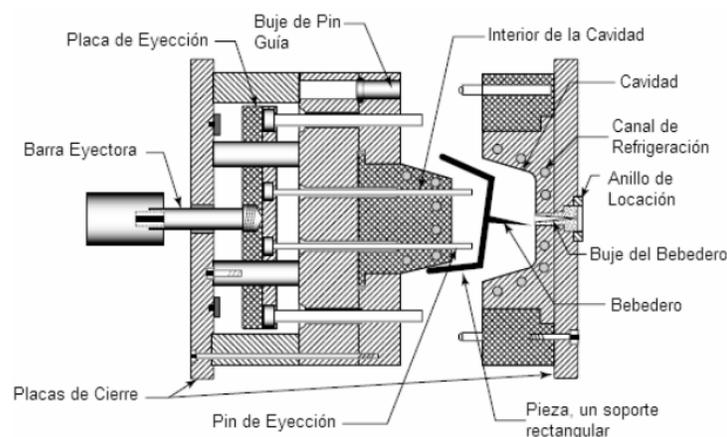


Figura 6.7 Componentes de un molde de inyección

La otra placa porta cavidades (sujeta, junto con otras placas, al plato móvil) es presionada a la primera por

el sistema hidráulico durante la etapa de inyección, éstas son ubicadas en la posición correcta mediante el uso de pines guía con sus respectivos topes. Cada placa posee canales de refrigeración por lo que circula un flujo refrigerante que se encarga de extraer calor de las piezas y de las placas para su expulsión (D. Rosato y M. Rosato, 2000).

El sistema de expulsión, cuando es mecánico, está conformado por dos placas que soportan los pines de eyección y los de retorno. Los primeros tienen como función expulsar la pieza de la placa porta cavidades una vez ha sido solidificada, mientras que los últimos tienen como función devolver el sistema de placas mencionado anteriormente a su posición original para un nuevo ciclo de inyección. Las placas con los pines son impulsadas por el sistema hidráulico y son mantenidas en su posición por columnas sujetas a una placa base (housing), que permite su movimiento independiente de las placas porta cavidades, con la excepción cerrada del molde (J. Bozzelli, 1999).

6.4.1. Sistemas que Conforman un Molde de Inyección

Un molde de inyección se conforma por tres sistemas (D. Rosato y M. Rosato, 2000):

6.4.1.1. Sistema de Alimentación

Bebedero: conduce el material al interior del molde. De tener diámetros muy altos, se requieren de mayores tiempos de ciclo para que el material en esta zona pueda enfriarse y ser extraído junto con la pieza, en moldes de canales fríos. En moldes de una sola cavidad, el bebedero lleva el material directamente a la cavidad por lo que, justo a la entrada, su dimensión no debe exceder el doble del espesor de la pieza en ese punto.

Canales de Alimentación: son los que distribuyen el material desde el bebedero hacia las distintas cavidades que posea el molde, deben ser lo más cortos posibles para que entre otras cosas no aumenten la diferencia de presión requerida para el paso del material y no aumenten la cantidad de material perdido (colada); y con un área de sección transversal lo suficientemente baja para que puedan enfriarse rápidamente. Esto, en el caso de canales fríos.

En la medida de lo posible debe evitarse los cambios de dirección en el flujo de polímero a través de los canales para disminuir la presión requerida, de tener que colocarse, debe tratarse de que sean lo más

suave posible. Buscando siempre, en la medida de lo posible, que exista simetría en la distribución del circuito diseñada para que el flujo esté balanceado, de tal forma que cualquier modificación en las condiciones afecte por igual a todas las cavidades. También es necesario que el acabado que se le dé a los canales sea el mismo que el de las cavidades, para con ello disminuir la fricción entre el compuesto y el metal al pasar por los mismos.

En cuanto a la sección transversal de los canales, existen diferentes formas para los mismos. La preferida entre éstas es la circular pues es la que produce menos turbulencias de flujo por no tener esquinas y es la que tiene la menor relación superficie:volumen, por lo que menor cantidad de material está en contacto con el molde frío y se evita que éste se solidifique durante su flujo y lo restrinja. En este sentido, le siguen las secciones: trapezoidal modificada y trapezoidal, dejando por último a la media circular y al cuarto de círculo. Pero la dificultad de mecanizado de la circular y la media circular hace que la trapezoidal modificada sea la más utilizada.

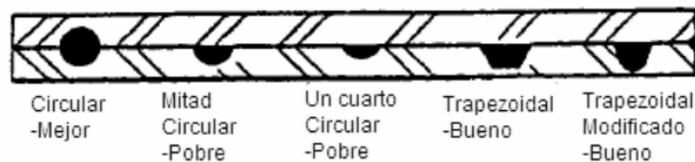


Figura 6.8 Diferentes geometrías comúnmente empleadas para canales de alimentación

En cuanto a las dimensiones que deben tener los canales, éstas dependen principalmente del material que se desee moldear, ya que dadas las propiedades reológicas de cada compuesto, su flujo se dificulta para secciones transversales distintas a las circulares. Se pueden calcular las dimensiones de los canales mediante el cálculo de la presión que se genera por el paso de material a través de estos. Partiendo de una dimensión propuesta, se puede calcular la caída de presión que se genera a lo largo de los canales, teniendo en cuenta el máximo que se puede permitir por la presión que es capaz de producir la máquina, por el volumen de desperdicios que se quiera y por las dimensiones de los canales permitidas por las propiedades del material.

Entradas a la Cavidad: se les dan dimensiones menores a las de los canales para que las piezas puedan ser fácilmente separadas de los canales. De sus dimensiones y ubicación dependen, en muchos casos, la calidad de las piezas y la uniformidad del llenado en las diferentes cavidades de un molde, si no se tienen las mismas distancias entre cada una de éstas y el bebedero.

La ubicación de la entrada debe ser tomada muy en consideración ya que podrían obtenerse piezas con propiedades no uniformes que generen fallas en su uso. Debe ubicarse en puntos en los que el llenado sea uniforme y rápido. Al mismo tiempo debe ser tal que la construcción del molde sea lo más simple posible, sin afectar la apariencia de las piezas, por lo que sugieren puntos en los que la marca de la entrada no sea notada en la pieza.

También es necesario considerar que la ubicación de la entrada puede causar líneas de soldadura, dependiendo de la forma de la pieza a inyectar. En muchos casos, se requiere la inyección de piezas en las que la formación de líneas de soldadura es inevitable, por lo que se recomienda que la entrada sea ubicada en puntos tales que las líneas de soldadura que generen estén ubicadas en las zonas menos riesgosas y que sean del menor tamaño posible. En otros casos, se les coloca más de una entrada a las cavidades para disminuir el tiempo de llenado, pero a la vez se está aumentando la cantidad de líneas de soldadura, por choque de los diferentes frentes de flujo.

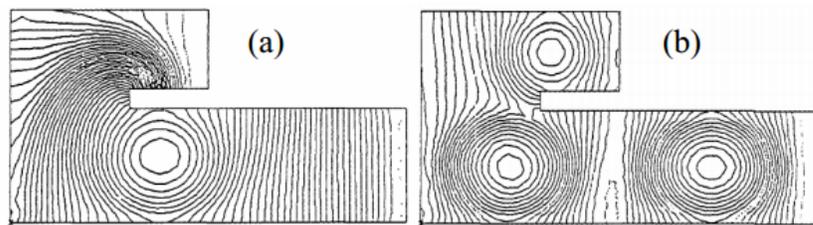


Figura 6.9 Patrón de flujo en cavidad con una entrada (a) y con tres entradas (b)

6.4.1.2. Sistema de Refrigeración

El enfriamiento en los moldes se realiza a través de circuitos de barrenos en las diferentes placas, cavidades y corazones del molde. Comúnmente hay enfriadores (Chillers) o aparatos controladores de temperatura con resistencias eléctricas (Termorreguladores) que permiten que la temperatura del molde se controlada para un óptimo tiempo de ciclo y calidad del producto. El enfriamiento del molde sirve para disipar el calor rápida y uniformemente. Un rápido enfriamiento es necesario para obtener una producción económica y un enfriamiento uniforme es requerido para la calidad de la pieza. La correcta distribución de los circuitos merecen principal atención principalmente si se considera que dos terceras partes del tiempo de ciclo son empleadas por el enfriamiento.

La temperatura del molde tiene un efecto substancial en:

- Propiedades mecánicas
- Comportamiento de la contracción
- Alabeamientos
- Tiempo del ciclo
- Llenado de paredes delgadas

PRINCIPIOS BÁSICOS DE LOS CANALES: Comúnmente los ductos son barrenados, taladrados o fresados dejándolos con ése acabado de maquinado que permite que el flujo sea turbulento debido a que así el agua disipa más calor. Los canales deben estar dispuestos cerca de las cavidades y a distancias equitativas.

SELLADO DE CANALES: Algunos plásticos llegan a temperaturas de procesamiento por arriba de los 100°C y por su geometría es necesario que los canales fluyan alrededor de la cavidad quedando un aislamiento efectivo y seguro sin que el agua llegue a tener contacto con el plástico. Los sellos como O-rings deben resistir elevadas temperaturas para cumplir su función, así mismo la posición y forma de la cavidad para que éstos realicen su trabajo sin dañarse en el montaje es importante considerarlo.

Componentes del sistema de enfriamiento:

BAFFLES: son regletas de bronce que permiten que el refrigerante entre y salga por un barreno permitiendo así un flujo constante.

BUBBLERS: son tubos de bronce o aluminio que llevan el agua desde un canal hasta lo más profundo de un barreno y bañan el resto regresando a otro canal para seguir el flujo.

THERMAL PINS: son barras de cobre u otra aleación que roban el calor de las cavidades desde un extremo hasta el otro donde la barra está en contacto con el agua del canal.

PLUGS: por facilidad en la manufactura a veces un solo barreno tiene que alimentar varios circuitos que, por recomendación deben ser independientes, los tapones permiten bloquear el flujo del agua para desviarlo hacia otro lado. Otras veces los barrenos son necesarios para crear el circuito y éstos deben taponarse para que agua siga un flujo.

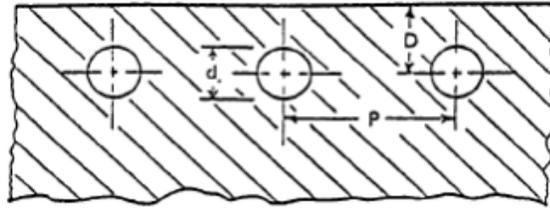


Figura 6.10 Dimensiones de los canales y de los parámetros de diseño

6.4.1.3. Sistema de Expulsión

Al ser enfriado el material dentro de las cavidades, la contracción hace que el producto se quede adherido a las cavidades, por tanto se necesitan elementos que empujen la pieza fuera del molde. Los métodos más comunes de expulsión es por perno (pin), mangas (sleevers), regletas (blades), placas flotantes (stripper plate) y válvulas de aire. Estos sistemas dejan marcas en las piezas, por tanto es necesario saber dónde es más conveniente colocarlos sin que perjudique la apariencia de las piezas. La localización de los pines y blades también deber ser considerada para balancear la presión de expulsión. La exacta localización de los botadores en paredes, costillas y postes es muy recomendable. El número de botadores y el tamaño dependen de la geometría de la pieza, sin embargo es recomendable que entre mayor área de expulsión es mejor.

Los runners y entradas también deben ser expulsados del molde mediante los mismos elementos que expulsan la cavidad. Mecanismos como aceleradores de botado, gatillos y chupones ayudan a que sean expulsadas las piezas del molde.

Tipos de botadores:

ESTANDAR PIN: el botador estándar es un elemento cilíndrico con una cabeza de sujeción y los hay en gran variedad de tamaños y largos estandarizados.

BLADES: es una barra de sección rectangular con cabeza de sujeción cilíndrica.

SLEEVES: también llamadas mangas o camisas botadoras son botadores huecos que se localizan principalmente en postes huecos para tornillos en las paredes de ensamble.

STRIPPER PLATE: las placas flotantes expulsan tanto piezas en moldes multicavidades así como coladas

de sistemas de inyección capilar.

RETROCESO DE PLACAS

El retroceso de las placas se puede hacer mediante varias formas: por medio de la máquina inyectora, por medio de resortes, por mecanismos y por pernos recuperadores. Como dispositivos de seguridad se colocan resortes o mecanismos para evitar colisiones con sistemas de acciones laterales y botadores.

MECANISMOS INTERNOS

Los mecanismos para desmoldar elementos que comúnmente se les llama negativos, son geometrías inclinadas o perpendiculares a la acción de apertura del molde incrementan la versatilidad del proceso de inyección para fabricar casi cualquier tipo de producto, pero cada accionamiento incrementa el costo del herramental. Los mecanismos pueden ser accionados mediante sistemas que convierten los movimientos lineales de apertura (eje Z) en translaciones perpendiculares (X & Y). Otros mecanismos pueden ser accionados en forma independientemente de la apertura del molde por medio de sistemas hidráulicos. De la misma forma independiente otras acciones se ejecutan cuando el sistema de expulsión es ejecutado. Mecanismos de cuerdas internas en los moldes son otro tipo de acciones las cuales pueden ser mediante sistemas de engranajes o corazones colapsibles.

Tipos de mecanismos:

SLIDERS: comúnmente llamados carros laterales éste tipo se basa en el sistema Biela y seguidor donde la biela es un perno inclinado y el seguidor un carro que se mueve sobre una guía y da forma a la cavidad. El carro generalmente forma áreas externas del producto.

LIFTERS: estos elementos son accionados por el sistema de placas botadoras, ellos liberan partes de la pieza generalmente en las áreas internas no visibles donde no es posible hacer una ventana sobre el área de apariencia para liberar al negativo.

MECANISMOS HIDRÁULICOS: estos sistemas de liberación permiten controlar el desmolde independientemente del botado y de la apertura del molde. Generalmente se utilizan para carreras largas de negativos que pudieran tener pernos inclinados muy largos que a su vez requieren de una apertura de molde efectiva y fuera de sus parámetros. Estas acciones deben estar perfectamente bien controladas para evitar colisiones entre componentes.

MECANISMOS DESENROSCANTES: para piezas cuyas cuerdas son internas y producen negativos naturales por sí mismas. Un corazón forma la cuerda y cuando se tiene que expulsar, éste corazón gira de forma que expulsa la pieza con su misma cuerda ya formada.

CORAZONES COLAPSIBLES: para piezas que tienen negativos internos que pueden ser cuerdas o labios y se pretende ahorrar tiempo de ajuste y de fabricación de lifters o mecanismos desenroscantes. Hay otra variante que se llama expandibles y es el funcionamiento contrario al primero, es decir que estos componentes se expanden para liberar al producto.

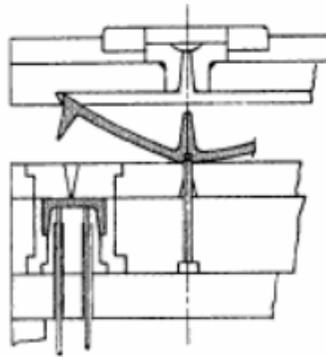


Figura 6.11 Sistema de expulsión para molde de 3 placas

6.4.1 4. Insertos

Cuando se requiere una resistencia considerable, o cuando la pieza debe desarmarse frecuentemente, se emplean generalmente piezas postizas aterrajadas o roscadas. Normalmente se hacen de latón o acero y se mantienen unidos al plástico sólo por trabazón mecánica. Por tanto, es necesario disponer un moleteado o ranurado adecuado para que el inserto quede firmemente asegurado y no se afloje durante el servicio. Frente a las sollicitaciones torsiales o axiales moderadas es muy aceptable un moleteado medio o basto; frente a las cargas axiales son excelentes los ranurados, pero presentan escasa resistencia a las tensiones torsiales (DeGarmo E.P., Black J.T., Kohser R.A., 1994).

Si un inserto ha de actuar de centrador de montaje o borne eléctrico, debe sobresalir ligeramente por encima de la superficie en la que está incrustado. Esto permite realizar una conexión fuerte sin crear una sollicitación axil que tendería a arrancarlo. Por otra parte, si lo que se desea es utilizar el inserto para mantener ceñidamente unidas dos piezas apareadas, el inserto debe estar al nivel de la superficie. Cuando sea necesario mantener la superficie de un inserto totalmente libre de plástico, lo mejor es una

configuración escalonada. Sin embargo, si el inserto sirve para enlazar piezas coincidentes que deban ajustarse ceñidamente, en una de ellas debe preverse una depresión donde se aloje el resalte. Análogamente, en el molde deberá haber una depresión. Ambas operaciones aumentan el coste (DeGarmo E.P., Black J.T., Kohser R.A., 1994).

Cada inserto debe disponer de una base de sostén suficiente y el espesor del plástico circundante debe bastar para soportar toda carga que pueda transmitirle. Si el inserto es pequeño, el espesor del plástico debe ser al menos la mitad del diámetro de aquél. Si el diámetro excede 12.7 mm, el espesor debe ser al menos de 6.35 mm (DeGarmo E.P., Black J.T., Kohser R.A., 1994).

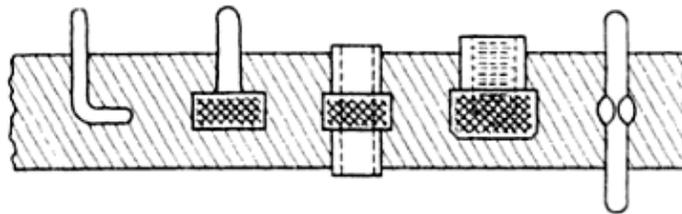


Figura 612. Insertos metálicos para piezas de plástico

6.4.2. Tipos de moldes

6.4.2.1. Molde de dos placas

El molde de dos placas convencional consiste en dos mitades sujetas a dos placas de la unidad de sujeción de la máquina. Cuando la unidad de sujeción se abre, las dos mitades del molde también se abren. La característica más obvia del molde es la cavidad, a la cual se le da forma generalmente por remoción del metal del par de superficies. Los moldes pueden contener una sola cavidad o múltiples cavidades para producir más de una pieza en cada ciclo. Las superficies de separación son las partes donde se abre el molde para remover la pieza (Groover, Mikell P., 1997).

Además de la cavidad, otras características del molde tienen funciones indispensables durante el ciclo de moldeo. El molde debe tener un canal distribuidor por donde fluye el polímero fundido, de la boquilla del cilindro a la cavidad del molde. El canal distribuidor consiste en un surtidor o bebedero que conduce el plástico de la boquilla al molde; canales de alimentación, los cuales conducen del surtidor a la cavidad o

cavidades y puertas que restringen el flujo del plástico a la cavidad. Hay una o más puertas para cada cavidad en el molde (Groover, Mikell P., 1997).

Se necesita un sistema de eyección para expulsar de la cavidad las partes moldeadas al final del ciclo. Los pernos eyectores o de expulsión, contruidos generalmente en la parte móvil del molde cumplen con esta función. La cavidad se divide entre las dos mitades del molde, de manera que la contracción natural del molde haga que la parte se pegue a la mitad móvil. Cuando se abre el molde, los pernos eyectores empujan la parte fuera de la cavidad (Groover, Mikell P., 1997).

Se requiere un sistema de enfriado para el molde. Este consiste en una bomba externa conectada a los pasajes de circulación de agua a través del molde para remover el calor del plástico caliente. También se debe evacuar el aire de la cavidad del molde al entrar el polímero. A través de los claros de los pequeños pernos eyectores del molde pasa una gran cantidad de aire. Con frecuencia se maquinan delgadas ventilas de aire en la superficie de separación del molde, de solamente 0.001 pulgadas de profundidad y de 0.5 a 1.0 pulgadas de ancho, estos canales permiten que escape el aire al exterior, pero son demasiado pequeños para que la fusión viscosa del polímero fluya a través de ellos (Groover, Mikell P., 1997).

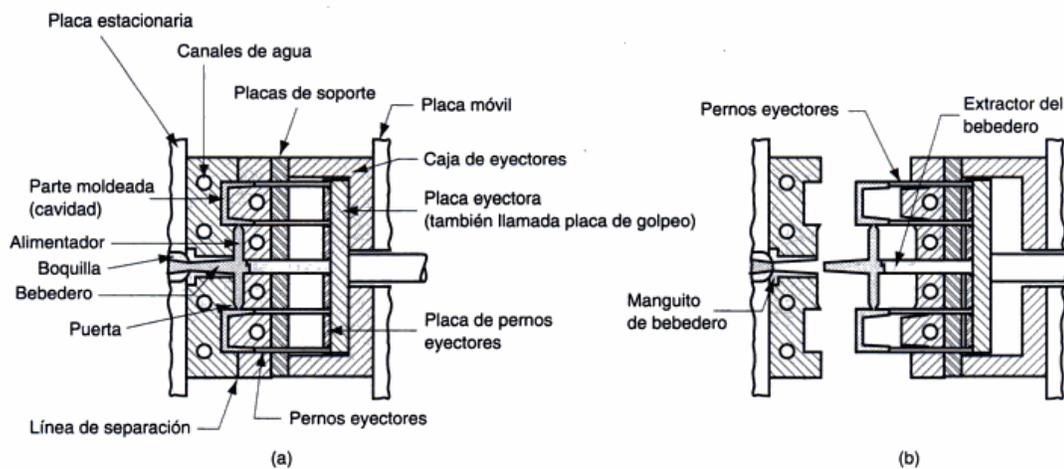


Figura 6.13 Molde de dos placas

6.4.2.2. Otros tipos de molde

Los moldes de dos placas son los más comunes en el moldeo por eyección. Una alternativa es el molde de tres placas. Este diseño de molde permite una operación más automatizada en la máquina de moldeo.

Al abrir, el molde se divide en tres partes con dos aberturas entre ellas. Esto fuerza la separación de las partes del canal alimentador, las cuales caen por gravedad en diferentes recipientes debajo del molde con la asistencia de aire soplado o de un brazo robot (Groover, Mikell P., 1997).

El surtidor o bebedero y el canal de alimentación en un molde convencional de dos o tres placas representa material de desperdicio. En muchos casos este desperdicio puede molerse y volverse a usar; sin embargo, en algunas ocasiones el producto debe hacerse de plástico virgen. El molde de alimentación en caliente elimina la solidificación del bebedero y del canal, emplazando calentadores alrededor de los canales correspondientes de alimentación. Mientras que el plástico solidifica en la cavidad del molde, el material que aún se encuentra en el bebedero y en los canales de alimentación permanece fundido, listo para ser inyectado a la cavidad en el ciclo siguiente (Groover, Mikell P., 1997).

Estos moldes poseen grandes ventajas sobre los moldes de canales fríos pues no sólo se ahorra costos por el material que no es desechado, sino también por la energía consumida ya que las presiones requeridas por el proceso disminuyen porque no se requiere presión para compactar los canales y el bebedero. Adicionalmente, los tiempos de ciclo se reducen pues no se requiere que se enfríen los canales y el bebedero, por lo tanto, la producción aumenta (D. Rosato y M. Rosato, 2000).

Básicamente, los sistemas de enfriamiento y eyección son los mismos que se usan en moldes de canales fríos, pero no se colocan canales de refrigeración para el sistema de alimentación. Al contrario, el sistema de alimentación cambia, teniendo calefactores para mantener el polímero en estado fundido, los cuales varían en formas, pero generalmente se emplean resistencias eléctricas pues son más eficientes en la transferencia de calor que la circulación de un fluido a alta temperatura. Aunque se deben colocar canales de enfriamiento para la que la placa que contiene el sistema de alimentación no se deforme en menor o mayor proporción que las demás y las piezas no salgan defectuosas (D. Rosato y M. Rosato, 2000).

Para el bebedero y las entradas a las cavidades se emplean bujes con sistemas de calefacción eléctrico integrados, que en algunas de sus variaciones son capaces de calentar y enfriar, en muchos de los casos, registran la temperatura del material por transductores de temperatura integrados y pueden disminuir su suministro de calor para dejar que el material se enfríe lo suficiente como para que no gotee durante la eyección de las piezas, pero también que pueda ser calentado fácilmente para ser inyectado en el siguiente ciclo, en una de sus variaciones poseen válvulas que se cierran al terminar la etapa de inyección y dejan de dosificar material a la cavidad (D. Rosato y M. Rosato, 2000).

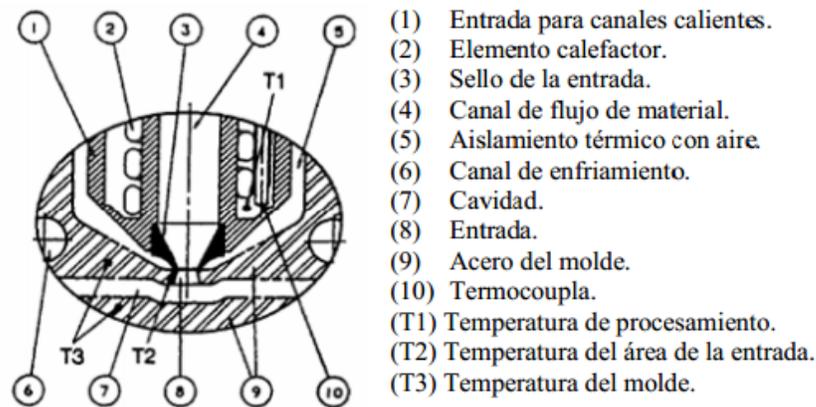


Figura 6.14 Entrada a cavidad para molde de canales calientes

Los moldes de canales calientes son preferidos para la fabricación de piezas de alta producción para que el costo de su fabricación pueda ser recuperado. Ya que para series cortas, aumentan mucho los costos de las piezas.

6.4.3. Reglas a considerar en el diseño de los moldes

1) Uniformidad de las paredes de la pieza: Uno de los problemas que se encuentra en el diseño tanto de la pieza como la el molde al tener no uniforme las paredes son:

- a) No llena el material de la pieza: se ve a través de un análisis de Mold Flow
- b) Se presentan alabeos
- c) Repercute en costo.

2) Asegurar que el espesor desde el punto de inyección hasta el punto más lejano sea constante.

3) Considerar que la presión en el punto de inyección es alta y la presión va disminuyendo a medida que el plástico va llenando la cavidad.

En la colocación y orientación de las entradas hay que tener en cuenta:

- 1. Si pueden estar en zona vista o no.

2. Que el material llegue a todas las partes de la pieza en buenas condiciones, que no provoque jetting.
 3. Que no favorezca la formación de burbujas de aire. La entrada condiciona la situación de las salidas de gases.
 4. Su ubicación condiciona la situación de las líneas de soldadura y de atrapamientos de aire.
 5. La situación de la refrigeración, es está muy cerca de la entrada puede provocar una solidificación prematura de ésta.
 6. La situación de la boquilla de la inyectora.
 7. Debe colocarse preferiblemente en la parte mas gruesa de la pieza.
 8. Situar la entrada lejos de las zonas que vayan a trabajar intensamente pues siempre son un punto débil.
 9. Situarlas lejos de cambios de espesor para evitar marcas y poros.
 10. El tamaño y forma de la pieza.
 11. En general, se diseña con una única entrada por cavidad, lo cual ayuda a evitar líneas de soldadura, tiene menor coste y las mazarotas son menores. Sin embargo, hay excepciones, por ejemplo, para piezas grandes o de poco espesor, en el caso de utilizar entradas con válvulas, para piezas cilíndricas (aunque hay mas líneas de soldadura, estas son de mejor calidad), etc.
 12. Las características del material plástico pueden requerir aumentar el espesor de la entrada:
 - Viscosidad
 - Estabilidad térmica
 - Tipo y porcentaje de carga
- 4) El flujo del plástico dentro del molde sigue el camino de menor resistencia
- 5) La línea de partición es donde la cavidad y los corazones se encuentran.

6.4.4. Colada Fría

La colada fría forma parte de la pieza inyectada, este sistema es aplicado principalmente para piezas pequeñas.

Los canales fríos llevan el plástico a las cavidades del molde y no cuentan con sistemas de control de temperatura como el sistema de colada caliente.

Características de los moldes de inyección de plástico de colada fría:

- Tiempos de ciclo altos
- Mecanismo de desmolde complicado
- Gran cantidad de desperdicio de material (colada fría)
- Difícil repetitividad del producto
- Distancias (carreras) de apertura del molde muy grandes
- Proyección y distribución de las cavidades compleja

Gates de desprendimiento manual

SRPUE GATE: comúnmente se le llama entrada directa y se usa en moldes de una sola cavidad donde la alimentación es directa del bebedero.

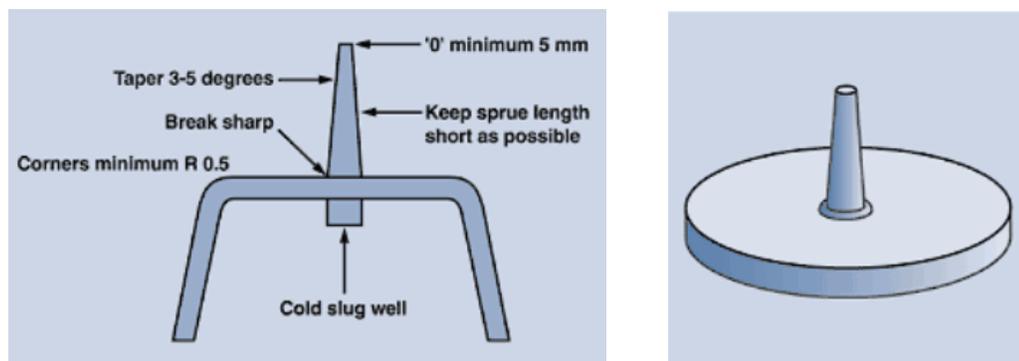


Figura 6.15 Sprue gate

EDGE GATE: Es el más usado por su fácil fabricación y adaptable a cualquier cavidad y en especial cuando el molde es multicavidades. El gate es localizado en la línea de partición y llena la parte por un lado.

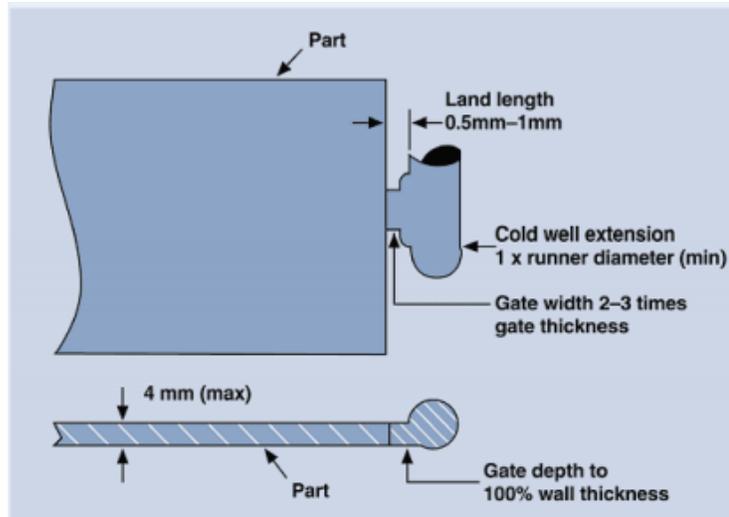


Figura 6.16 Edge gate

TAB GATE: el gate de lengüeta es típicamente usado para partes planas y delgadas que mejoran la apariencia de las piezas con éstas características. Esta permite que la temperatura del material aumente por fricción y, la lengüeta forma una cámara que permite que el material caliente choque contra sus paredes para llenar la cavidad con un flujo constante y uniforme generalmente se usa en materiales rígidos.

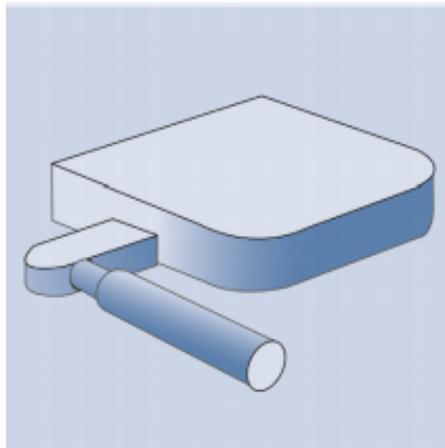


Figura 6.17 Tab gate

OVERLAP GATE: es lo mismo que un edge gate solo que el punto es por debajo de la pieza en área no visible.

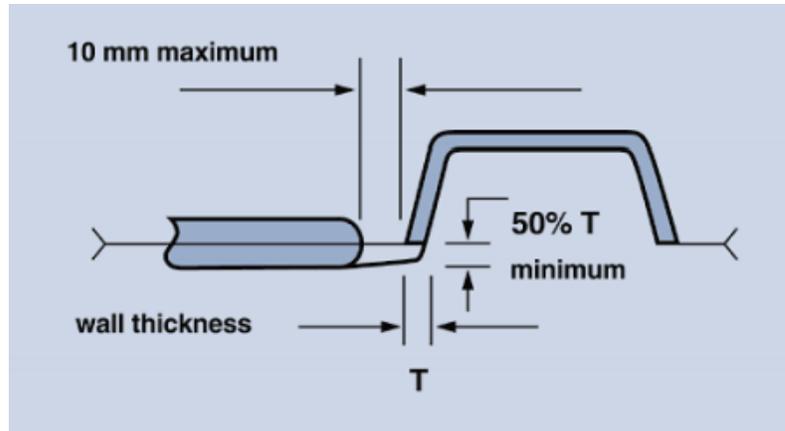


Figura 6.18 Overlap gate

EDGE GATE: el gate de abanico es una entrada ancha con un espesor variable. Este tipo de entrada permite el flujo en una entrada grande pero de poco espesor. Se usa para piezas cuyo molde tiene zonas frágiles o para piezas con gran superficie que necesiten llenarse con gran rapidez.

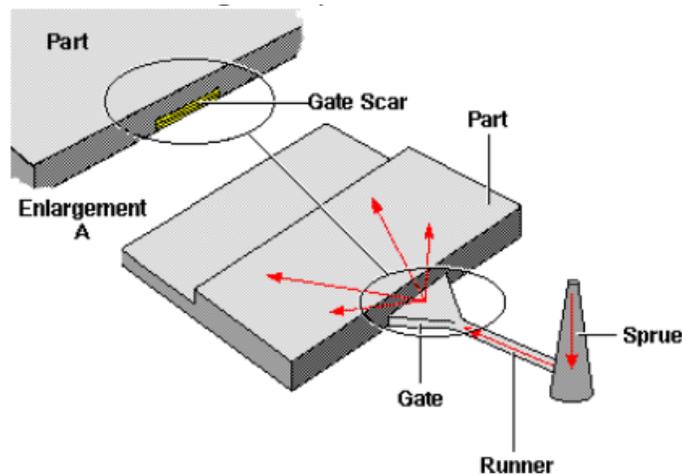


Figura 6.19 Edge gate

FILM GATE: es una entrada similar a una membrana cuyo runner completamente recto alimenta a la cavidad en un tiempo muy corto. Se emplea en piezas de gran superficie en las que el alabeamiento debe ser mínimo y la contracción uniforme especialmente en materiales cargados con fibras.

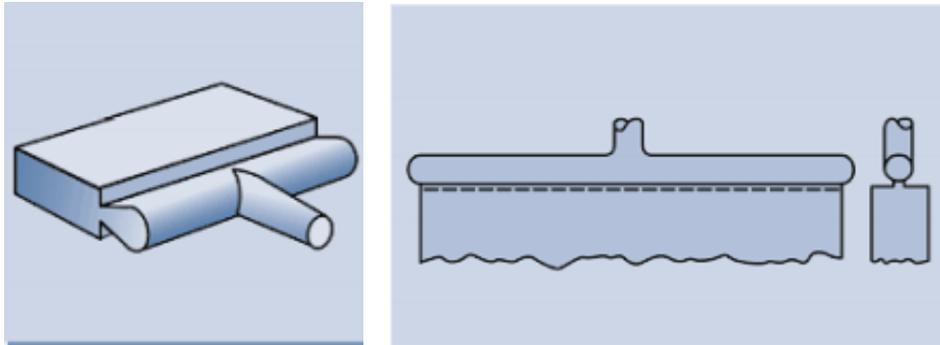


Figura 6.20 Film gate

DIAPHRAGM GATE: se le emplea para piezas cilíndricas con orificio en el centro cuyo objetivo es tener la ausencia de líneas de soldadura. El disco o diafragma se elimina con una herramienta de tipo troquel.

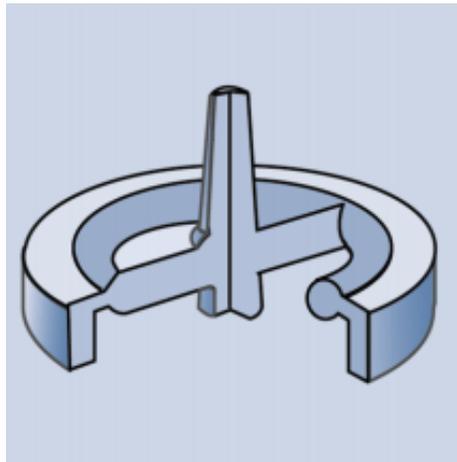


Figura 6.21 Diaphragm gate

EXTERNAL RING: se emplean para piezas tubulares donde el material fluye libremente alrededor del corazón antes de bajar a llenar la cavidad. Se aplica cuando el diafragma no es recomendado debido a que esta entrada de anillo se deja línea de soldadura.

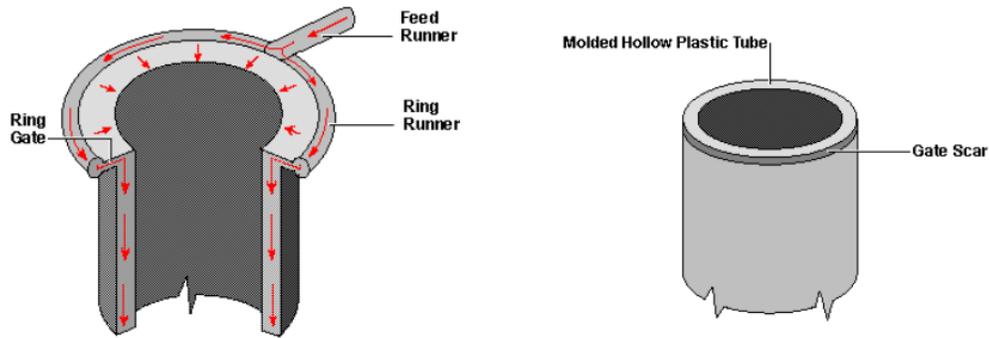


Figura 6.22 External ring

SPOKE OR MULTIPPOINT GATE: también se usa en partes cilíndricas y ofrece un fácil desprendimiento de la rama y ahorro en material; la desventaja es que se pueden generar “welding lines”. Se recomienda para núcleos alineados y rectos.

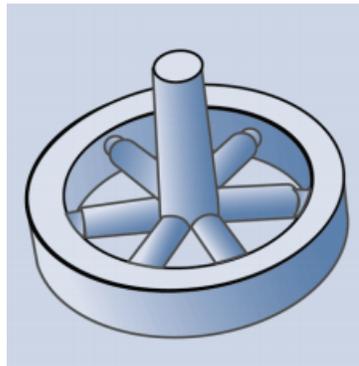


Figura 6.23 Spoke or multipoint gate

Gates de desprendimiento automático

PIN GATE: la entrada capilar también así conocida, es un pequeño cono maquinado en el molde que lleva el material sin muchas pérdidas de calor al interior de las cavidades. Generalmente el pequeño cono se machuca en una 3er placa que expulsa la colada independientemente de la pieza a inyectar dejando solo una pequeña huella en el producto. Comúnmente éste tipo de entrada es para piezas que requieren mas de un gate para mejor llenado de la parte.

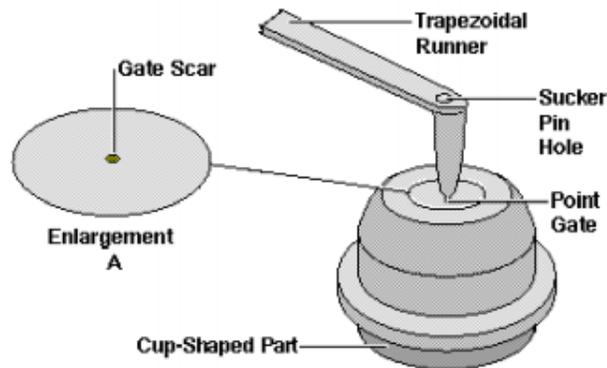


Figura 6.24 Pin gate

SUBMARINE (TUNNEL) GATE: es parecida al pin point pero éste no se maquina en una placa flotante, se maquina un cono inclinado al final del runner cuya profundidad intercepta la cavidad alimentando el material por un pequeño orificio. La entrada submarina debe tener un generoso ángulo de salida y se puede colocar para que inyecte a un botador que disimulará la marca del gate.

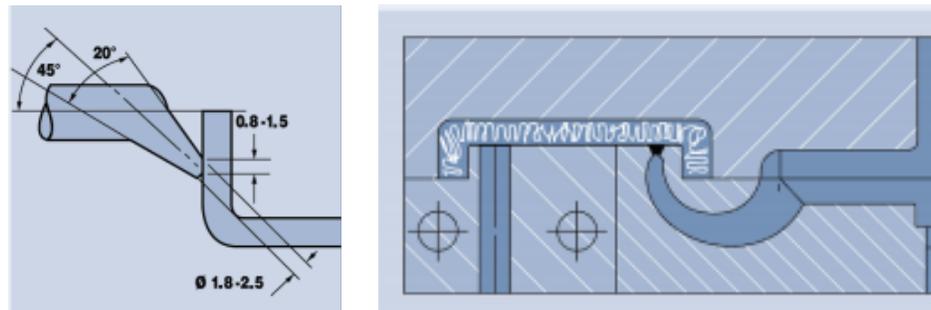


Figura 6.25 Submarine gate

6.4.5 COLADA CALIENTE

El moldeo con canales calientes se realiza con moldes de inyección que incluyen un sistema que mantiene los canales de alimentación a una temperatura más alta que las cavidades de molde. De este modo, el polímero que ocupa los canales de alimentación permanece siempre en estado fundido y preparado para la próxima inyección. Esto significa que el control de la temperatura debe ser muy riguroso, tanto en el molde como en las toberas, que el área de contacto entre las toberas secundarias y el molde ha de

mantenerse en el mínimo y que el ciclo de moldeo ha de ser rigurosamente constante (Beltrán Maribel, Marcilla Antonio, 2012).

Se suelen rebajar determinadas zonas del molde para disminuir el área de contacto de las toberas y se aísla el sistema de canales del resto del molde. Estos moldes resultan caros y, por ello, sólo se usan para producciones muy grandes que permiten amortizar su coste (Beltrán Maribel, Marcilla Antonio, 2012).



Figura 6.26 Sistema de canal caliente

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Ahorro de material plástico	Mayor coste del molde y equipos auxiliares
Ahorro de tiempo de ciclo	Cambios de color
Libertad de situación del punto de inyección y con menores pérdidas de presión y de calor: más fácil de llenar la cavidad (es)	Mayor susceptibilidad a problemas de fallo en los sistemas de atemperación
Mayor libertad de diseño	Personal más calificado
Mejor aplicación de la presión de mantenimiento, especialmente con válvulas	Mayor peligro de degradación al aumentar el tiempo de residencia
Evita el efecto de la gota fría, del material que solidifica en el sistema de alimentación	Setup, puesta a punto inicial más larga
Inyectoras más pequeñas	Necesita mayor control de la materia prima
Simplificación del desmoldeo	
Disminuye la marca en la pieza	

Tabla 6.1 Ventajas y desventajas de la colada caliente

6.5 Proyecto

El proyecto que esta sustentando esta tesina es la construcción de un molde de inyección de 12 cavidades con un sistema de colada fría para un producto plástico denominado “botón”.

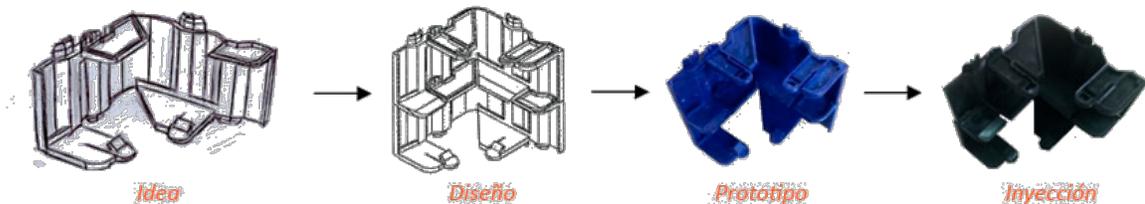


Figura 6.27 Desarrollo del proyecto

6.5.1 Material

El material elegido para la inyección del botón es **Ultramid B35EG3**.

Descripción del producto

Fibra de vidrio reforzada para moldeo por inyección, por ejemplo, para aplicaciones de presión de gas interno como en interruptor de la columna de dirección, carcasas para retrovisores de automóviles y las ruedas de las bicicletas de montaña.

Forma física y almacenamiento

El producto se suministra seco y listo para usar en envases a prueba de humedad en forma de pellets cilíndricos o planos. Su mayor densidad es de aproximadamente $0,7 \text{ g / cm}^3$. Paquetes estándar son la bolsa especial de 25kg y el recipiente a granel de 1000kg (octogonal IBC = recipientes intermedios hechos de cartón corrugado con una bolsa interior). Sujeto a acuerdo, otras formas de envasado y transporte en camiones cisterna por carretera o ferrocarril también son posibles. Todos los contenedores están bien sellados y deben ser abiertos solamente inmediatamente antes de su uso. Para asegurarse de que el material perfectamente seco entregado no puede absorber la humedad del aire los envases deben ser almacenados en lugares secos y siempre cuidadosamente sellados de nuevo después de que porciones

de material han sido retirados. El producto se puede mantener indefinidamente en las bolsas no dañadas. La experiencia ha demostrado que el producto suministrado se pueden almacenar durante aproximadamente 3 meses, sin efectos adversos en las propiedades de procesamiento debido a la absorción de la humedad. Los contenedores almacenados en cámaras frigoríficas permiten que alcance la temperatura normal, de modo que ninguna condensación se forma en los pellets.

Seguridad del producto

En caso de que el proceso se realice bajo condiciones recomendadas se funde son térmicamente estables y no generan riesgos de degradación molecular o la evolución de los gases y vapores. Al igual que todos los polímeros termoplásticos el producto se descompone por exposición a la carga térmica excesiva, por ejemplo, cuando se ha recalentado o como resultado de la limpieza por quemar.



Figura 6.28 Pellets Ultramid B35EG3

Ultramid® B35EG3**Processing Data Sheet**

	Test method	Unit	Values
Properties			
Polymer abbreviation	-	-	PA6-GF15
Density	ISO 1183	kg/m ³	1230
Melt volume rate MVR 275 °C/5 kg	ISO 1133	cm ³ /10min	40
Drying			
Moisture, max.	-	%	0.15
Moisture, optimal ¹⁾	-	%	0.03 - 0.06
Dryer temperature ²⁾	-	°C	80
Drying time ³⁾	-	h	4
Injection molding			
Melt temperature range	-	°C	270 - 290
Melt temperature, optimal	-	°C	280
Mold temperature range	-	°C	80 - 90
Mold temperature, optimal	-	°C	80
Residence time, max.	-	min	10
Machine Settings			
Temperature hopper throat	-	°C	80
Cylinder temperature 1 (feed zone)	-	°C	260
Cylinder temperature 2 (compression)	-	°C	270
Cylinder temperature 3 (metering-zone, in front of the screw)	-	°C	280
Cylinder temperature 4 (nozzle)	-	°C	280
Peripheral screw speed	-	m/s	≤ 0.3
Shrinkage			
Processing shrinkage, constrained, longitudinal (TM = 280 °C, TW = 80 °C) ⁴⁾	-	%	0.55

Typical values for uncoloured product at 23 °C ¹⁾	Test method ²⁾	Unit	Values ³⁾
Properties			
Polymer abbreviation	-	-	PA6-GF15
Density	ISO 1183	kg/m ³	1230
Viscosity number (0.5% in 96 % H ₂ SO ₄)	ISO 307, 1157, 1628	cm ² /g	170
Water absorption, saturation in water at 23°C	similar to ISO 62	%	7.7 - 8.3
Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.	similar to ISO 62	%	2.30 - 2.90
Processing			
Melting temperature, DSC	ISO 11357-1/-3	°C	220
MVR 275 °C/5 kg	ISO 1133	cm ³ /10min	40
Melt temperature, injection moulding/extrusion	-	°C	270 - 290
Mould temperature, injection moulding	-	°C	80 - 90
Moulding shrinkage, constrained ⁴⁾	-	%	0.55
Flammability			
UL 94 rating at 1,6 mm thickness	IEC 60695-11-10	class	HB
Automotive materials (Thickness ≥ 1mm)	FMVSS 302	-	+
Mechanical properties			
			dry / cond.
Tensile modulus	ISO 527-1/-2	MPa	5800 / 3500
Stress at break	ISO 527-1/-2	MPa	130 / 70
Strain at break	ISO 527-1/-2	%	4 / 18
Tensile creep modulus, 1000 h, strain ≤ 0.5%, 23°C	ISO 899-1	MPa	2100
Flexural modulus	ISO 178	MPa	5200 / 2500
Flexural strength	ISO 178	MPa	180 / 100
Charpy unnotched impact strength (23°C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	60 / 105
Charpy unnotched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eU	kJ/m ²	55 / -
Charpy notched impact strength (23°C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	9 / 25
Charpy notched impact strength (-30°C)	ISO 179/1eA	kJ/m ²	8 / -
Izod notched impact strength (23°C)	ISO 180/A	kJ/m ²	6.5 / 16
Thermal properties			
HDT A (1.80 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	190
HDT B (0.45 MPa)	ISO 75-1/-2	°C	215
Max. service temperature (short cycle operation)	-	°C	200
Temperature index at 50% loss of tensile strength after 5000 h	IEC 216	°C	165
Temperature index at 50% loss of tensile strength after 20000 h	IEC 216	°C	135
Coefficient of linear thermal expansion, longitudinal (23-80)°C	ISO 11359-1/-2	E-6/K	30 - 35
Coefficient of linear thermal expansion, transverse (23-80)°C	ISO 11359-1/-2	E-6/K	70 - 80
Thermal conductivity	DIN 52612-1	W/(m K)	0.34
Specific heat capacity	-	J/(kg*K)	1600
Electrical properties			
			dry / cond.
Relative permittivity (1 MHz)	IEC 60250	-	3.8 / 7
Dissipation factor (1 MHz)	IEC 60250	E-4	250 / 2400
Volume resistivity	IEC 60093	Ohm*m	1E13 / 1E10
Surface resistivity	IEC 60093	Ohm	1E10
Comparative tracking index, CTI, test liquid A	IEC 60112	-	550

6.5.2 Diseño de la Pieza

Para el diseño de la pieza se utilizó el software Rhinoceros® que es empleado para modelado 3D.



Figura 6.30 Botones

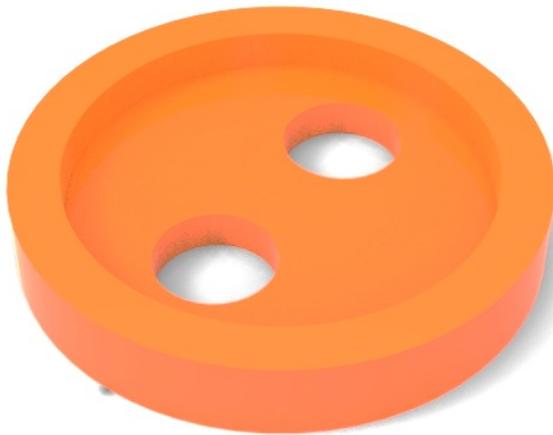


Figura 6.31 Modelo tridimensional del botón



Figura 6.32 Vista superior del modelo del botón

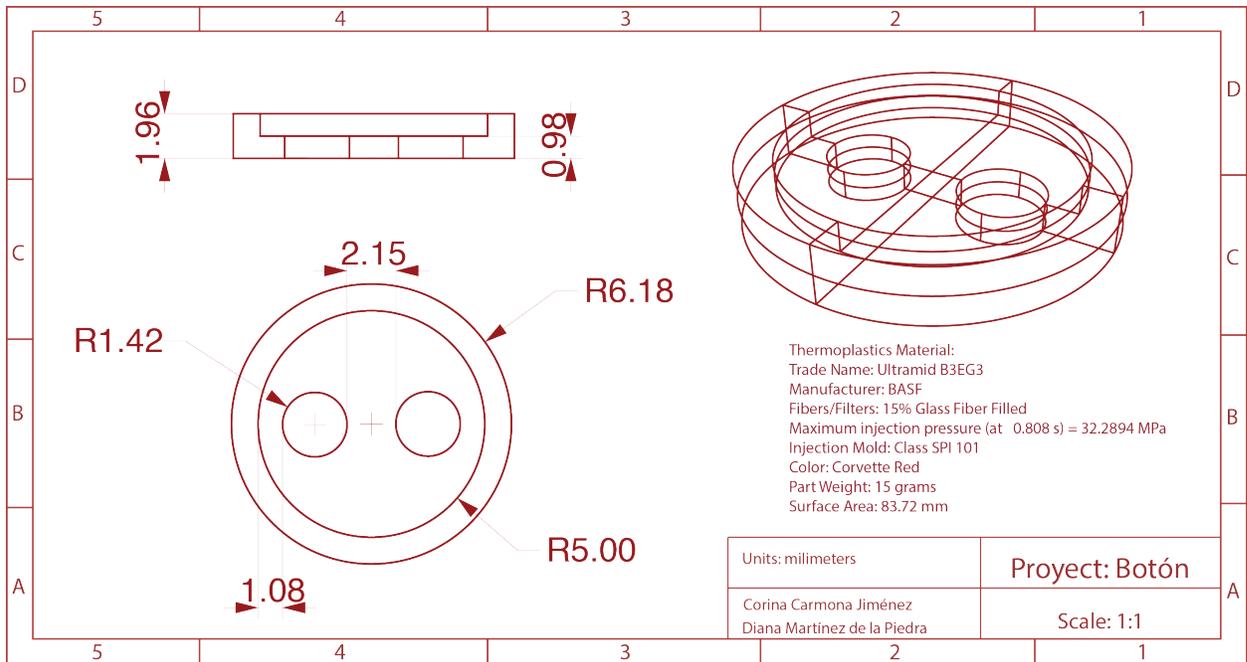


Figura 6.33 Planos de la pieza botón

6.5.3. Diseño de la colada

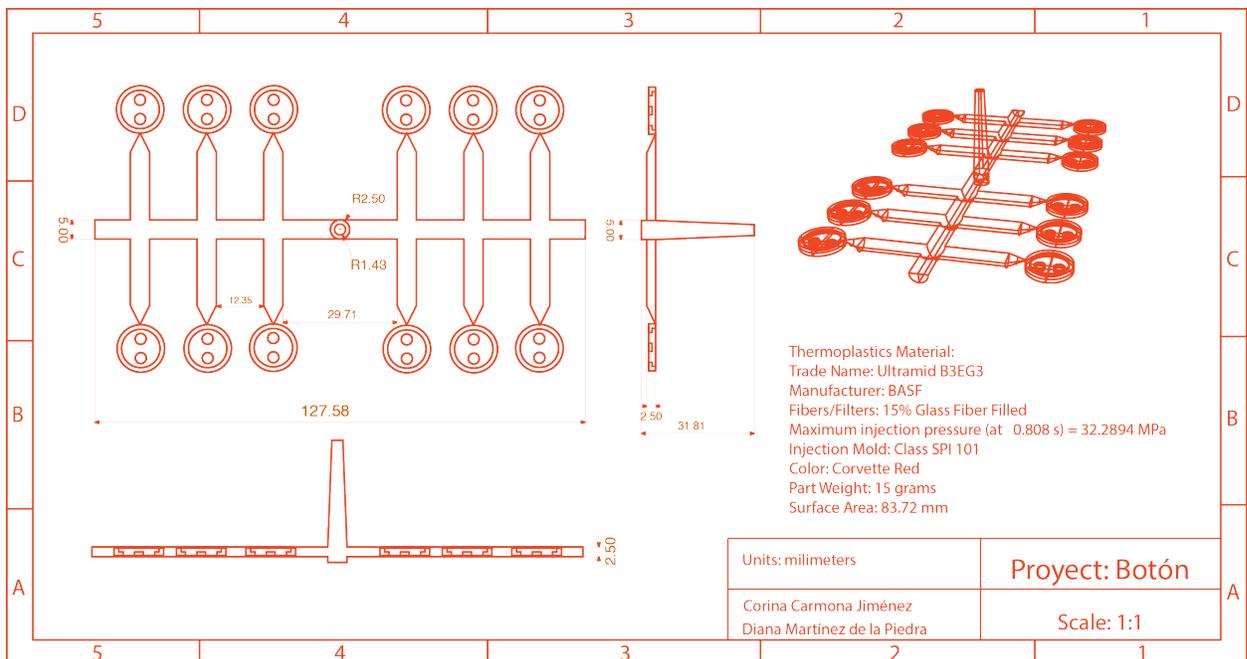


Figura 6.34 Planos de la colada

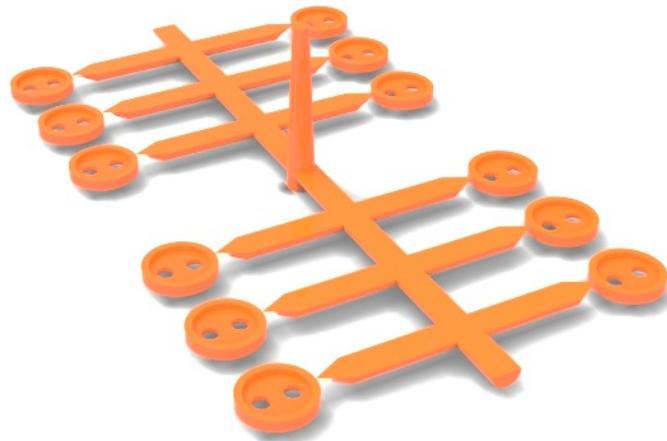


Figura 6.35 Modelo tridimensional de los 12 botones con su colada

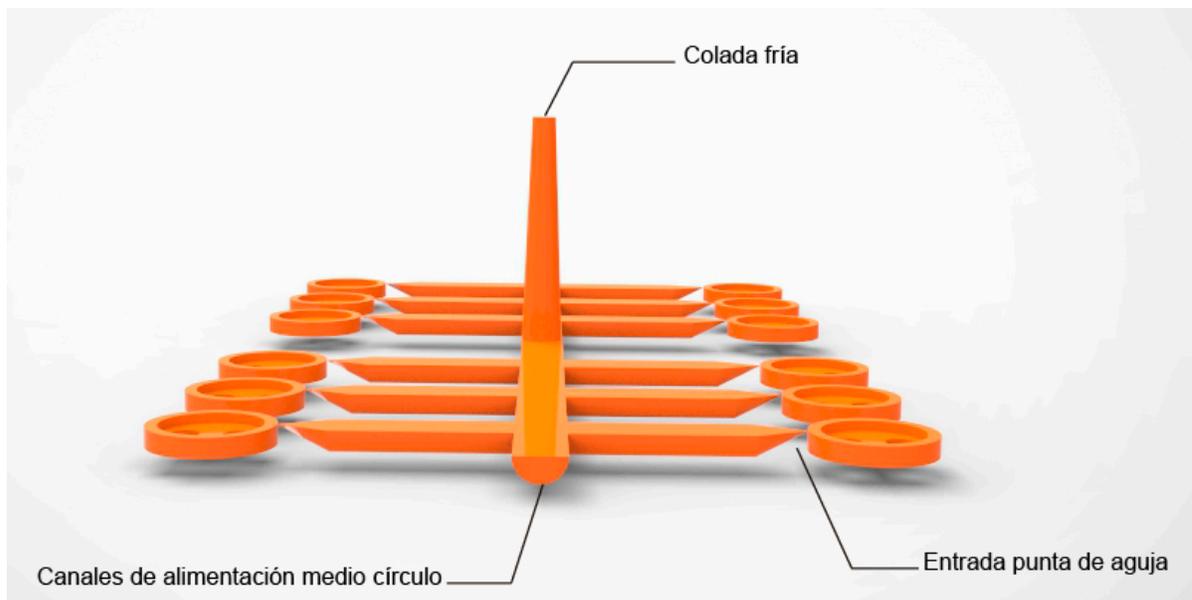
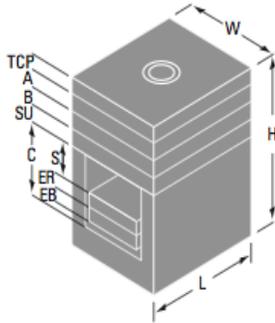


Figura 6.36 Colada y canales de alimentación

6.5.4. Molde

A continuación se presenta una tabla de las medidas estandar que existen en el mercado DME:



Variables

Below is a list of the variables for the Edge series mold bases and their definitions

- W = Width
- L = Length
- TCP = Top clamp plate thickness
- A = A plate thickness
- B = B plate thickness
- SU = Support plate thickness
- C = Height of the riser
- S = Maximum stroke of the ejector bar
- H = Mold base height
- EB = Ejector bar thickness
- ER = Ejector retainer thickness
- P = Housing riser thickness
- RPx = Return pin location on the X axis (3 places)
- RPy = Return pin location on the Y axis (4 places)
- RPos = Return pin offset on the X axis (1 place)
- RPg = Return pin diameter
- LPg = Leader pin diameter

7.875 x 7.875												
ITEM NUMBER	W	L	A	B	C	S	H	WEIGHT (LBS)				
EDA0808-07-07	7.875	7.875	0.875	0.875	2.500	0.813	7.375	111				
EDA0808-13-13	7.875	7.875	1.375	1.375	2.500	0.813	8.375	129				
EDA0808-17-17	7.875	7.875	1.875	1.875	2.500	0.813	9.375	147				
EDA0808-23-23	7.875	7.875	2.375	2.375	3.000	1.313	10.875	167				
All Items	W	7.875	EB	1.000	P	1.250	TCP	1.375	RPx	3.313	RPg	0.500
	L	7.875	ER	0.500	SU	1.375	RPos	3.188	RPy	1.500	LPg	0.750

7.875 x 11.875												
ITEM NUMBER	W	L	A	B	C	S	H	WEIGHT (LBS)				
EDA0812-07-07	7.875	11.875	0.875	0.875	2.500	0.813	7.375	174				
EDA0812-13-13	7.875	11.875	1.375	1.375	3.000	1.313	8.875	205				
EDA0812-17-17	7.875	11.875	1.875	1.875	3.500	1.813	10.375	235				
EDA0812-23-23	7.875	11.875	2.375	2.375	3.500	1.813	11.375	262				
All Items	W	7.875	EB	1.000	P	1.250	TCP	1.375	RPx	5.313	RPg	0.500
	L	11.875	ER	0.500	SU	1.375	RPos	5.188	RPy	1.500	LPg	0.750

9.875 x 8.000												
ITEM NUMBER	W	L	A	B	C	S	H	WEIGHT (LBS)				
EDA1008-07-07	9.875	8.000	0.875	0.875	2.500	0.813	7.375	158				
EDA1008-13-13	9.875	8.000	1.375	1.375	2.500	0.813	8.875	181				
EDA1008-17-17	9.875	8.000	1.875	1.875	3.500	1.813	10.875	209				
All Items	W	9.875	EB	1.000	P	1.438	TCP	1.375	RPx	3.250	RPg	0.625
	L	8.000	ER	0.500	SU	1.875	RPos	3.125	RPy	2.250	LPg	0.750

9.875 x 11.875												
ITEM NUMBER	W	L	A	B	C	S	H	WEIGHT (LBS)				
EDA1012-07-07	9.875	11.875	0.875	0.875	2.500	0.813	7.875	235				
EDA1012-13-13	9.875	11.875	1.375	1.375	3.000	1.313	9.375	273				
EDA1012-17-17	9.875	11.875	1.875	1.875	3.500	1.813	10.875	311				
EDA1012-23-23	9.875	11.875	2.375	2.375	3.500	1.813	11.875	344				
All Items	W	9.875	EB	1.000	P	1.438	TCP	1.375	RPx	5.188	RPg	0.625
	L	11.875	ER	0.500	SU	1.875	RPos	5.063	RPy	2.250	LPg	0.875

9.875 x 16.000												
ITEM NUMBER	W	L	A	B	C	S	H	WEIGHT (LBS)				
EDA1016-07-07	9.875	16.000	0.875	0.875	2.500	0.813	7.875	316				
EDA1016-13-13	9.875	16.000	1.375	1.375	3.000	1.313	9.375	367				
EDA1016-17-17	9.875	16.000	1.875	1.875	3.500	1.813	10.875	418				
EDA1016-23-23	9.875	16.000	2.375	2.375	3.500	1.813	11.875	463				
All Items	W	9.875	EB	1.000	P	1.438	TCP	1.375	RPx	7.250	RPg	0.625
	L	16.000	ER	0.500	SU	1.875	RPos	7.125	RPy	2.250	LPg	0.875

Figura 6.37 Medidas estandar de los moldes

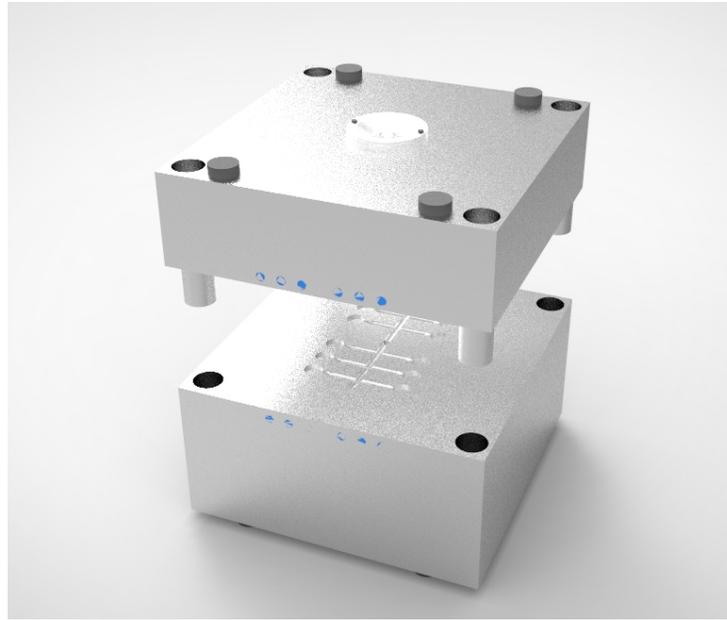


Figura 6.38 Ensamble del molde de inyección

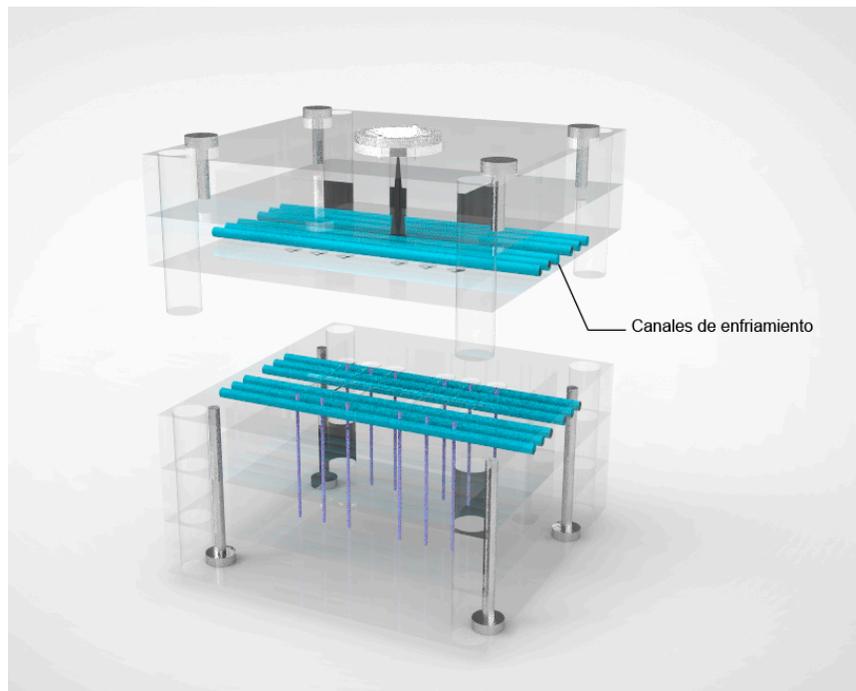


Figura 6.39 Sistema de enfriamiento

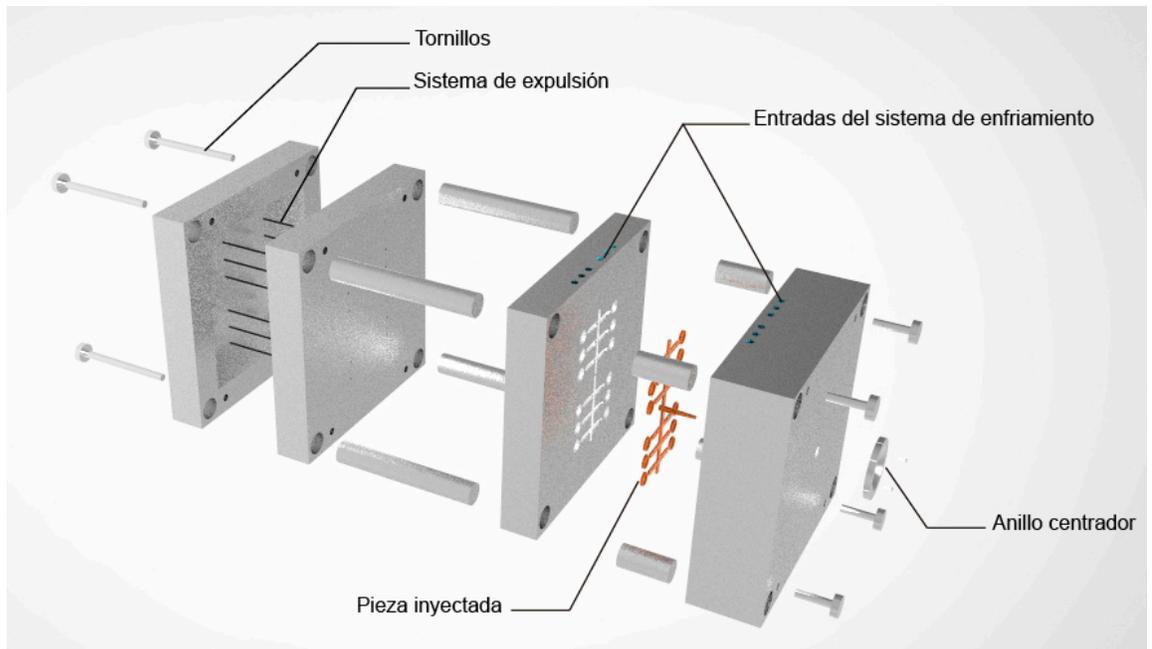


Figura 6.40 Componentes del molde de inyección

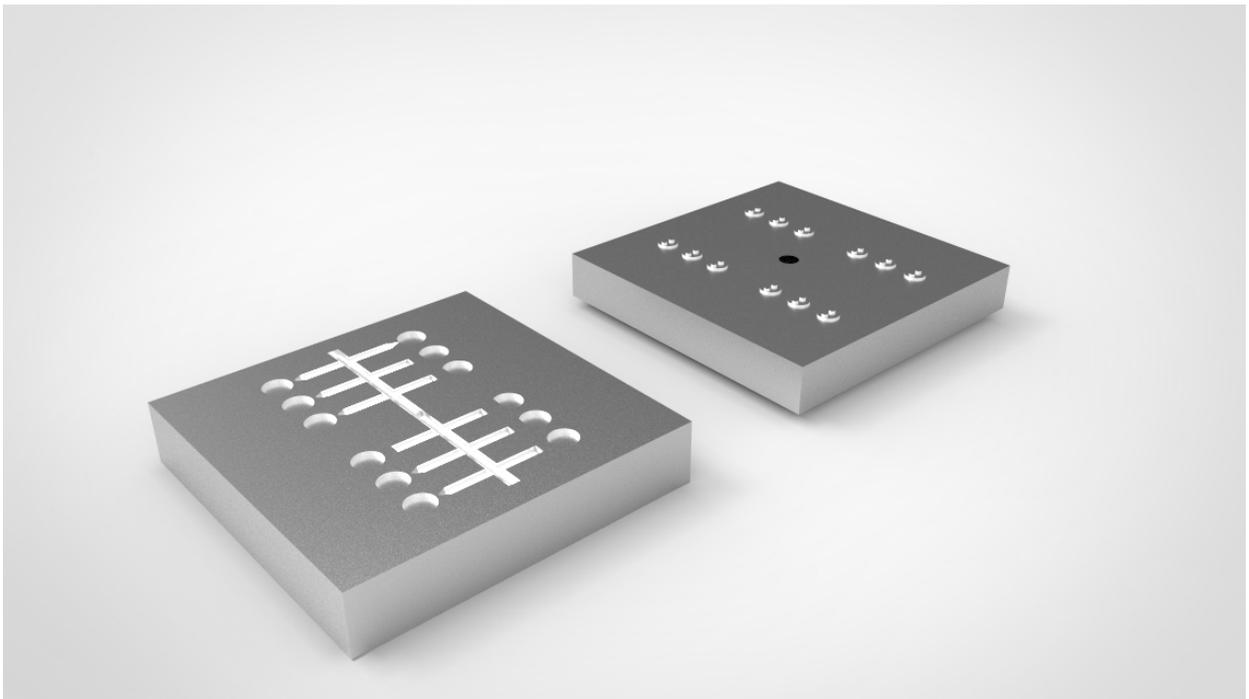


Figura 6.41 Insertos

6.5.5. Análisis Mold Flow

Autodesk® Simulation Moldflow® es un software que provee herramientas para la simulación de moldes de inyección, diseño de partes plásticas y el proceso de diseño de moldes de inyección. Ayuda a reducir la necesidad de costosos prototipos físicos, evitar posibles defectos de fabricación, y dar productos innovadores al mercado más rápidamente.

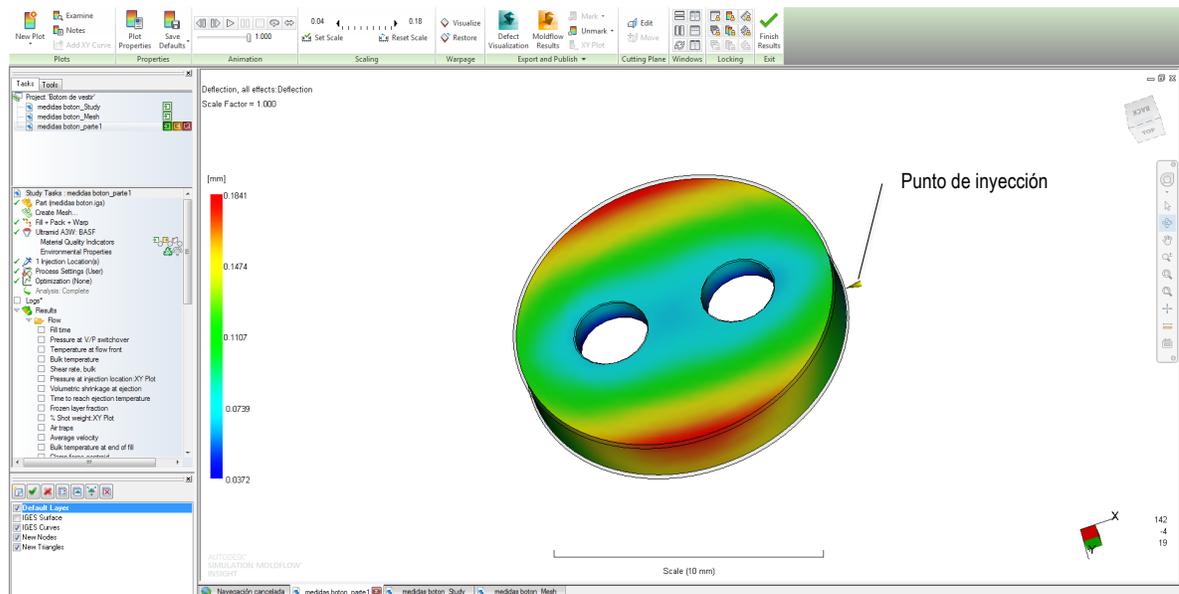


Figura 6.42 Análisis en Mold Flow de la pieza "botón"

- **Mallado de la pieza**

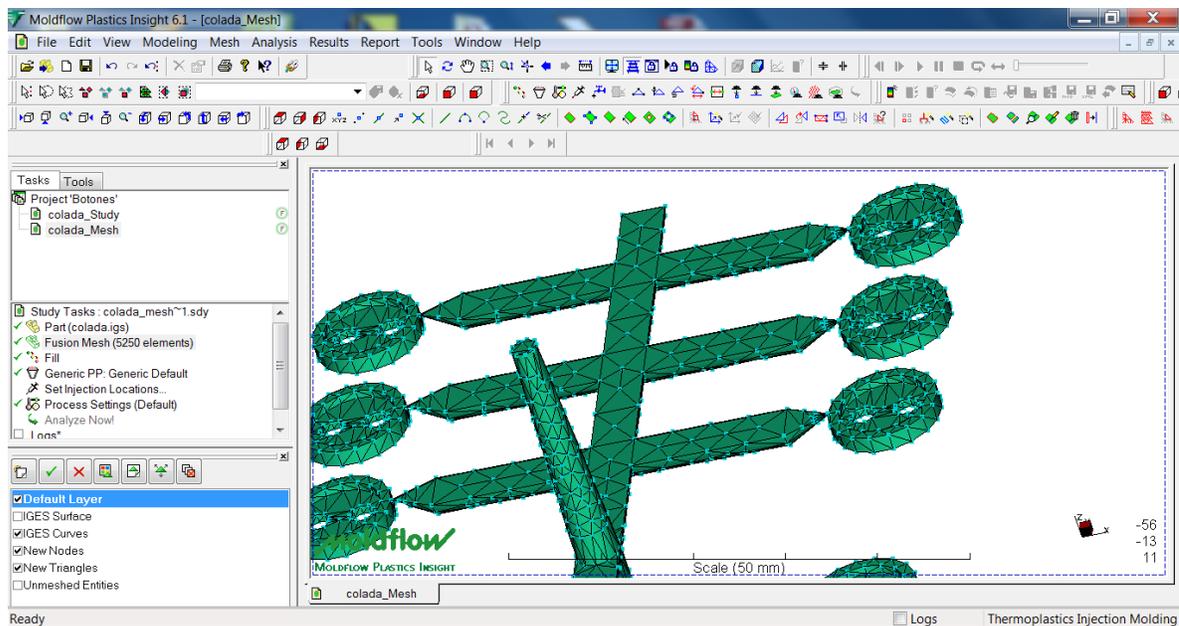


Figura 6.43 Mallado de la pieza

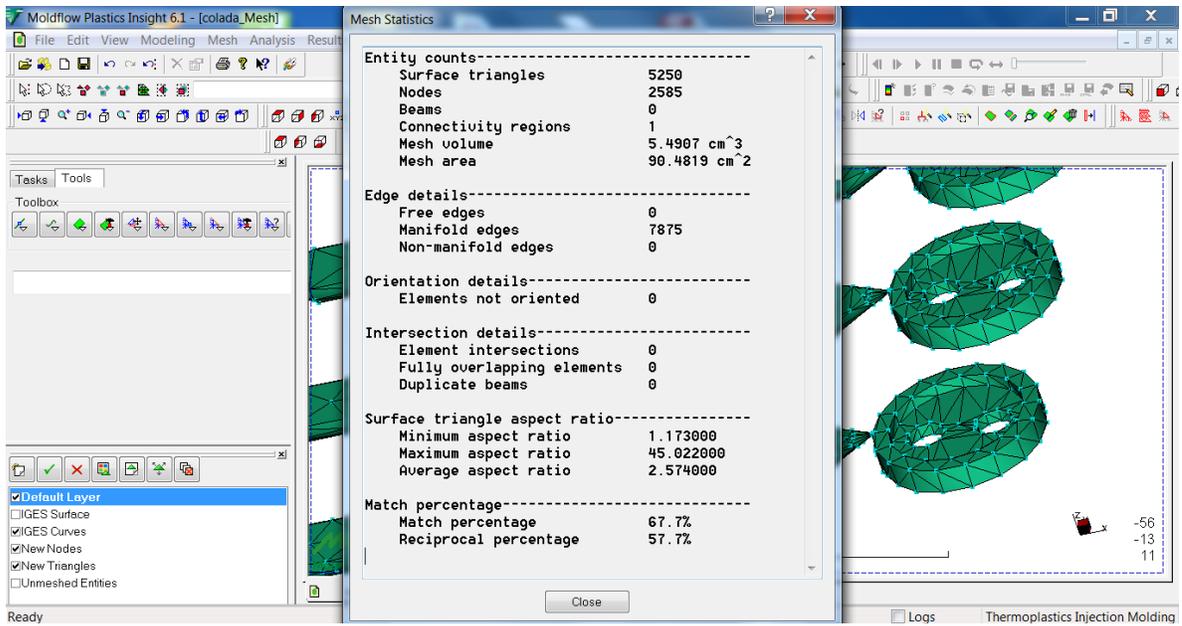


Figura 6.44 Detalles del mallado de la pieza

- Definición del sistema de enfriamiento

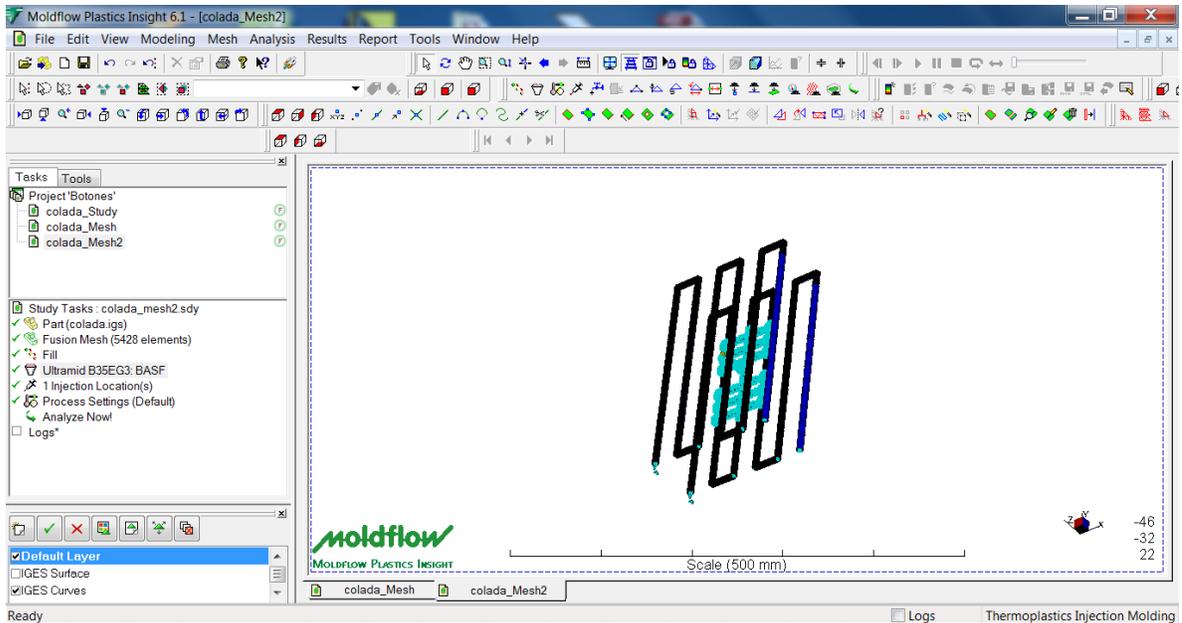


Figura 6.45 Definición del sistema de enfriamiento

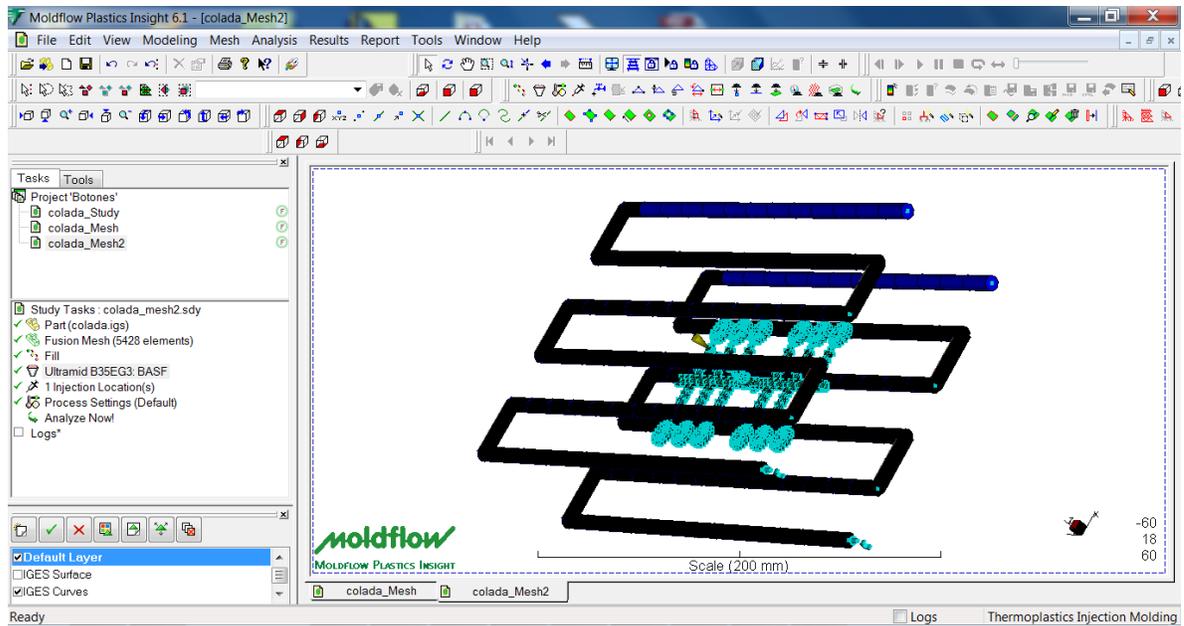


Figura 6.46 Sistema de enfriamiento

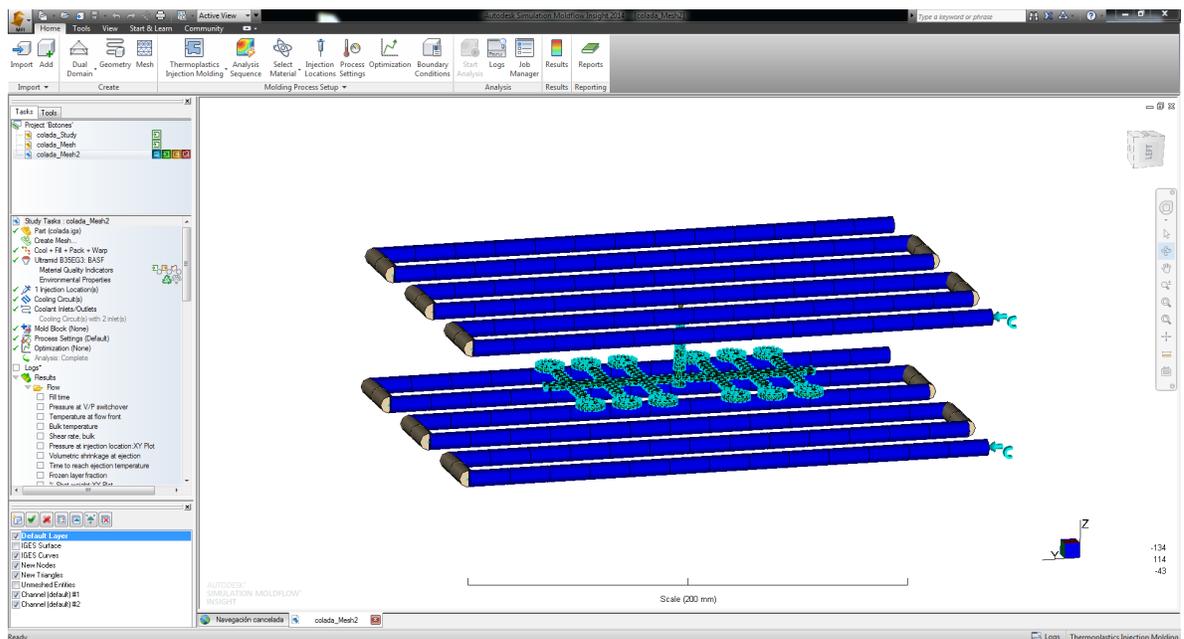


Figura 6.47 Descripción del sistema de enfriamiento

- Ajustes del proceso – Ajustes de deformación

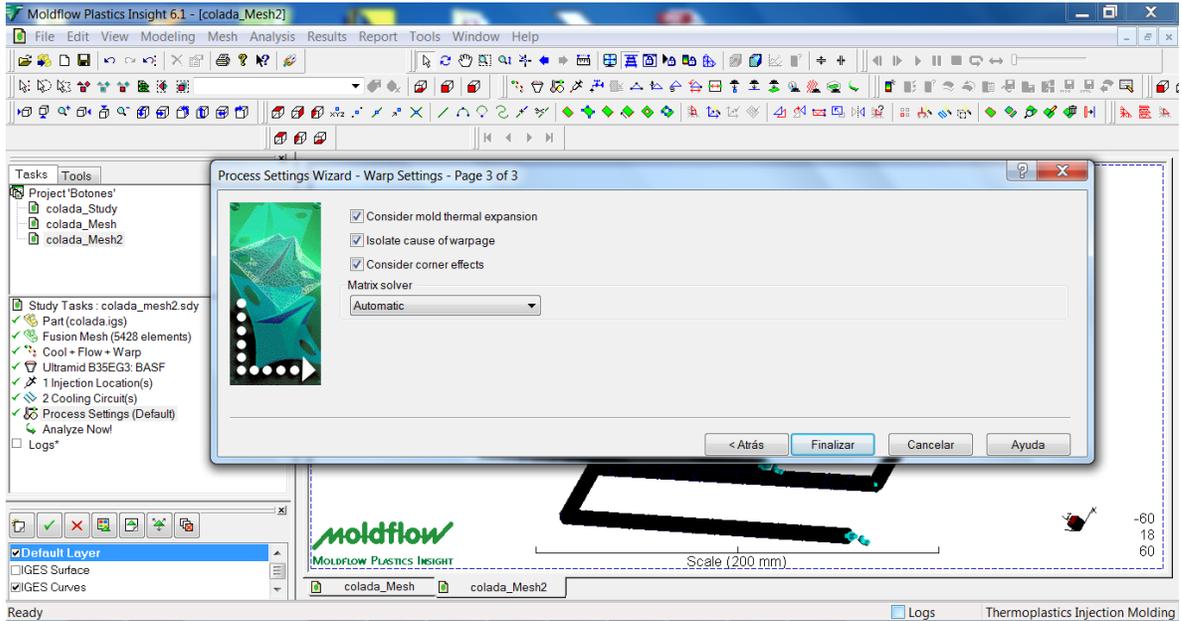


Figura 6.48 Ajustes de deformación

- Selección del material

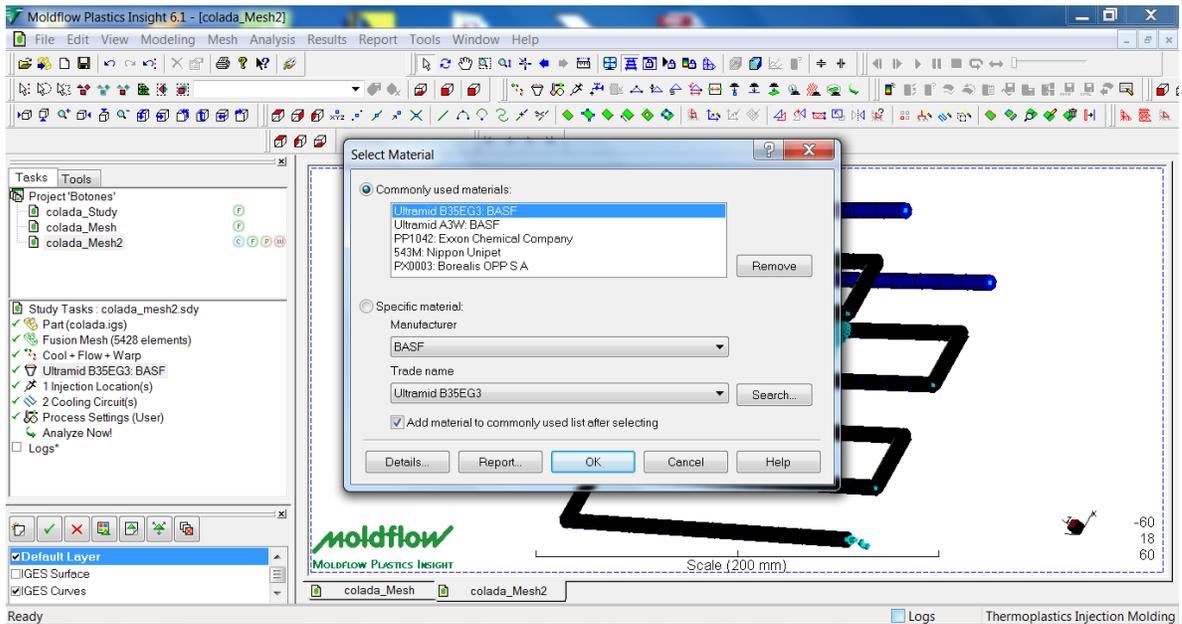


Figura 6.49 Selección del material

- **Características del material**

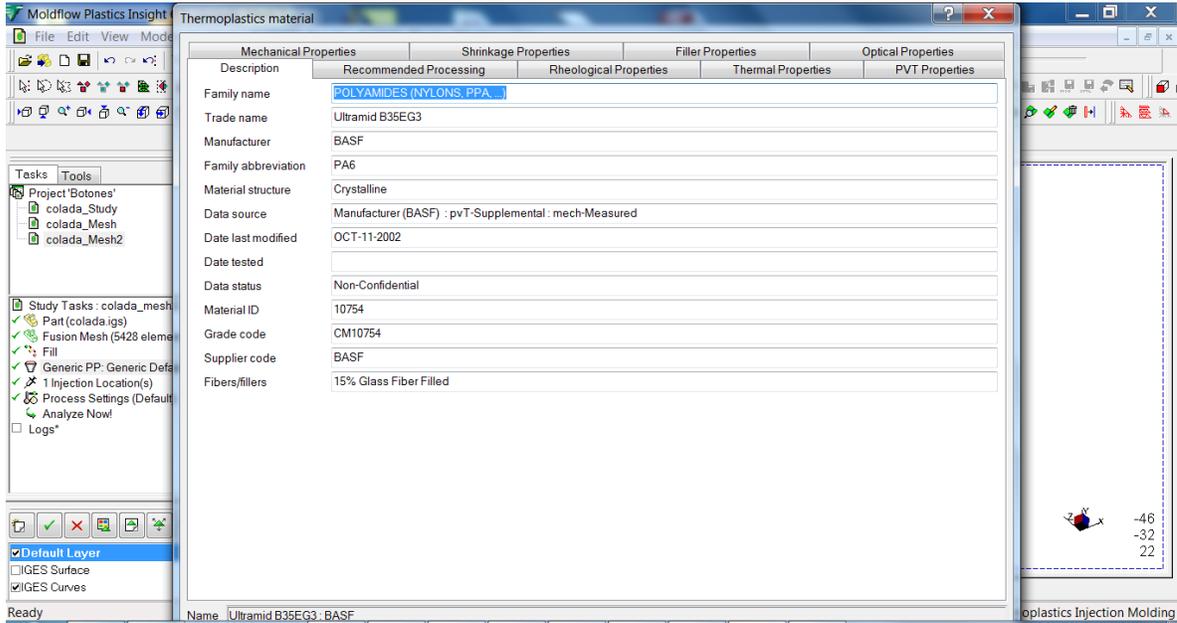


Figura 6.50 Características del material

- **Tiempo de llenado**

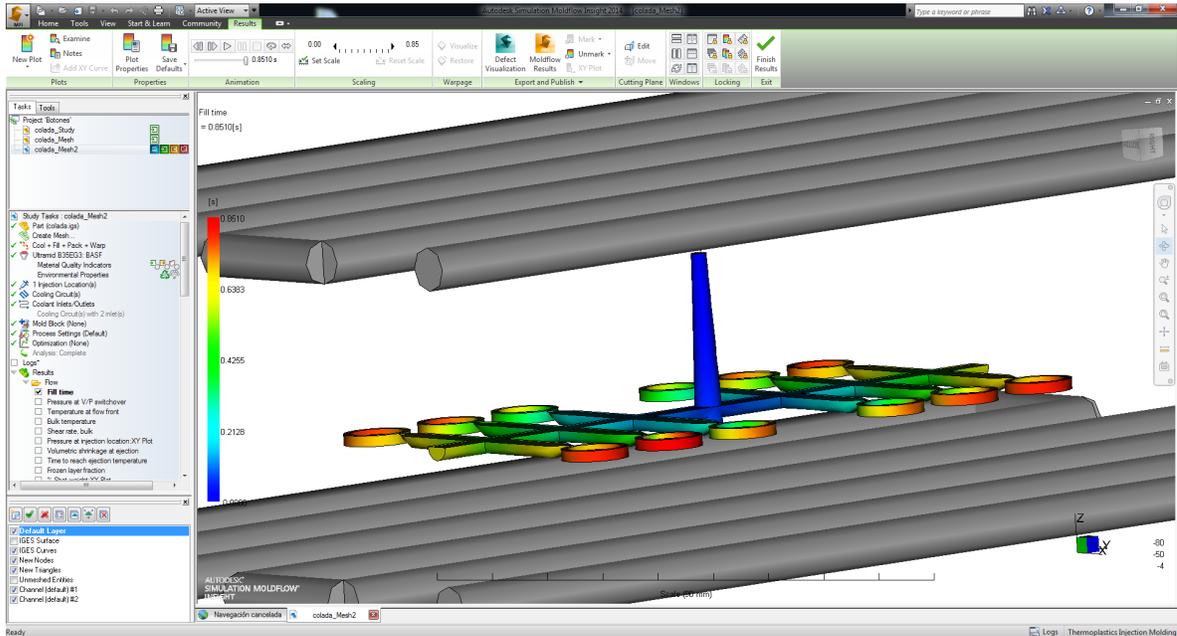


Figura 6.51 Tiempo de llenado

- Aire atrapado (burbujas)

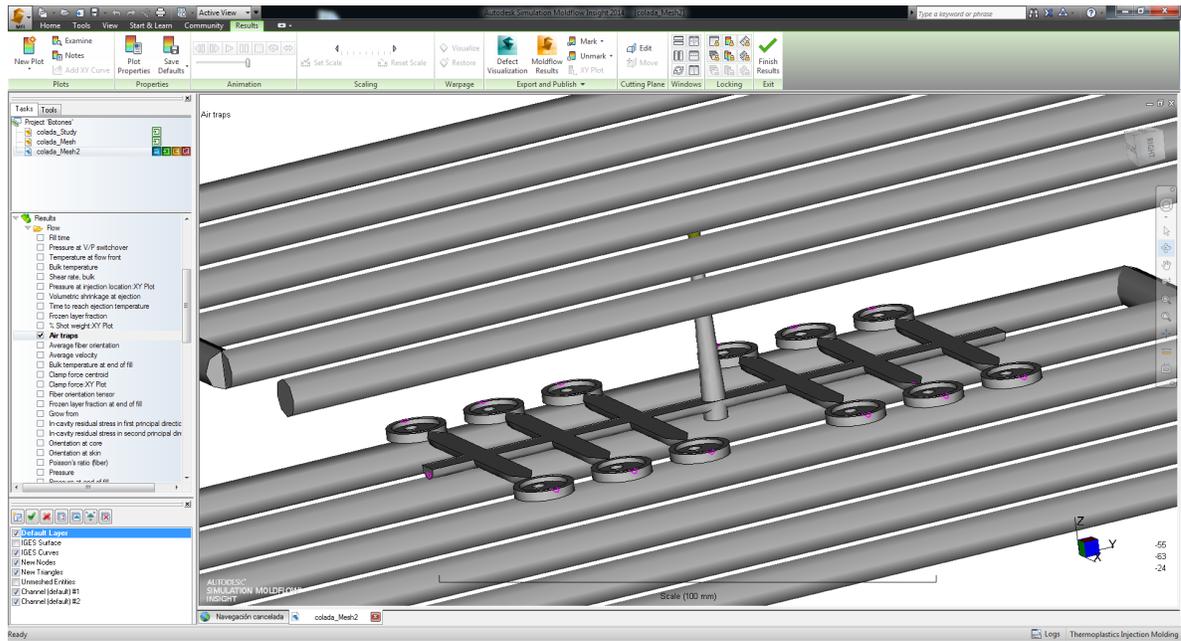


Figura 6.52 Aire atrapado

- Gráfica Toneladas - Tiempo

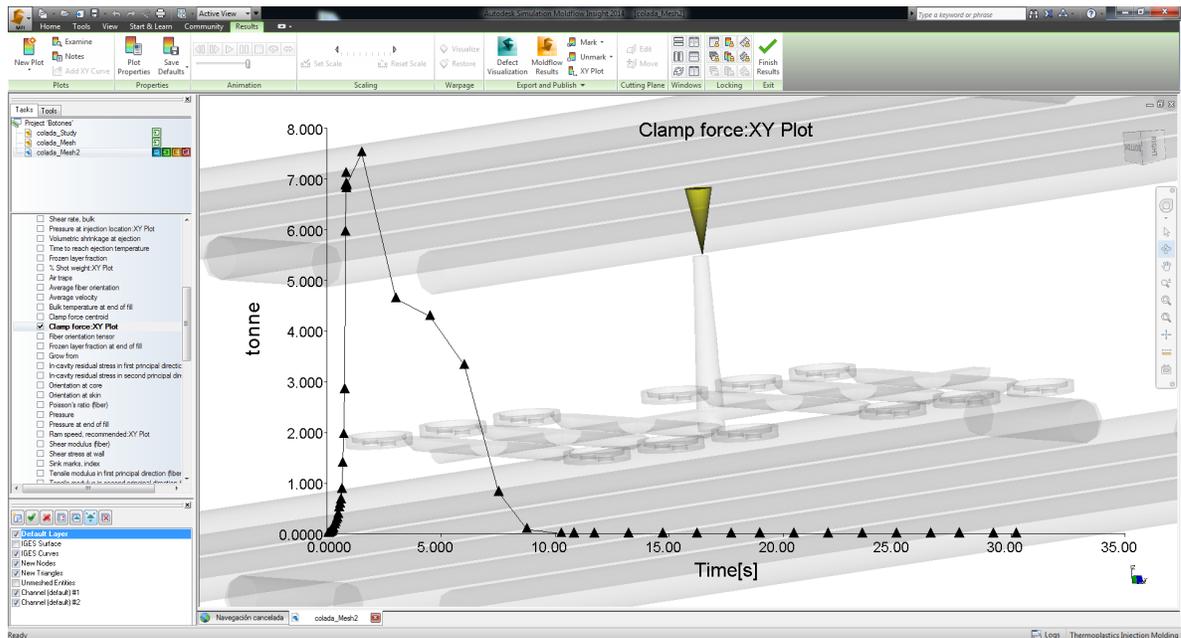


Figura 6.53 Gráfica de toneladas – tiempo

- Fase de llenado

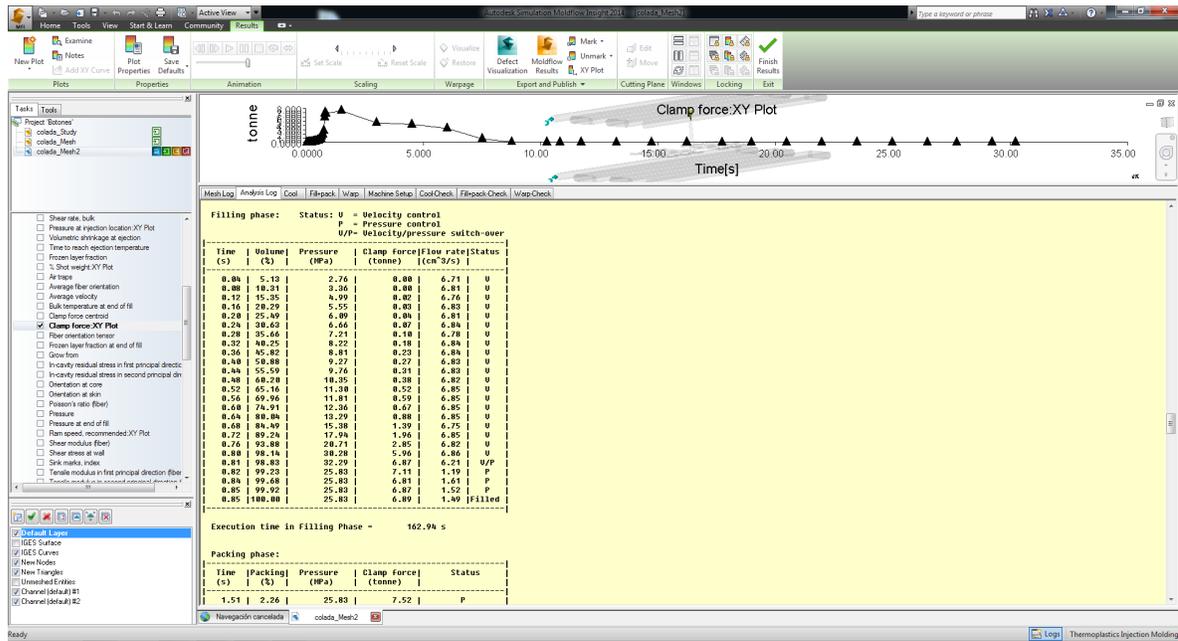


Figura 6.54 Fases de llenado

- Fase de empaque

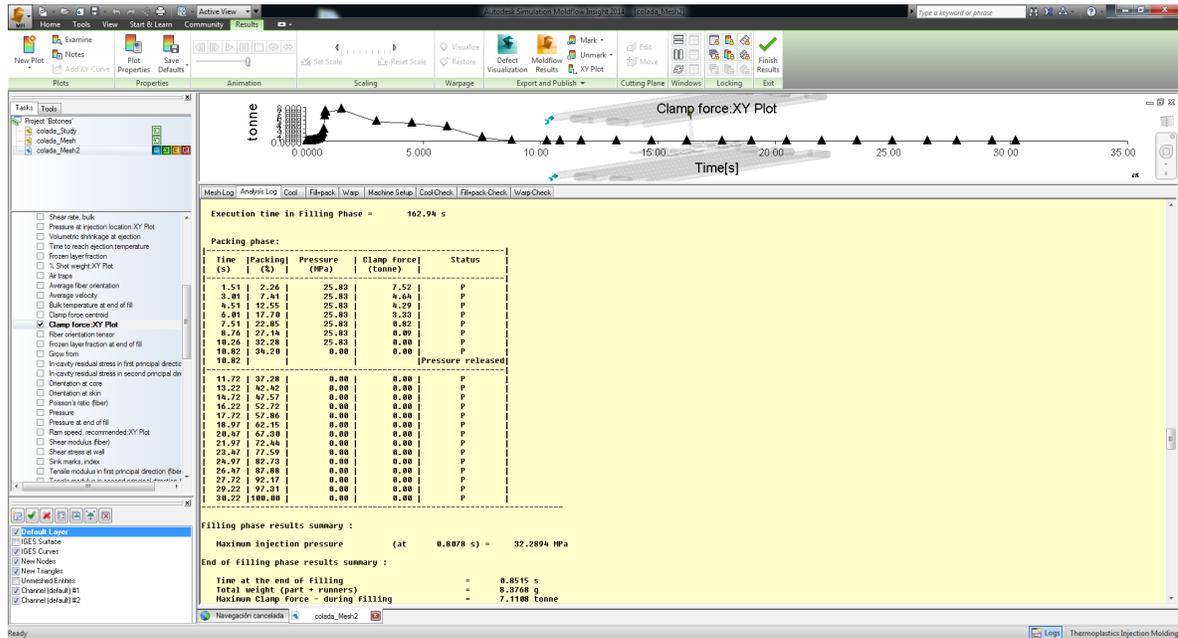


Figura 6.55 Fase de empaque

6.5.6. Resultados

Los siguientes resultados se obtuvieron después de realizar el análisis de la pieza en Mold Flow ®, es la información necesaria para saber qué tipo de máquina se necesita para la inyección del Botón, así como para capturar esta información en la unidad de control, de esto depende que las piezas no tengan defectos y se pueda tener una producción con calidad.

- Performing cooling network analysis

Inlet node	Flow rate in/out (lit/min)	Reynolds No. range circuit (MPa)	Press. Drop over circuit (kW)	Pumping power over
2587	3.39	10000.0 - 10000.0	0.0122	6.900e-04
2676	3.39	10000.0 - 10000.0	0.0122	6.900e-04

- Coolant Temperatures

Inlet node	Coolant temp. range	Coolant temp. rise over circuit
2587	25.0 - 25.1	0.1 C
2676	25.0 - 25.1	0.1 C

Final circuit temperature residual: 0.00000E+00

- Summary of Cavity Temperature Results

Cavity surface temperature - maximum = 32.7700 C

Cavity surface temperature - minimum = 26.7220 C

Cavity surface temperature - average = 28.8620 C

Average mold exterior temperature = 25.0640 C

Cycle time = 35.0000 s

- Material data

Polymer : Ultramid B35EG3 : BASF

Specific heat (C_p) = 2400.0000 J/kg-C

Thermal conductivity = 0.1950 W/m-C

Transition temperature = 185.0000 C

Transversely isotropic coefficient of thermal expansion (CTE) data:

Alpha1 = 3.6000E-05 1/C

Alpha2 = 7.7000E-05 1/C

Filler properties:

Density (ρ) = 2.5400 g/cm³

Mechanical properties data:

E = 7.2000E+04 MPa

ν = 0.2200

Coefficient of thermal expansion (CTE) data:

Alpha1 = 5.0000E-06 1/C

Alpha2 = 5.0000E-06 1/C

Weight = 0.1500

Aspect ratio (L/D) = 25.0000

- Machine parameters

Maximum machine clamp force = 7.0002E+03 tonne

Maximum injection pressure = 1.8000E+02 MPa

Maximum machine injection rate = 5.0000E+03 cm³/s

Machine hydraulic response time = 1.0000E-02 s

- Process parameters

Fill time = 0.8000 s

Injection time has been determined by automatic calculation.

Stroke volume determination = Automatic

Cycle time = 35.0000 s

Velocity/pressure switch-over by = Automatic

Packing/holding time = 10.0000 s

Ambient temperature = 25.0000 C

Melt temperature = 280.0000 C

Ideal cavity-side mold temperature = 85.0000 C

Ideal core-side mold temperature = 85.0000 C

NOTE: Using mold wall temperature data from cooling analysis

- Filling phase

Status: V = Velocity control

P = Pressure control

V/P= Velocity/pressure switch-over

Time (s)	Volume (%)	Pressure (MPa)	Clamp force (tonne)	Flow rate (cm ³ /s)	Status
0.04	5.13	2.76	0.00	6.71	V
0.08	10.31	3.36	0.00	6.81	V
0.12	15.35	4.99	0.02	6.76	V
0.16	20.29	5.55	0.03	6.83	V
0.20	25.49	6.09	0.04	6.81	V
0.24	30.63	6.66	0.07	6.84	V
0.28	35.66	7.21	0.10	6.78	V
0.32	40.25	8.22	0.18	6.84	V
0.36	45.82	8.81	0.23	6.84	V
0.40	50.88	9.27	0.27	6.83	V
0.44	55.59	9.76	0.31	6.83	V
0.48	60.20	10.35	0.38	6.82	V
0.52	65.16	11.30	0.52	6.85	V
0.56	69.96	11.81	0.59	6.85	V
0.60	74.91	12.36	0.67	6.85	V
0.64	80.04	13.29	0.88	6.85	V
0.68	84.49	15.38	1.39	6.75	V
0.72	89.24	17.94	1.96	6.85	V
0.76	93.88	20.71	2.85	6.82	V
0.80	98.14	30.28	5.96	6.86	V
0.81	98.83	32.29	6.87	6.21	V/P
0.82	99.23	25.83	7.11	1.19	P
0.84	99.68	25.83	6.81	1.61	P
0.85	99.92	25.83	6.87	1.52	P
0.85	100.00	25.83	6.89	1.49	Filled

Execution time in Filling Phase = 162.94 s

- Packing phase

Time (s)	Packing (%)	Pressure (MPa)	Clamp force (tonne)	Status
1.51	2.26	25.83	7.52	P
3.01	7.41	25.83	4.64	P
4.51	12.55	25.83	4.29	P
6.01	17.70	25.83	3.33	P
7.51	22.85	25.83	0.82	P
8.76	27.14	25.83	0.09	P
10.26	32.28	25.83	0.00	P
10.82	34.20	0.00	0.00	P
10.82				Pressure released
11.72	37.28	0.00	0.00	P
13.22	42.42	0.00	0.00	P
14.72	47.57	0.00	0.00	P
16.22	52.72	0.00	0.00	P
17.72	57.86	0.00	0.00	P

18.97	62.15	0.00	0.00	P	
20.47	67.30	0.00	0.00	P	
21.97	72.44	0.00	0.00	P	
23.47	77.59	0.00	0.00	P	
24.97	82.73	0.00	0.00	P	
26.47	87.88	0.00	0.00	P	
27.72	92.17	0.00	0.00	P	
29.22	97.31	0.00	0.00	P	
30.22	100.00	0.00	0.00	P	

Filling phase results summary:

Maximum injection pressure (at 0.808 s) = 32.2894 MPa

End of filling phase results summary:

Time at the end of filling = 0.8515 s

Total weight (part + runners) = 8.3768 g

Maximum Clamp force - during filling = 7.1108 tonne

End of packing phase results summary:

Time at the end of packing = 30.2172 s

Total weight (part + runners) = 8.9521 g

Total part weight - maximum (at 10.261 s) = 8.9521 g

Total part weight (excluding runners) = 8.9521 g

7. Conclusión

Los sistemas de inyección por colada fría se comprometen a la reducción de tiempos de procedimiento y eliminación de ramas de inyección. En esta tesina se demuestra que con la correcta aplicación de las herramientas tecnológicas existentes en el sector de la industria plástica tales como los simuladores de modelación, porta moldes, inyectoros y sistemas de expulsión, entre otros, logran mantener e impulsar la competitividad de la empresa de inyección de artículos plásticos; así como la innovación de los procesos productivos de la misma.

Se puede confirmar que el diseño y su construcción de molde de inyección en México es factible y aporta al desarrollo económico del país.

Como diseñadores industriales se desarrollan y establecen métodos productivos que causan una mejora continua teniendo el leal compromiso de colaborar con la sociedad, para así, poder ser un México más grande.

8. Bibliografía

- 1.- *Historia*. (s.d) Recuperado: 2013, 13 de Agosto.
Disponible en: <http://davidchibuque.galeon.com/historia.html>
- 2.- M. Beltrán y A. Marcilla. (s.d.) *Tecnología de Polímeros*. Recuperado: 2013, 13 de Agosto.
Disponible en: <http://iq.ua.es/TPO/Tema5.pdf>
- 3.- *Los Plásticos* (s.d.) Recuperado: 2013, 13 de Agosto.
Disponible en: <http://www.librosvivos.net/smtc/hometc.asp?TemaClave=1079>
- 4.- Acoplásticos (s.d.) *Plásticos*. Recuperado: 2013, 18 de Agosto.
Disponible en: <http://www.cempre.org.co/documentos/ficha%20plástico.pdf>
- 5.- BUMCo, (2012) *Catálogo Maquinaria para la Industria del Plástico*. Recuperado: 2013, 18 de Agosto.
Disponible en: <http://www.maquinas-de-inyeccion-de-plasticos.com.mx/>
- 6.- QuimiNet (2008, 12 Agosto), *Los moldes de inyección de plástico de colada y canal calientes*.
Recuperado: 2013, 19 de Agosto.
- 7.- Humbrías Plásticos (2012), *Calidad*. Recuperado: 2013, 19 de Agosto.
Disponible en: <http://www.plasticos-humbrias.com/calidad.html>
- 8.- Autodesk (2013) Autodesk Simulation Recuperado: 2013, 7 de Septiembre.
Disponible en: <http://www.autodesk.com/products/autodesk-simulation-family/features/simulation-moldflow>
- 9.- Ing. Michelle Lugo De Lilie (2008), *La Historia del Plástico*. Recuperado: 10 de Septiembre.
Disponible en: http://www.ingenieriaplastica.com/novedades_ip/instituciones/cipres_historia.html
- 10.- Injection Molding Handbook, D. Rosato y M. Rosato, Kluwer Academic Publishers, 3a edición, 2000.

- 11.- Injection Molding, Encyclopedia of Polymer Science Technology, J. Bozzelli, 1999.
- 12.- Plasticbages Industrial, S.L. (2012), *Acetal*. Recuperado: 20 de Septiembre
Disponible en: <http://www.plasticbages.com/elacetal.html>
- 13.- Ventos, (2013), *Lista productos Acetal* . Recuperado: 25 de Septiembre.
Disponible en:
https://www.ventos.com/index.php?option=com_fabrik&c=form&view=details&Itemid=94&fabrik=8&rowid=3209&fabrik_cursor=126&fabrik_total=1610&tableid=6&lang=it
- 14.- Hoja técnica Ultramid B35EG3, Recuperado: 06 de Octubre
http://www.plasticsportal.net/wa/EU~it_IT/Catalog/ePlastics/doc4/BASF/product/ultramid_b35eg3/.pdf?title=Processing%20Data%20Sheet&asset_type=pds/pdf&language=EN&urn=urn:documentum:eCommerce_sol_EU:09007bb2800a1d9a.pdf
- 15.- A review on: stack mold, SPE's ANTEC Proceedings, N. Shah y A. Ambekar, 2006.
- 16.- Hot Runner Molding: Products, Systems and Applications, SPE's ANTEC Proceedings, D. Hugo, 2000.
- 17.- Stack Mold Carrier Mounted on Linear Bearings, P.Looije, P. Sabapathy, Simone J. y W. Keir, 2000.
- 18.- Rack and Pinion Gear Stack Mold Control, J. Sheffield, 1988.
- 19.- CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE POLÍMEROS, Vincent María, Alvarez Silvia, Zaragoza José Luis, Editorial Universidad Politécnica de Valencia, 2006.
- 20.- TECNOLOGÍA DE LOS POLÍMEROS. PROCESADO Y PROPIEDADES, Beltrán Maribel, Marcilla Antonio, Publicaciones Universidad de Alicante, 2012.
- 21.- CINÉTICA QUÍMICA BÁSICA Y MECANISMOS DE REACCIÓN, Avery H.E., Editorial Reverté, S.A., 1982.

22.- FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA, Materiales, Procesos y Sistemas, Groover, Mikell P., Editorial Prentice - Hall Hispanoamericana S.A., 1997.

23.- PROCESOS INDUSTRIALES PARA MATERIALES NO METÁLICOS, Rodríguez Julián, Castro Lucas, Del Real J. Carlos, Editorial Vision Net, 2006.

24.- MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN, DeGarmo E.P., Black J.T., Kohser R.A., Editorial Reverté, S.A., 1994.



Centro Universitario, Agosto del 2013.

C. DIANA GABRIELA MARTÍNEZ DE LA PIEDRA, y
 C. CORINA CARMONA JIMÉNEZ

Pasante (s) del área de Ingeniería en Diseño Industrial,
P R E S E N T E .

En respuesta a la solicitud que Usted (es) plantea (n) sobre la **ASIGNACIÓN** de **ASESOR**, necesario para la elaboración de la **TESINA**, y requisito para la acreditación del **DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE PROCESAMIENTOS PLÁSTICOS** se le (s) designa al (la) **MTRO. GUILLERMO HIYANE NASHIRO**, para desarrollar el tema: **"SISTEMA DE INYECCIÓN APLICADO EN LA INDUSTRIA DEL PLASTICO"** por lo que deberá (n) dirigirse al **catedrático** para ponerse de acuerdo y realizar el trabajo correspondiente tomando en cuenta los lineamientos que para su elaboración otorga el Centro de Educación Continua.

Por lo anterior me permito hacer de su conocimiento que la tesina deberá entregarse debidamente empastada y en disco compacto; aprobada por su asesor y la coordinación del área a más tardar el día 08 de Octubre del 2013.

ATENTAMENTE

"El ingenio para crear, no para destruir"

M. en I. RUBÉN RAMÍREZ JIMÉNEZ,
 COORDINADOR



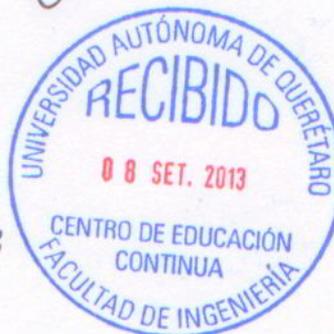
FIRMA DE ACEPTACIÓN DEL ASESOR
 MTRO. GUILLERMO HIYANE NASHIRO

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha: 8 Oct. '13

De enterado



Cp. Archivo.
 Cpr*



Centro Universitario, Octubre del 2013.

A QUIEN CORRESPONDA:

Hago constar que el (os) pasante (s) de la Licenciatura de Ingeniería en Diseño Industrial **C. DIANA GABRIELA MARTINEZ DE LA PIEDRA y CORINA CARMONA JIMÉNEZ**, aprobó (n) la TESINA del **DIPLOMADO DE INGENIERÍA EN PROCESAMIENTOS PLÁSTICOS** impartido por el Centro de Educación Continua para lo cual presenta (n) el trabajo titulado: **“SISTEMA DE INYECCIÓN APLICADO EN LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO”**

Aprobada con fines de Titulación.

MTRO. GUILLERMO HIYANE NASHIRO
ASESOR DE TESINA