



**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

TRABAJO DE DIPLOMA

**PROPUESTA DE UN SISTEMA EN COLADA CALIENTE PARA EL DISEÑO
DEL MOLDE POR INYECCIÓN DEL CONTENEDOR DE MEDICAMENTOS
RADIOACTIVOS**

Autores: YOSBEL GIRALDO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

GABRIEL ALBUERNE TEJERA

Tutor: Dr.C. -Ing. YUDIESKI BERNAL AGUILAR

**Santa Clara
2015**



**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

TRABAJO DE DIPLOMA

**PROPUESTA DE UN SISTEMA EN COLADA CALIENTE PARA EL DISEÑO
DEL MOLDE POR INYECCIÓN DEL CONTENEDOR DE MEDICAMENTOS
RADIOACTIVOS**

Autores: YOSBEL GIRALDO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

GABRIEL ALBUERNE TEJERA

Tutor: Dr.C. -Ing. YUDIESKI BERNAL AGUILAR

**Santa Clara
2015**



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma de los Autores

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

PENSAMIENTO

PENSAMIENTO

*La grandeza de la ingeniería es el resultado de los hombres,
que pueden construir el futuro, o deshacer el presente*

Albert Einstein

DEDICATORIA

DEDICATORIA

Por su amor este trabajo en especial va dedicado a Dios. También a nuestros padres por confiar siempre en nosotros. A todos nuestros familiares y amigos por motivarnos a seguir avanzado.

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Al Dios de la gloria por su ayuda incondicional en todo momento.

A nuestro tutor y amigo Dr.C. Yudieski Bernal Aguilar por su contribución y asesoría en la realización de este trabajo de diploma.

A nuestros padres Maria del Carmen, Giraldo, Paula y Gabriel por ser nuestra inspiración a seguir en esta carrera. Gracias a ustedes hemos llegado al final, pues su apoyo siempre fue lo mejor para nuestras vidas como profesionales.

A mi tía y amiga Ana Mabel por su disposición ante las circunstancias.

A nuestros asesores Freddy Santos y Yodsamy Morales por su colaboración y empeño para el desarrollo de este trabajo de diploma.

A nuestra amiga Arliette L. Sanchez Morfa por apoyarnos cuando más lo necesitamos.

A mis hermanos de la iglesia por estar siempre presente.

A nuestros compañeros de escuela por su ayuda y preocupación.

A nuestros abuelos por ser la voz de la experiencia y sus consejos siempre estarán en nuestros corazones.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y sus profesores por darnos las herramientas de aprendizaje necesarias para el conocimiento ingenieril.

A aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

A TODOS MUCHAS GRACIAS

RESUMEN

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una búsqueda bibliográfica donde se ilustra el proceso de moldeo por inyección a nivel internacional, sin dejar de mencionar cómo se desarrolla el mismo en nuestro país. Como resultado de la búsqueda se analiza las diferentes variantes de moldeo por inyección que existen, dando a conocer en que se basa cada una de ellas. También se aborda algunos de los materiales más usados en la inyección de moldes plásticos, de ellos se muestran una serie de características tecnológicas que los distinguen. Para facilitar el diseño de moldes es necesario destacar que existen programas de computación que se emplean para la construcción de los mismos, por eso en el trabajo de diploma se explican estas herramientas, aunque se da a conocer otros que gracias a la función que realizan pueden ser utilizados para cumplir con la tarea de desarrollar un modelo que facilite la fabricación de moldes para piezas plásticas. Se exponen medidas para eliminar defectos causados por la elaboración errónea del molde. Se describen varios aspectos técnicos que se deben tener en cuenta para diseñar el molde. Dentro de estos elementos se hace referencia a los diferentes sistemas que componen el molde y a la función que realizan. En base a los aspectos técnicos se procede al diseño del molde en colada fría con la ayuda del Autodesk Inventor y el SolidWorks, dos software CAD que son bastante empleados en la rama del diseño mecánico en el mundo y se determinan los parámetros tecnológicos necesarios. En el software Autodesk Inventor se hace la simulación del llenado de las cavidades y se observa que no existe ninguna dificultad. Según el molde diseñado en colada fría se propone el sistema de colada en caliente que le corresponde según el catalogo.

ABSTRACT

ABSTRACT

In this paper a literature search where the injection molding process shown internationally, not to mention how it develops in our country it is done. Search results different variants of injection molding there, revealing that it is based each analyzed. Some of the materials commonly used in plastic injection molds, of which a number of technological features that distinguish them are also addressed. To facilitate the design of molds is necessary to emphasize that there are computer programs that are used to build them, so in the dissertation these tools are explained, although it is provided other than through their function can be used to meet the task of developing a model to facilitate the manufacture of molds for plastic parts. Measures are set to eliminate defects caused by faulty development of the mold several technical aspects to be taken into account in designing the mold are described. Within these elements refer to the different systems that make up the mold and their function are. Based on the technical aspects we proceed to the design of the mold in cold wash with the help of Autodesk Inventor and SolidWorks two CAD software that are quite used in the branch of mechanical design in the world and the necessary technological parameters are determined. In the Autodesk Inventor software simulation of filling the cavities is made and notes that there is no difficulty. According to the mold designed in cold wash the hot runner system it deserves as the catalog it is proposed.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Título	Pág.
Figura 1.1	Clavija de conexión de un teléfono.....	8
Figura 1.2	El sistema de coinyección de canales calientes con el flujo separado para los canales de los distintos materiales que unen a cada boquilla con el canal caliente.....	10
Figura 1.3	Asesor de resultados.....	13
Figura 2.1	Aspectos técnicos en el diseño de moldes.....	23
Figura 2.2	Curvas de costo para cavidades.....	26
Figura 2.3	Contracción de esfuerzos.....	28
Figura 2.4	Ejemplos de la aplicación de la regla de las sombras lumínicas.....	31
Figura 2.5	Diferentes tipos de diseño de compuertas.....	34
Figura 2.6	Sistema de llenado.....	36
Figura 2.7	Ejemplo de salida de aire para el caso de Poliestireno.....	37
Figura 2.8	Representación esquemática de varias varillas de expulsión.....	38
Figura 2.9	Sistema de expulsión estándar.....	39
Figura 2.10	Perno expulsor cilíndrico.....	40
Figura 2.11	Perno expulsor tubular.....	40
Figura 2.12	Perno expulsor laminar.....	40
Figura 2.13	Distribución de áreas para el diseño de cavidades.....	43
Figura 2.14	Fuerzas que actúan en el proceso de inyección a presión.....	43
Figura 2.15	Determinación del área proyectada en el molde.....	44
Figura 2.16	Distribución de cavidades.....	45
Figura 2.17	Tiempo de inyección en función del peso del artículo.....	46
Figura 2.18	Determinación del tiempo óptimo de la cavidad en función en la cavidad en función de la presión de inyección y temperatura a la entrada a la cavidad y de un punto alejado de la misma.....	47
Figura 2.19	Circuito de refrigeración en serie.....	51
Figura 2.20	Circuito de refrigeración en paralelo.....	51
Figura 3.1	Cuerpo del contenedor elaborado en Autodesk Inventor.....	57
Figura 3.2	Distribuidor caliente.....	59
Figura 3.3	Boquilla serie 50.....	60
Figura 3.4	Línea de partición del artículo.....	62
Figura 3.5	Entrada de material.....	62
Figura 3.6	Canales de alimentación.....	63
Figura 3.7	Bebedero empleado.....	64
Figura 3.8	Simulación del llenado de las cavidades en el Autodesk Inventor.....	64
Figura 3.9	Canales de ventilación.....	65
Figura 3.10	Mecanismo de extracción por camisas.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Título	Pág.
Figura 3.11	Distribución de cavidades empleada en el software Autodesk Inventor...	68
Figura 3.12	Simulación del tiempo de llenado en el software Autodesk Inventor.....	68
Figura 3.13	Enfriamiento a través de la cavidad.....	69
Figura 3.14	Canales de refrigeración.....	69
Figura 4.1	Tapa del contenedor elaborado en SolidWorks.....	73
Figura 4.2	Línea de partición del artículo.....	75
Figura 4.3	Entrada de material.....	76
Figura 4.4	Canales de alimentación.....	76
Figura 4.5	Bebedero empleado.....	76
Figura 4.6	Simulación del llenado de las cavidades en el SolidWorks.....	77
Figura 4.7	Sistema de extracción por expulsores.....	77
Figura 4.8	Distribución de cavidades empleada en el software SolidWorks.....	79
Figura 4.9	Canales de refrigeración.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Título	Pág.
Tabla 1.1	Materiales más utilizados por el método de inyección.....	17
Tabla 2.1	Espesores de pared recomendados para materiales termoplásticos.....	28
Tabla 2.2	Algunos valores aproximados de la contracción.....	30
Tabla 2.3	Dimensiones recomendadas para las salidas de aire.....	37
Tabla 2.4	Tipos de sistema de expulsión.....	38
Tabla 2.5	Valores del coeficiente K2 que considera el volumen del sistema de alimentación con relación a una pieza.....	42
Tabla 2.6	Tiempos de pausa.....	48
Tabla 2.7	Valores de contenido de calor para algunos termoplásticos.....	49
Tabla 2.8	Coficiente de temperatura (V) en función de la constante del módulo de transferencia de calor.....	52
Tabla 2.9	Tipos de moldes.....	53
Tabla 2.10	Defectos en el moldeo por inyección.....	55
Tabla 3.1	Especificación de MANIFOLDS.....	59
Tabla 3.2	Dimensiones sugeridas.....	59
Tabla 3.3	Datos específicos.....	60
Tabla 3.4	Especificación de boquillas serie 50.....	60
Tabla 3.5	Características técnicas de la máquina.....	62
Tabla 3.6	Materiales para la construcción del molde.....	71
Tabla 4.1	Características técnicas de la máquina.....	75
Tabla 4.2	Materiales para la construcción del molde	81

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

INPUD	Industrial Nacional Productora de Utensilios Domésticos “1ero de Mayo
EMI	Empresa Militar Industrial de Manicaragua
CNC	Control Numérico Computacional
FAR	Fuerzas Armadas Revolucionarias
PEAD	Polietileno de alta densidad
CID	Centro de Investigación y Desarrollo
UM	Unidad de medida
PA	Poliamida
PP	Polipropileno
CAM	Computer-Aided Manufacturing (Manufactura Asistida por Computadora)
CAE	Computer-Aided Engineering (Ingeniería Asistida por Computadora)
tot	Total
Temp	Temperatura
ABS	Acrilonitrilo-butadieno-estireno
Máx	Máximo
Mín	Mínimo
ProE	Pro Engineer
AISI	American Iron and Steel Institute (Instituto Americano del Hierro y el Acero)
PVC _h	Cloruro de polivinilo rígido
PE	Polietileno
PVC	Policloruro de vinilo
PS	Poliestireno
PEBD	Polietileno de baja densidad
CAD	Computer-Aided Design (Diseño Asistido por Computadora)

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICO A NIVEL MUNDIAL. DESARROLLO ACTUAL EN CUBA	
1.1.- Generalidades.....	5
1.2.- Variantes del moldeo por inyección.....	8
1.3.- Programas informáticos utilizados en el diseño de moldes por inyección de plástico.....	11
1.4.- Materiales más usados en la inyección de moldes plásticos. Características tecnológicas.....	15
1.5.- Conclusiones parciales.....	22
CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE MOLDES DE INYECCIÓN	
2.1.- Aspectos técnicos tenidos en cuenta en el diseño de moldes.....	23
2.2.- Análisis de la muestra prototipo o plano de la pieza.....	24
2.3.- Diseño de la pieza plástica.....	27
2.4.- Cálculo y diseño del molde de inyección.....	29
2.5.- Medidas para eliminar defectos de elaboración causados por una construcción errónea del molde.....	54
2.6.- Conclusiones parciales.....	56
CAPÍTULO III: DISEÑO DEL MOLDE DE INYECCIÓN PARA LA PIEZA CASO DE ESTUDIO USANDO EL SOFTWARE AUTODESK INVENTOR	
3.1.- Análisis de la muestra prototipo.....	57
3.2.- Diseño de la pieza.....	61
3.3.- Cálculo y diseño del molde de inyección.....	61
3.4.- Conclusiones parciales.....	71

CAPÍTULO IV: DISEÑO DEL MOLDE DE INYECCIÓN PARA LA PIEZA CASO DE ESTUDIO USANDO EL SOFTWARE SOLIDWORKS

4.1.-	Análisis de la muestra prototipo.....	73
4.2.-	Diseño de la pieza.....	74
4.3.-	Cálculo y diseño del molde de inyección.....	74
4.4.-	Valoración económica.....	82
4.5.-	Conclusiones parciales.....	83
	Conclusiones Generales.....	84
	Recomendaciones.....	85
	Bibliografía.....	86
	Anexos.....	

INTRODUCCIÓN

El moldeo por inyección de plástico es un proceso que depende del adecuado funcionamiento de una máquina, la cual utiliza un material termoplástico o termofijos para producir una o más piezas moldeadas mediante su inyección en un molde. En el caso de la máquina, esta se encarga de plastificar el material (fundirlo) para hacerlo fluir mediante la aplicación de presión, y para el molde, este recibe el material donde se solidifica y toma la forma del mismo. Este proceso es conocido como moldeo por inyección. [1]

John Hyatt registró en 1872 la primera patente de una máquina de inyección, la cual consistía en un pistón que contenía en la cámara derivados celulósicos fundidos. Sin embargo, se atribuye a la compañía alemana Cellon-Werkw el haber sido pionera de la máquina de inyección moderna. Esta firma presentó, en 1928, una patente incluyendo la descripción de nitrocelulosa (celuloide). Debido al carácter inflamable de la nitrocelulosa, se utilizaron posteriormente otros derivados celulósicos como el etanoato de celulosa. Los británicos John Beard y Peter Delafield, debido a 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. [2]

El primer artículo de producción masiva en Inglaterra fue la pluma fuente, producida durante los años treinta por la compañía Mentmore Manufacturing. La misma utilizaba máquinas de moldeo por inyección de Eckert & Ziegler (Alemania). Estas máquinas funcionaban originalmente con aire comprimido (aproximadamente 31 kg/cm^2); el sistema de apertura de molde y la extracción de la pieza eran realizados manualmente, y los controles incluían válvulas manuales, sin control automático ni pantallas digitales; además, carecían de sistemas de seguridad.

En 1951 se desarrolló en Estados Unidos la primera máquina de inyección con un tornillo reciprocante (o, simplemente, husillo), aunque no fue patentada hasta 1956. Este cambio ha sido la aportación más importante en la historia de las máquinas inyectoras. Al finalizar la segunda guerra mundial, la industria de la inyección de plástico experimentó un crecimiento comercial sostenido. Sin embargo, a partir de la década de los ochenta, las mejoras se han enfocado a la eficiencia del diseño, del flujo del polímero, el uso de sistemas de software CAD, inclusión de robots más rápidos para extracción de piezas,

inyección asistida por computadora, eficacia en el control de calentamiento y mejoras en el control de la calidad del producto.[2]

Gradualmente la industria plástica por inyección comenzó a crecer más rápidamente con la invención de máquinas avanzadas. El moldeo por inyección de plástico es el proceso de producción de productos plásticos con determinados métodos de alta fidelidad. La gran demanda de productos de plástico también ha llevado al aumento del plástico moldeado por industria [3]. Hoy el uso de plástico en diferentes artículos vinculados en los sectores de la sociedad como el transporte, la medicina, la construcción y otros ha sido de vital importancia en el reemplazo de artículos metálicos con elevado costo económico.

Situación Problemática

La empresa EMI Che Guevara, perteneciente al municipio de Manicaragua en la provincia de Villa Clara se ve en la necesidad de fabricar una pieza tipo contenedor importada, la cual cumple con la función de almacenar medicamentos radioactivos. En Cuba no existe el diseño de moldes por colada caliente por lo que este trabajo de diploma propone el diseño del molde, mencionando algunos aspectos generales a tener en cuenta para la fabricación de la pieza, facilitando eliminar su importación y a consecuencia de esto propiciar un ahorro económico para el país con respecto al tema en cuestión.

Problema científico

¿Cómo proponer un diseño del molde plástico por inyección en colada caliente para la obtención de la pieza tipo contenedor para medicamentos radioactivos?

Preguntas de investigación

1. ¿Cuáles son los materiales más utilizados en la inyección de moldes plásticos?
2. ¿Cuáles son las diferentes variantes del moldeo por inyección?
3. ¿Cuáles son los aspectos generales a tener en cuenta en el diseño de moldes?
4. ¿Qué tipos de defectos se presentan en el proceso de inyección?
5. ¿Qué tipo de sistema de colada caliente proponer en el diseño del molde?

Objetivo general

Proponer un sistema en colada caliente en el diseño del molde por inyección de plástico, evaluando el comportamiento de los parámetros tecnológicos para el contenedor de medicamentos radioactivos.

Objetivos específicos

1. Revisión bibliográfica sobre el proceso de moldeo de piezas de plástico.
2. Implementar un procedimiento que permita obtener los principales elementos básicos para el diseño de un molde por inyección de plástico.
3. Desarrollar el diseño del molde por inyección de plástico usando el software Autodesk Inventor para el cuerpo del contenedor de medicamentos radioactivos.
4. Desarrollar el diseño del molde por inyección de plástico usando el software SolidWorks para la tapa del contenedor de medicamentos radioactivos.
5. Proponer un sistema en colada caliente para ambos diseños.

Aportes esperados de la investigación

La investigación reportará las siguientes ventajas:

- Mejora la calidad de las piezas moldeadas y reduce el tiempo de ciclo del moldeo.
- Mayor rapidez y calidad en la elaboración de los diseños de los moldes.
- Mejora la eficiencia del equipo y reduce los costos.

Hipótesis del trabajo:

“Si se realiza un adecuado estudio del diseño del molde por inyección, es posible proponer un sistema en colada caliente que me permita evaluar el comportamiento de los parámetros tecnológicos y sirvan de base para la preparación de la fabricación, tomando en cuenta la disminución de los defectos que aparecen en el proceso”.

Justificación:

La investigación desarrollada en este trabajo de diploma sirve de base para proponer un sistema en colada caliente sobre el diseño del molde de la pieza, favoreciendo de tal manera la construcción del mismo a través del proceso de inyección. Además la empresa EMI Che Guevara de Manicaragua evita tener que comprar este artículo importado.

Viabilidad de la Investigación:

La investigación es viable ya que se cuenta con profesionales y estudiantes de la Universidad Central “Marta Abreu de Las Villas” y la EMI Che Guevara de Manicaragua capacitados para llevar a cabo la investigación. La dirección de la EMI de Manicaragua se encuentra abierta a la cooperación para llevar adelante este estudio.

Estructura del Trabajo:

El trabajo de diploma consta de un resumen, introducción, cuatro capítulos, así como conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

Capítulo I: Se realiza una revisión bibliográfica en cuanto al estado del arte, la actualidad nacional e internacional del diseño de moldes por inyección de plástico. Además se analiza las diferentes variantes de moldeo por inyección existentes. Se explican los diferentes materiales utilizados en la inyección de moldes plásticos y se da a conocer algunos programas informáticos empleados en el diseño de moldes.

Capítulo II: Se realiza un estudio acerca de algunos aspectos generales a tener en cuenta en el diseño de moldes de inyección. Se mencionan algunos de los defectos presentados en la elaboración de la pieza según la construcción errónea del molde.

Capítulo III: Se describe el cuerpo del contenedor especificando sus características físicas y su función. Se escoge el proceso de moldeo por inyección que se empleará para la fabricación de la misma y se selecciona el material a utilizar. Se diseña el molde usando el software Autodesk Inventor y se propone un sistema de colada caliente. Se determinan los parámetros tecnológicos necesarios.

Capítulo IV: Se realiza un estudio previo de la tapa del contenedor de medicamentos radiactivos. Se diseña el molde de la pieza con la ayuda del software SolidWorks. Se calculan algunos parámetros tecnológicos de la pieza en específico y se establece una valoración económica sobre los moldes diseñados en ambos programas.

CAPÍTULO I

EL MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICO A NIVEL MUNDIAL. DESARROLLO ACTUAL EN CUBA

CAPÍTULO I: EL MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICO A NIVEL MUNDIAL. DESARROLLO ACTUAL EN CUBA

1.1.- Generalidades

En los últimos años la tecnología de moldeo por inyección se ha convertido en un elemento integral del ámbito de la maquinaria de plásticos, por la demanda en sectores como la automoción, la construcción, la electricidad y la electrónica, así como en el embalaje de alimentos, bebidas y servicios farmacéuticos. La demanda de moldes en España está estabilizada alrededor de los 215 millones de € anuales. Cabe destacar que a pesar de la difícil situación del sector, la producción del 2008 superó a la del año 2009 en un 5,5%, si bien sigue con niveles inferiores a los del 2004 y una elevada dependencia de las importaciones de procedencia Japón, China y Portugal [4]. En China, las máquinas de moldeo por inyección superan a otros tipos de máquinas en términos de producción, exportaciones y valor de la producción. Estas se han convertido en una parte importante del mercado mundial de máquinas para plásticos.[5]

Lo anterior se evidencia en las estadísticas de este país entre los años 2005 y 2010 donde se constata que más del 20% de la producción total de productos plásticos fueron fabricados a través del moldeo por inyección, y su alta demanda ha generado constantes mejoras en este tipo de tecnología.

Otro dato importante es que la producción China de maquinaria de plásticos se espera que aumente en los próximos años de 150.000 y 500.000 equipos, de los que el 35% corresponde a maquinaria de moldeo por inyección.[5]

Cuando se habla del sector de inyección de plásticos, hay que mencionar que éste participa en un amplio abanico de mercados con infinidad de productos. Se pueden producir desde componentes de ingeniería de alta precisión hasta productos desechables, con un mínimo desperdicio, gran velocidad y múltiples posibilidades en diseño.

De acuerdo con Plastics Industry Snapshot, Winter 2014 de Stout Risius Ross, Inc., en 2013 las transacciones de compañías del sector de inyección representaron el 31% del total de fusiones y adquisiciones durante el período, evidenciando la importancia de este sector en Estados Unidos. En el informe sobre el mercado de la industria de inyección de plásticos, publicado en mayo de 2014 por Grand View Research, se muestra que el sector de empaques es la mayor aplicación para los plásticos inyectados, representando el 30%

de su demanda global en 2013. El sector de la construcción representó el 13% y los artículos inyectados de cuidado personal fueron el 14% de la demanda global. Se espera que las industrias automotriz y de transporte se conviertan en el segmento de más rápido crecimiento en inyección, con tasas de 5,7% anual de 2014 a 2020. [6]

En la actualidad, el sector del automóvil se está esforzando en reducir el consumo energético mediante la reducción del peso de los coches. Internacionalmente, el consumo unitario de plásticos de ingeniería se considera el parámetro que mide el nivel de industrialización de la automoción de un país. En los próximos 5-10 años, el consumo de plásticos de automoción previsiblemente mantendrá un índice de crecimiento anual del 10-20%. [5]

Es significativa además la demanda de tubos y conductos para la construcción, la irrigación, y para los sectores de telecomunicaciones y cables, pues es el segundo mercado de aplicaciones para las tecnologías de moldeo por inyección.

El mercado de línea blanca también es uno de los sectores más importantes para impulsar el desarrollo de las tecnologías de moldeo por inyección. Los fabricantes de televisores, refrigeradores, calentadores, lavadoras, baterías, pilas solares y redes solares son los principales usuarios de máquinas de moldeo por inyección. De hecho, algunos fabricantes chinos de electrodomésticos comienzan a adoptar tecnologías especiales de moldeo por inyección, como es el moldeo de espuma estructural, de espuma microporosa, moldeo de inyección compuesta multicapa, e inyección asistida por gas/agua.

Con el desarrollo industrial alcanzado en las primeras décadas del triunfo revolucionario e impulsado por el ministro de industria el comandante Ernesto Che Guevara surgieron otras fábricas que respondían a estas producciones y un ejemplo de ellas lo constituye la INPUD 1ro de Mayo en la ciudad de Santa Clara y la EMI Ernesto Che Guevara de Manicaragua.

Lo anterior comienza a sentar las bases a partir de 1961 dando respuesta a las producciones de moldes que posteriormente necesitaría el país. Durante estos años prevalecieron los métodos empíricos en los talleres e independientemente del empleo de algunos manuales que llegaron desde el exterior principalmente de Checoslovaquia los que no han sido posibles consultar para esta investigación.

Según lo planteado por García Martínez en su tesis doctoral, fue en el año 1989 cuando el Ingeniero Enrique J. Gómez Rodríguez en su libro Diseño de Moldes para Plásticos y Gomas analiza integralmente la fabricación de moldes para piezas plásticas y algunos métodos de moldeo utilizados. Además describe los principios del moldeo por inyección que están vigente en la actualidad, asimismo hace referencia a otros tipos de moldeos que brindan consideraciones técnicas orientadas fundamentalmente al parque de máquinas inyectoras que existía en esos años.

Como parte de la atención y preocupación de este proceso de manufactura, el Ministro de Industria Sidero Mecánica en el año 1978 fomentó la edición de un manual cuyo título es Guía para la Proyección de Moldes Plásticos pero que únicamente ofrecía técnicas para la obtención de determinadas formas en piezas plásticas. También los autores G. Mengues y G. Mohren [7] en su libro Moldes por inyección de plásticos hacen un análisis muy similar al realizado por Gómez Rodríguez aunque más limitado en las características técnicas de los moldes.

Gracias al desarrollo tecnológico alcanzado en el país actualmente se cuenta con máquinas CNC del primer mundo, con las que se han fabricado moldes de inyección de plástico con mayor exigencia tecnológica mediante el uso de software, lográndose el diseño y la fabricación de herramientas altamente complejas, otro aspecto que ha posibilitado crecer en este sentido es el desarrollo científico-técnico impulsado por las investigaciones dirigidas a este fin desde la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas y además la organización de fórum en las diferentes empresas favoreciéndose el intercambio de experiencias positivas. Lo anterior evidencia que las perspectivas futuras se encaminan hacia un avance progresivo, buscando cada vez más calidad en este aspecto, por todo lo que se ha logrado en este campo hasta el presente, un ejemplo de ello son los resultados en Moldes y Troqueles de la empresa INPUD donde se han sustituido importaciones con la fabricación de diferentes utensilios domésticos como ventiladores, refrigeradores, cocinas, ollas de presión, etc., mientras que en la EMI de Manicaragua Ernesto Che Guevara se han fabricado moldes para satisfacer intereses de la FAR y otros accesorios. Por supuesto con ello se han ahorrado millones de dólares al país dando un impulso notable a la economía y además se constata el momento en que se encuentra esta

tecnología en el país y como se dirige hacia un perfeccionamiento de la misma para continuar generalizando cada vez más su uso.

1.2.-Variantes del moldeo por inyección.

Una de las técnicas de procesado de plásticos que más se utiliza es el moldeo por inyección, siendo uno de los procesos más comunes para la obtención de productos plásticos. Hoy en día cada casa, cada vehículo, cada oficina, cada fábrica, etc. contiene una gran cantidad de diferentes artículos que han sido fabricados por moldeo por inyección. Entre ellos se pueden citar: teléfonos, vasijas, y formas muy complejas como la que se muestra en la figura 1.1, que corresponde a una clavija de conexión de un teléfono. [8]



Figura 1.1: Clavija de conexión de un teléfono. [8]

Fuente: Moldeo por inyección, Lección 11

<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.moldeo.por.inyeccion.pdf>

El moldeo por inyección requiere temperaturas y presiones más elevadas que cualquier otra técnica de transformación, pero proporciona piezas y objetos de bastante precisión (siempre y cuando la resina utilizada no tenga una retracción excesiva), con superficies limpias y lisas, además de proporcionar un magnífico aprovechamiento del material, con un ritmo de producción elevado. Sin embargo, a veces, las piezas deben ser refinadas o acabadas posteriormente, para eliminar rebabas.

Este proceso posee diferentes métodos, donde cada uno tiene la misma función, pero con características tecnológicas específicas. Hay que destacar que las variantes se utilizan según el tipo de pieza a obtener, analizando principalmente su geometría y su acabado superficial. Las mismas presentan ventajas y desventajas que permiten la elección de los mismos, según sea conveniente para el fabricante a la hora de analizar la fiabilidad de las

etapas del proceso. Con una adecuada selección se pueden adquirir determinados artículos demandados por el cliente con la calidad requerida.

A través de la revisión bibliográfica acerca del tema se encontraron criterios, donde se explica conceptualmente las variantes de moldeo. Algunos de los estudios realizados describen estas técnicas en forma de algoritmo, es decir como una sucesión de pasos lógicamente ordenados, para conocer con más detalles el comportamiento del material plástico durante el ciclo de moldeo.

Dr.C García Martínez [9] en su tesis doctoral menciona algunos de ellos por ejemplo: inyección convencional, moldeo por coinyección, inyección de multicomponentes, microinyección, inyección asistida por gas e inyección asistida por agua. En el anexo 1 se muestra la definición de estas técnicas, donde dicho autor también describe las ventajas y desventajas de ellas. Este autor solo analiza estas variantes desde su definición hasta las condiciones favorables y desfavorables de cada una de ellas, pero no hace una descripción detallada del proceso en forma organizada. Según Dr.C García Martínez [9] los procedimientos mencionados son los que actualmente transforman la mayor cantidad de toneladas de resinas plásticas. Asimismo plantea que debido al resultado de la innovación tecnológica surgen otras formas de moldear que permiten ampliar la gama de empleo de las resinas plásticas. A continuación se citan estas:

- Moldeo por inyección de pared delgada
- Moldeo por inyección del núcleo fundido
- Moldeo de espuma estructural
- Moldeo de espuma microcelular
- Moldeo por intervalos
- Moldeo por inserción
- Moldeo sobre capas
- Encapsulamiento bajo moldeo por inyección
- Terminado de perfiles metálicos
- Moldeo de dispositivos interconectados
- Moldeo por transferencia de resinas
- Moldeo por inyección con reacción reforzada
- Moldeo de silicona líquida

- Moldeo por inyección asistido por vibración

M. Beltrán y A. Marcilla [10] en su artículo tecnologías de polímeros destaca solo tres métodos como la inyección de múltiples materiales, la inyección de termoestables y la inyección asistida por gas, de esta última se hace referencia a que se emplea en molde con rebosadero y en molde articulado (ver anexo 2). En este trabajo científico se plantea que la inyección de varios materiales en una misma cavidad de moldeo, o inyección (sándwich), consiste en inyectar a través de un solo bebedero dos materiales distintos que proceden de dos unidades de inyección diferentes.

Sin embargo la coinyección para Rodríguez Díaz [11] es llamada a veces “moldeo sándwich”. El mismo comprende la inyección secuencial y concurrente de la superficie del material y un “centro” disímil pero de material compatible en la cavidad. Se puede apreciar que estos investigadores establecen que la coinyección y la inyección de múltiples materiales ambas son del tipo sándwich. Recientemente se ha puesto a disposición una nueva versión de proceso de moldeo de coinyección que emplea varias boquillas con sistema de canales calientes. Tal sistema pasa la unión de los materiales superficiales y del centro al molde como muestra la Figura 1.3

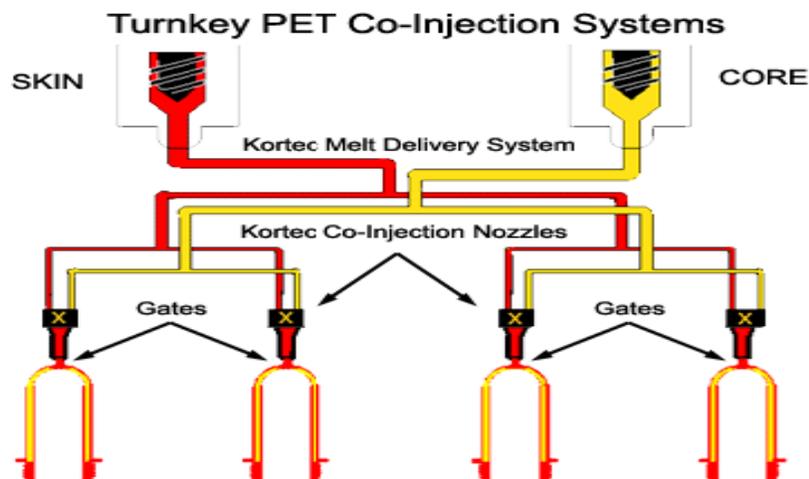


Figura 1.2: El sistema de coinyección de canales calientes con el flujo separado para los canales de los distintos materiales que unen a cada boquilla con el canal caliente. [11]

Fuente: Díaz Rodríguez, J. 2006. Nueva metodología para el diseño de moldes por inyección.

Este autor valora una nueva forma de realizar este método, donde la transformación simultánea de ambos materiales ocurre en la unión de ambos. También menciona un su tesis de maestría cada una de las ventajas y desventajas de estas técnicas y realiza la

descripción de la secuencia de paso de las mismas. Como parte del moldeo asistido por gas Rodríguez Díaz [11] aborda otras variantes que los autores anteriores no hacen alusión a estas, las mismas son:

- El proceso de tiro corto
- El proceso de tiro lleno
- El proceso de empujado de la fusión
- El proceso de tirado del centro

En el caso de la inyección asistida por agua él destaca otras formas de realizar este proceso como:

- Proceso del tiro corto
- Proceso de sobre flujo
- Proceso de fusión pushback
- Proceso de flujo

1.3.- Programas informáticos utilizados en el diseño de moldes por inyección de plástico

El uso de los programas CAD/CAM/CAE es parte fundamental para el diseño y fabricación de moldes ya que permiten a los diseñadores analizar y resolver los diferentes problemas que puedan surgir durante el proceso. El uso de este tipo de programas conlleva mejoras de rendimiento del proceso, puesto que ahorra costo de material ya que mediante la simulación se evita fabricar moldes piloto de prueba.

Actualmente existe una gran diversidad de programas informáticos dedicados en parte al diseño de moldes. A continuación se mencionan algunos de estos programas que son utilizados a nivel mundial por determinadas características que favorecen su uso. Catia (computer-aided three dimensional interactive application) es un programa informático de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora comercial realizado por Dassault Systèmes. El programa está desarrollado para proporcionar apoyo desde la concepción del diseño hasta la producción y el análisis de productos. Está disponible para Microsoft Windows, Solaris, IRIX y HP-UX.

Provee una arquitectura abierta para el desarrollo de aplicaciones o para personalizar el programa. Las interfaces de programación de aplicaciones, CAA2 (o CAAV5), se pueden programar en Visual Basic y C++.

Pro Engineer es una solución de software para diseño mecánico de alto nivel 3D, es usado principalmente por ingenieros mecánicos y diseñadores industriales, viene con aplicaciones completas para CAD/CAM/CAE y PLM. Pro Engineer hoy ha cambiado su nombre a CREO ELEMENTS PRO.

ProE usa sólidos paramétricos, se especializa en ensambles de gran cantidad de piezas, documenta y produce dibujos, tiene una suite de aplicaciones a su alrededor que cubren la gama completa de PLM para diferentes industrias como automotriz, aeroespacial, productos de consumo, etc. Es una de las aplicaciones de diseño mecánico de mayor uso en las principales empresas a nivel mundial. Fue el primero en describir la manera de diseñar de forma paramétrica, es el producto base para su línea de PLM, su más reciente versión es llamada WildFire 5.0. ProEngineer es modular y tiene soluciones pre configuradas.

SolidWorks es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una subsidiaria de Dassault Systèmes (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Es un modelador de sólidos paramétrico. Fue introducido en el mercado en 1995 para competir con otros programas CAD como Pro/ENGINEER, NX, Solid Edge, Autodesk Inventor, CATIA. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada. [12]

SolidWorks Plastics proporciona a los diseñadores de piezas de plástico y moldes de inyección simulaciones de moldeo por inyección de manera directa. No es necesario ser experto para identificar y tratar los posibles defectos mediante cambios en el diseño de la pieza o del molde, el material del plástico o los parámetros de procesamiento, ahorrando recursos, tiempo y dinero. En la figura 1.3 se observa un ejemplo del asesor de resultados de este software.[13]

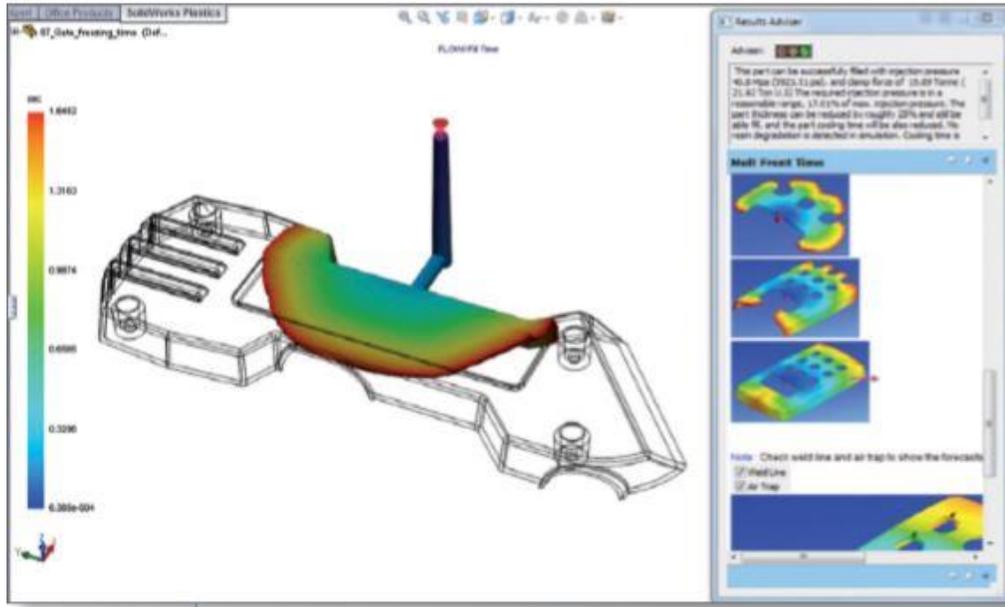


Figura 1.3: Asesor de resultados [13]

Fuente: 2014. SolidWorks Plastics, Optimización del diseño de las piezas de plástico y de los moldes de inyección <http://www.solidworks.es/systemrequirements>.

Esta potente herramienta proporciona a los usuarios un buen conocimiento del proceso de moldeo por inyección, lo que permite tomar decisiones de diseño informadas y obtener productos de mejor calidad.

Los diseñadores de piezas obtienen información rápida de cómo pueden afectar las modificaciones del espesor de pared, las ubicaciones de las entradas, los materiales o la geometría a la fabricación de la pieza, mientras que los diseñadores de moldes pueden optimizar rápidamente los diseños de moldes de varias cavidades y de familias de moldes, así como los sistemas de alimentación, incluidos los orificios, canales y entradas. En la revista Solidworks Plastics, optimización del diseño de las piezas de plástico y de los moldes de inyección Ed Honda [13], Presidente, hondaDesign, LLC expresa su entusiasmo con este software por la ayuda que ofrece a los diseñadores en las primeras etapas del proyecto.

Autodesk Inventor Professional es un paquete de modelado paramétrico de sólidos en 3D producido por la empresa de software Autodesk. Compite con otros programas de diseño asistido por computadora como SolidWorks, Pro/ENGINEER, CATIA y Solid Edge. Entró en el mercado en 1999, muchos años después que los antes mencionados y se agregó a las Series de Diseño Mecánico de Autodesk como una respuesta de la empresa a

la creciente migración de su base de clientes de diseño mecánico en dos dimensiones hacia la competencia, permitiendo que las computadoras personales ordinarias puedan construir y probar montajes de modelos extensos y complejos.

Autodesk Inventor se basa en técnicas de modelado paramétrico. Los usuarios comienzan diseñando piezas que se pueden combinar en ensamblajes. Corrigiendo piezas y ensamblajes pueden obtenerse diversas variantes. Como modelador paramétrico, no debe ser confundido con los programas tradicionales de CAD. Inventor se utiliza en diseño de ingeniería para producir y perfeccionar productos nuevos, mientras que en programas como Autocad se conducen solo las dimensiones. Un modelador paramétrico permite modelar la geometría, dimensión y material de manera que si se alteran las dimensiones, la geometría actualiza automáticamente basándose en las nuevas dimensiones. Esto permite que el diseñador almacene sus conocimientos de cálculo dentro del modelo, a diferencia del modelado no paramétrico, que está más relacionado con un “tablero de bocetos digitales”. Inventor también tiene herramientas para la creación de piezas metálicas.

Los bloques de construcción cruciales de Inventor son las piezas. Se crean definiendo las características, que a su vez se basan en bocetos (dibujos en 2D). También pueden utilizarse los planos de trabajo para producir los bocetos que se pueden compensar de los planos útiles de la partición. La ventaja de este diseño es que todos los bocetos y las características se pueden corregir más adelante, sin tener que hacer de nuevo la partición entera. [12]

Además de estos programas mencionados anteriormente existen otros tales como: MoldWork/SplitWork, MoldCreator, Moldease3D, Mold-Maker, MoldDesing y MoldBaseAdvisor. Si bien es cierto que estos programas constituyen sistemas avanzados por el ahorro del tiempo en las fases de diseño pues permite seleccionar de manera automática las dimensiones del paquete de placas y accesorios que conforman el molde, no tienen incluidos los cálculos térmicos del sistema de enfriamiento, el ciclo de moldeo, ni el número de cavidades. [9]

Bastantes sistemas CAD comerciales incorporan utilidades orientadas específicamente al diseño de la pieza moldeada (ángulos de desmoldeo, espesores de pared) y del molde (planos de partición sencillos, análisis de interferencias en el movimiento de apertura).

Es el caso de aplicaciones sobre entornos de Pro-Engineer, Cadds, Solid Works o Eucüid. Por otro lado, programas como Moldflow y C-Mold permiten el análisis del flujo del material plástico en el proceso de llenado del molde y la estimación de sus parámetros característicos. Por último, son numerosos los programas comerciales que incorporan librerías de utillajes de moldes (Cadds, Pro-Engineer, Caddy, Euclid, Rabourdin, Hasco, DME).

Dr.C Rubio Paramio [14] en su tesis doctoral plantea que estas herramientas proporcionan una ayuda puntual en determinadas fases del diseño del molde, pero adolecen de una falta de metodología global, que permita la consecución del molde completo a través de un sistema claro de reglas de conocimiento, de tomas de decisión y cálculo de sus elementos.

Ing. Santo Freddy plantea que el Autodesk Inventor Professional 2014 es un programa CAD muy completo, presenta un sistema de modelado donde se pueden obtener piezas sólidas a partir de bocetos en 2D y después combinarlas en ensamblajes. Permite la creación de moldes con una infinidad de variantes, tiene en cuenta cada detalle y brinda al diseñador la posibilidad de simular el tiempo de llenado de las cavidades, donde queda aire atrapado, la calidad final del producto, y otros aspectos de gran utilidad a la hora de diseñar un molde de inyección de plástico.

Ing. Morales Yodsamy destaca que el SolidWorks es un software de diseño compatible con otros softwares de diseño como el CAMWorks y HASCO. La utilización del HASCO en conjunto con el SolidWorks es vía factible para de diseñar cualquier tipo de molde, pues el HASCO trae consigo un paquete de herramientas donde se encuentran diferentes cajas de moldes que facilitan el trabajo.

1.4.- Materiales más usados en la inyección de moldes plásticos. Características tecnológicas

Los plásticos, desde su descubrimiento, se han convertido en uno de los principales materiales para la fabricación de multitud de artículos, no sólo por su versatilidad sino por la facilidad de incorporar diferentes elementos para obtener propiedades específicas. Esta característica es clave para haberle permitido entrar en un gran número de mercados y aplicaciones, sin disminuir el dinamismo que siempre ha poseído este sector.

Debido a lo citado anteriormente, las tendencias de mercado indican que el plástico continuará siendo considerado como uno de los materiales de mayor uso a nivel mundial, factor que ha incrementado las investigaciones alrededor de este material con el objeto de satisfacer mayores necesidades de uso, resistencia y facilidad en la transformación, promoviendo la innovación en las tradicionales técnicas de fabricación de los plásticos y en la creación de nuevos materiales.

Los diferentes tipos de polietilenos en el mundo representan el 32%, el Polipropileno (PP), el 20%, seguido por el PE, con el 8%; el policloruro de vinilo (PVC), con el 13%, el Poliestireno (PS), con el 7%, los copolímeros de estireno (ABS, SAN, ASA), Termofijos, con 10% y los plásticos de ingeniería y de especialidad, con el 6%. [15]

Según Castro Puig Leonardo [15] en su artículo “Los plásticos a nivel mundial” las poliolefinas ocupan en suma más de la mitad del consumo total en el año 2011.

Maya Ortega Enrique [16] en su tesis de maestría aborda la clasificación de los plásticos por las propiedades físicas y químicas de las resinas que los constituyen, existen dos grupos principales: los termoplásticos y los termofijos. Su clasificación se basa por su capacidad para volver a ser fundidos mediante el uso de calor. Los termoplásticos son resinas con una estructura molecular lineal que durante el moldeo en caliente no sufren ninguna modificación química, además la acción del calor causa que estas resinas se fundan, solidificándose rápidamente por enfriamiento de aire o al contacto con las paredes del molde.

Las resinas termofijas pueden ser fundidas una sola vez. (Esta es la principal diferencia de los plásticos termofijos y termoplásticos), estas resinas bajo la acción del calor se funden inicialmente, pero si se continúa aplicando calor, experimentan un cambio químico irreversible, el cual provoca que las resinas se tornen infusibles (no se plastifiquen) e insolubles. La tabla 1.1 muestra las principales resinas utilizadas en la industria de la inyección del plástico.

Tabla 1.1 Materiales más utilizados por el método de inyección.[16]

Resinas Termofijas	Símbolo ISO 1043	Denominación	Resinas Termoplásticas	Símbolo ISO 1043	Denominación
Fenólicas.	PF	Resina fenol-Folmadehído	Acrílicas	PMMA	Polimetil-metacrilato
Melaminicas.	MF MPF	Resinamelamina-Formaldehído. Resinamelamina-Formaldehído	Celulositas	CA CAB CP	Acetato de celulosa Acetabutirato de celulosa Polipropinato de celulosa
Ureicas.	UF	Resina urea-Formaldehído	Estirenicas	PS SB ABS SAN	Poliestireno Poliestireno (alto impacto) Acrilonitrilo-butadieno-Estireno Acrilonitrilo-estireno
Arflicas	--	Resina alquídica	Vinílicas.	PVC PVAC	Cloruro de polivinilo Poliacetato de vinilo
Epóxicas.	EP	Resina epoxica.	Poliacetálicas	POM	Poliacetal (polisimetileno).
Alquídicas	PDAP	Resina alfílica (policialilftalato).	Polioléfinicas	PE PP	Polietileno. Polipropileno.
Poliésteres Insaturados	UP	Resina poliéster (Insaturada).	Poliámidas	PA66 PA6 PA610 PA11 PA12	Poliámida 66 Poliámida 6 Poliámida 610 Poliámida 11 Poliámida 12
Poliuretanos (con estructura reticulada)	PUR	Resina silicónica (rígida o flexible)	Policarbonatos	PC	Policarbonato
Silicónicas (con estructura reticulada)	SI	Resina silicónica (rígida o flexible)	Poliésteres Termoplásticos	PBTP PETP	Polibutilén-tereftalato. Polibutilén-tereftalato
			Polifenilénicas	PPO	Polióxido de fenileno.
			Poliuretanos (con estructura lineal)	PUR	Poliuretano termoplástico
			Resinas Fluorocarbónicas	FEP ETFC PCTFE	Fluoro etileno-propileno. Tetrafluoroetilenoetileno. Trifluoroetileno-policloro.

Este autor solo menciona los diferentes tipos de materiales plásticos utilizados en proceso de moldeo por inyección sin analizar ninguna de las características tecnológicas correspondientes.

Mr. Rodríguez Díaz Jesús [11] describe cada uno de los materiales plásticos más usados en la industria cubana dando a conocer sus características más generales con su campo de empleo. A continuación se brinda un listado de algunos de los materiales analizados por Mr. Rodríguez Díaz Jesús.

Polietileno de alta densidad. PEAD

- **Nombre comercial:** Hostalen, Vestolen A
- **Color y aspecto del material corriente en el mercado:** se presenta como masas granuladas en granza, incoloro opaco y en todas las tonalidades transparentes y opacas, tacto semejante a la cera.
- **Propiedades generales del producto acabado:** alta rigidez, estabilidad a la temperatura así como de forma, buena dureza superficial, destacadas propiedades dieléctricas, insípido e inodoro, resistente a la ebullición y esterelizable.
- **Ejemplos de aplicación:** utensilios domésticos (fuentes, cubos, tinas), juguetes, recipientes de transporte, botellas, piezas para alta frecuencia, aparatos médicos, artículos técnicos, cajas.
- **Temperatura de uso permanente no perjudicial:** máximo 105 °C.
- **Estabilidad frente a productos químicos:** estable frente a ácidos, álcalis y alcoholes. Condicionalmente estable frente a ésteres, cetonas, éteres, aceites y grasas. Inestable frente a hidrocarburos clorados, benzol, bencina, carburante.
- **Densidad (g/cm³):** 0.94 a 0.96
- **Contracción (%):** 2 a 4

Polietileno de baja densidad (PEBD)

- **Nombre comercial:** Lupolen H, Trolen EDO.
- **Color y aspecto del material corriente en el mercado:** se presenta como masas granuladas en granza, incoloro opaco (lechoso) y en todos los tonos de color transparente y opaco. Tacto semejante a la cera.

- **Propiedades generales del producto acabado:** alta flexibilidad, buena resistencia térmica, baja dureza superficial, buenas propiedades dieléctricas, insípido e inodoro.
- **Ejemplos de aplicación:** utensilios domésticos (fuentes, cubos, tinas), juguetes, flores, recipientes de embalaje, frascos flexibles, piezas para alta frecuencia, aparatos médicos.
- **Temperatura de uso permanente no perjudicial:** máximo 85 – 95 °C
- **Estabilidad frente a productos químicos:** estable frente a ácidos y álcalis, alcohol. Condicionalmente estable frente a ésteres, cetonas, éteres, aceite y grasas. Inestable frente a hidrocarburos clorados, benzol, bencina, carburante.
- **Densidad (g/cm³):** 0.90 a 0.92
- **Contracción (%):** 1.5 a 3

Poliestireno (Normal)

- **Nombre comercial:** Poystyrol III, VI, EF, LO, Vestyron.
- **Color y aspecto del material corriente en el mercado:** se presenta como masas granuladas uniformes (formas cilíndricas, prismáticas y esféricas) transparente y coloreado hasta opaco.
- **Propiedades generales del producto acabado:** Gran rigidez y exactitud de las medidas, valores dieléctricos favorables, resistente a la humedad y estables al agua, Insípido e inodoro, tiende a formar grietas.
- **Ejemplos de aplicación:** elementos constructivos y piezas aislantes con poca pérdida para la técnica eléctrica y de telecomunicaciones, objetos domésticos y juguetes, artículos de escritorio así como publicitarios de bisutería, botes y pequeños recipientes.
- **Temperatura de uso permanente no perjudicial:** máximo: 60 – 75 °C.
- **Estabilidad frente a productos químicos:** Estable frente a ácidos y álcalis, alcohol, aceite mineral. Condicionalmente estable frente a aceite, grasa animal. Inestables frente a ésteres, cetonas, éteres, hidrocarburos clorados, benzol, bencina y carburante.
- **Densidad (g/cm³) :** 1.05 a 1.06
- **Contracción (%):** 0.4 a 0.6

Poliamida (PA)

- **Nombre comercial:** UltramidA, B, BM, S, Durethan BK, Trogamid T, Vestamid, Nylon, Kaprón, Perlon N, Rilsan, Coprolan
- **Color y aspecto del material corriente en el mercado:** masa granulada en colores naturales (blanco amarillento) opaca y coloreada. Aspecto corneo.
- **Propiedades generales del producto acabado:** elevado alargamiento y tenacidad, bajos coeficientes de frotamiento, reducido desgaste (resistencia al desgaste), buena estabilidad de forma al calor, alta capacidad de absorción de agua, buena capacidad de vaporización, se torna quebradizo al secarse.
- **Ejemplos de aplicación:** piezas técnicas de todo tipo (cajas , hélices para navegación, para ventiladores, piezas de valvulería, recipientes de transporte, empuñaduras de puertas, engranajes, cojinetes, caja para rodamiento, elementos de embrague, cascos protectores, aparatos médicos.
- **Temperatura de uso permanente no perjudicial:** máximo 90 – 110 °C.
- **Estabilidad frente a productos químicos:** estable frente a álcalis débiles, alcohol, ésteres, éteres, hidrocarburos clorados, benzol, bencina, carburantes, aceites y grasas. Inestables frente a ácidos, álcalis concentrados, cetonas.
- **Densidad (g/cm³):** 1.12 a 1.15
- **Contracción (%):** 0.8 a 2.5

Polipropileno (PP)

- **Nombre comercial:** Hostalen, PPH, Lurapen, Vestolen P.
- **Color y aspecto del material corriente en el mercado:** masa granulada, incolora, opaca y teñida transparente y oscura.
- **Propiedades generales del producto acabado:** elevada estabilidad de forma al calor, resistencia a la tracción y al choque, rigidez, buena dureza superficial sin tendencia a la corrosión por tensiones, esterelizable hasta 120⁰C, prácticamente sin absorción de H₂O se hace quebradizo a temperaturas inferiores a 0⁰C.
- **Ejemplo de aplicación:** recipiente y objetos de uso (cubos, fuentes, bidones, frascos), artículos para mecánica fina y aparatos eléctricos, cascos protectores, tacones para zapatos de señora.
- **Temperatura de uso permanente no perjudicial:** máximo: 120 - 130 °C.

- **Estabilidad frente a productos químicos:** estable frente a ácidos débiles, álcalis débiles, condicionalmente estable frente a alcoholes, ésteres, cetona, éter, aceite, grasa. Inestable frente a ácidos concentrados, álcalis concentrados, hidrocarburos clorados, bencina y carburantes.
- **Densidad (g/cm^3):** 0.90 a 0.91
- **Contracción (%):** 1.2 a 3

Policarbonato (PC).

- **Nombre comercial:** Makrolon, Lexan
- **Color y aspecto del material corriente en el mercado:** grana de grano uniforme, colores naturales (transparente incoloro, ligeramente amarillo) y coloreado.
- **Propiedades generales del producto acabado:** alta resistencia mecánica dentro de un amplio campo de temperatura, alta estabilidad de dimensiones y al calor, buena propiedades dieléctricas, estabilidad al envejecimiento, reducida absorción de agua.
- **Ejemplo de aplicación:** piezas de aislamiento y cobertura con gran tenacidad y gran estabilidad de forma al calor para la técnica de iluminación, industria eléctrica y del automóvil, aparatos esterilizables para uso médico, cascos de seguridad, objetos con elevada exigencia para uso doméstico y diarios (vajillas), lentes ópticos, cajas, núcleo de bobina, recubrimiento de cajas de conmutación.
- **Temperatura de uso permanente no perjudicial:** máximo $110^{\circ} - 138^{\circ}\text{C}$.
- **Estabilidad frente a productos químicos:** estable frente a productos como ácidos débiles, alcohol, bencina, aceite y grasas. Condicionalmente estable frente a ácidos concentrados, álcalis débiles. Inestable frente a álcalis concentrados, cetonas, ésteres, hidrocarburos clorados, bencina, larga permanencia en agua hirviente.
- **Densidad (g/cm^3):** 1.20 a 1.25
- **Contracción (%):** 0.4 a 0.8

Cloruro de polivinilo (PVC- RIGIDO) PVCh.

- **Nombre comercial:** Trosiplast, Vestolist, Vinoflex, Hostalit

- **Color y aspecto del material corriente en el mercado:** polvo fino o granza coloreada desde transparentes claro hasta opaco.
- **Propiedades generales del producto acabado:** buena resistencia, dureza y tenacidad, buenas propiedades dieléctricas, difícilmente combustible.
- **Ejemplo de aplicación:** accesorios y válvulas, piezas de bombas, discos, juntas, piezas para aislamientos eléctricos, cubetas, elementos para aparatos domésticos y máquinas de oficina.
- **Temperatura de uso permanente no perjudicial:** máximo 600C – 700C.
- **Estabilidad frente a productos químicos:** estable frente a ácidos y álcalis, alcohol, bencina, aceites y grasas. Inestable frente a éster, cetonas, éter, hidrocarburos clorados, benzol y carburantes.
- **Densidad (g/cm³):** 1.39 a 1.58
- **Contracción (%):** 0.4 a 0.5

1.5.- Conclusiones parciales

1. A través de una búsqueda bibliográfica se pudo indagar en algunos temas referidos al diseño de moldes plásticos. Uno de los aspectos consultados son las diferentes tipos de variantes de moldeo, ellas son: inyección convencional, inyección de múltiples componentes, inyección asistida por gas, moldeo por inyección asistida por agua, moldeo por coinyección, moldeo por microinyección.
2. Una amplia gama de programas informáticos son utilizados hoy en día en el diseño de moldes por inyección de plástico. Se pueden destacar el SolidWorks y Autodesk Inventor en el grupo de los más empleados en este tema por sus respectivas características técnicas. Cada uno de ellos presentan una serie de herramientas que facilitan el trabajo con moldes, por ejemplo el Autodesk Inventor lleva consigo la posibilidad de observar el comportamiento del llenado de cada una de las cavidades.
3. En nuestro país los materiales plásticos más usados en la industria son: PEAD, PEBD, PP, PS, PA y el PVC con sus diferentes variantes. La utilización de cada material va a depender del campo de aplicación que presentan y de sus características tecnológicas.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE MOLDES DE INYECCIÓN

CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE MOLDES DE INYECCIÓN

2.1.- Aspectos técnicos tenidos en cuenta en el diseño de moldes

Para realizar cualquier diseño de moldes se deben tener en cuenta algunos aspectos fundamentales que influyen en gran medida. Con un adecuado análisis de la muestra prototipo, se procede después al diseño de la misma, donde se incluye el dimensionamiento del artículo entre otros elementos. Después de obtener el diseño de la pieza se elabora el diseño del molde de inyección, donde se hacen cálculos de los diferentes parámetros geométricos.

En la figura 2.1 se brinda un método sintetizado que permite planificar por paso y de manera sintetizada el diseño de moldes de inyección para piezas de material termoplástico.

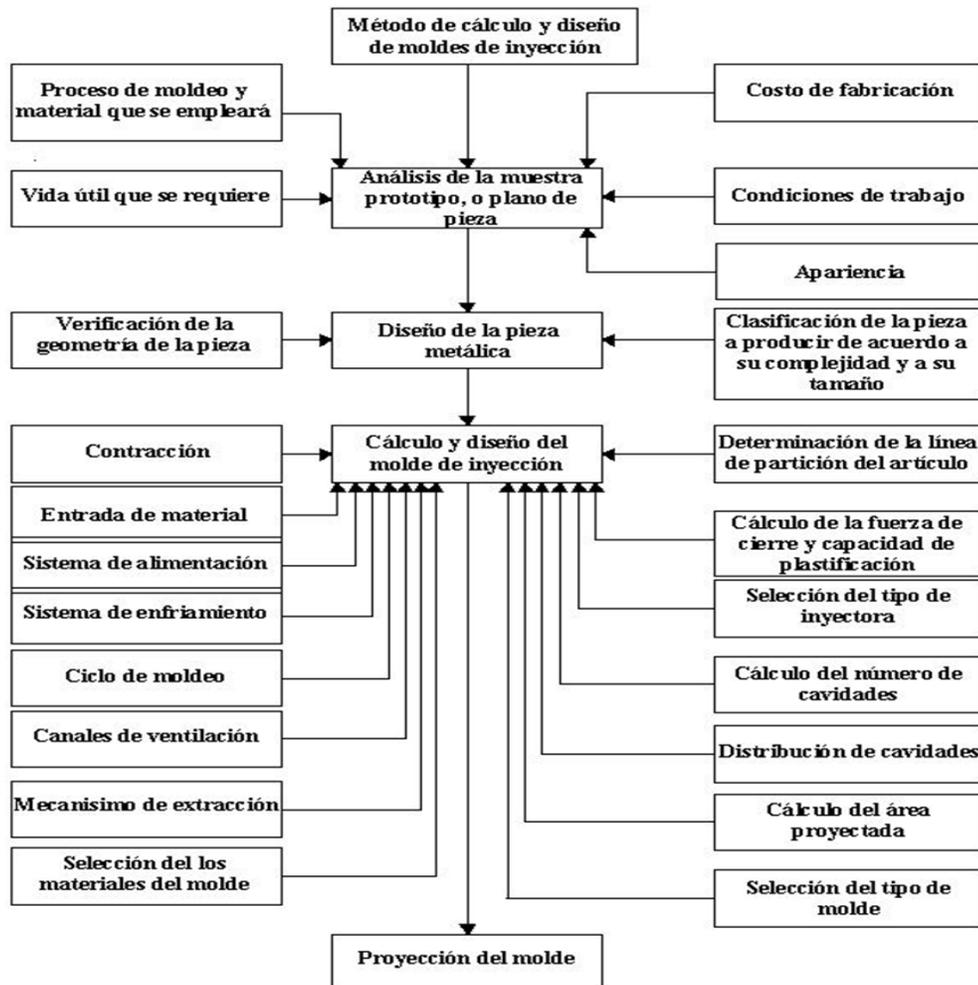


Figura 2.1: Aspectos técnicos en el diseño de moldes
Fuente: Elaboración propia

2.2.- Análisis de la muestra prototipo o plano de la pieza

Antes de diseñar un determinado molde de inyección se debe realizar un estudio sobre la pieza en cuestión, considerando los aspectos técnicos que se abordarán posteriormente. Es necesario elaborar el plano de la pieza con todas las especificaciones como son: las tolerancias, los ajustes que llevan determinados artículos plásticos, así como el material plástico seleccionado junto con su respectiva contracción ya que esta propiedad va a influir significativamente en el diseño y fabricación del molde.

Proceso de moldeo y material que se empleará

El proceso de moldeo de inyección se puede realizar por dos vías distintas: en colada caliente y en colada fría [17]. La colada caliente, apoya su tecnología en mantener el material fundido en las diferentes boquillas o inyectores, expulsando los productos del molde dispuestos para el ensamble, decorado o uso final, eliminando la colada de alimentación, entre otras ventajas, como las que se anuncian a continuación: [1]

- Ahorro de material
- Menor tiempo de enfriamiento
- No hay que separar piezas de la colada
- Tiempo de apertura del molde más corto
- Reducción del ciclo de moldeo
- Reducción de las tensiones del producto
- No hay coladas atrapadas como en moldes de tres placas
- Mejor distribución de cavidades en moldes con acciones laterales

La colada caliente es un sistema de alimentación para la producción de piezas plásticas sin sobrantes que utiliza resistencias eléctricas para mantener una temperatura interna adecuada que permita el libre flujo del material plástico a inyectar. Este sistema es ideal para el manejo de altas producciones con un valor económico mayor con respecto al de colada fría mencionado anteriormente, aplicándose en moldes de más de una cavidad. La colada fría es el remanente de polímero solidificado que queda en los canales, y que es necesario cortar de la pieza final.

Normalmente para la elección del material con el que se va a fabricar la pieza se suele escoger el mejor después de analizar varios tipos de materiales según las características y requisitos que se necesita. En el mercado existen muchos tipos de plásticos con

características diferentes y que se pueden clasificar según sus prestaciones y estructura interna.

Actualmente, existen más de 20 familias de plásticos disponibles para comercializarse, los cuales pueden clasificarse de diversas maneras. Una clasificación utilizada ampliamente es la que se basa en el comportamiento termomecánico de estos materiales, en la cual los plásticos se agrupan en termofijos y termoplásticos.

Los termoplásticos son resinas con una estructura molecular lineal (obtenida por procesos de polimerización o de policondensación) que durante el moldeo en caliente no sufren ninguna modificación química, por tanto son ampliamente utilizados en el proceso de moldeo por inyección en cámara caliente. En el caso de las resinas termofijas (también obtenidas por la polimerización o de policondensación) pueden ser fundidas una sola vez. Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos, mientras que en el caso de los termoestables, después de enfriarse la forma no cambia y arden.

Sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces, generalmente disminuyen estas propiedades. Los materiales termoplásticos más usados son: el polietileno de alta y baja densidad (PEAD y PEBD), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), polimetilmetacrilato (PMMA), el policloruro de vinilo (PVC), el teflón (o politetrafluoretileno (PTFE)) y el nylon (un tipo de poliamida).

Vida útil que se requiere para la pieza

La vida útil es la duración estimada que un objeto puede tener, cumpliendo correctamente con la función para el cual ha sido creado. Normalmente se calcula en horas de duración. Es necesario que la pieza tenga una larga duración de su vida, esto se consigue con la calidad de la pieza a fabricar. Para analizar la vida útil se recomienda tener en cuenta varios aspectos como por ejemplo, la elección adecuada del material, esto equivale a un correcto diseño del artículo, además se debe tener presente la realización del proceso de fabricación del objeto.

Costo de fabricación

Para analizar el costo de fabricación se tiene en cuenta el diseño del molde, materiales, mecanizado, montaje tanto del molde como en la máquina, la mano de obra calificada y el tipo de máquina a utilizar. Todo ello valdrá para hacerse la idea del costo de

fabricación del molde. Además el precio de una pieza de plástico obtenida por el proceso de inyección, depende en primer lugar, del número de piezas fabricadas y de la producción por hora. Así, el precio resulta directamente proporcional al número de cavidades y al costo del molde para una máquina determinada. [16]

La figura 2.2 relaciona el costo de fabricación de un molde con un número determinado de cavidades, contra el costo de producción de las piezas obtenidas, (los valores fueron determinados empíricamente).

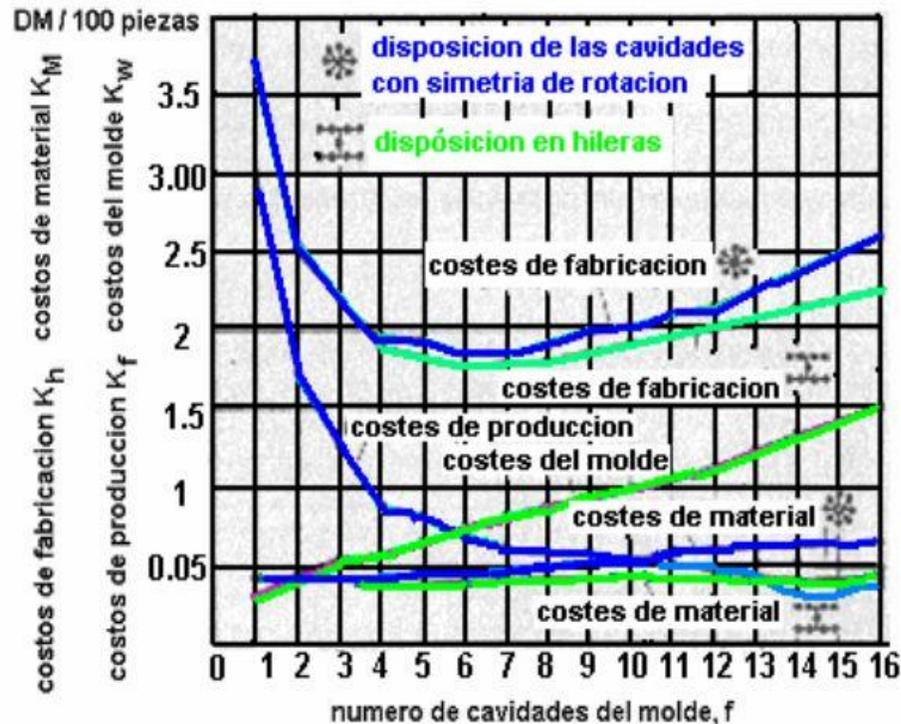


Figura 2.2: Curvas de costo para cavidades [16]

Fuente: Ortega Maya, E. 2007. Diseño de moldes de plástico con Ingeniería concurrente.

La variación en la economía de producción de piezas de plástico es determinada de la siguiente manera:

Cuando el molde tiene pocas cavidades de inyección, los costos de fabricación del molde son bajos, pero como consecuencia se tienen unos costos de producción altos (izquierda de la figura), sucede lo contrario, con un molde de cavidades numeroso (derecha de la figura).

La decisión sobre el número de cavidades adecuadas (económicamente) se sustenta directamente en los volúmenes de producción y la toma de decisiones de fabricar un molde con un determinado número de piezas. [16]

Apariencia

Es necesario tener en cuenta la apariencia de la pieza durante el diseño, debido a que las piezas de plástico deben presentar un buen acabado superficial. Con este proceso se logra que la pieza fabricada se obtenga con una excelente calidad superficial sin tener que realizar posteriormente la operación de maquinado, esto se debe a que el molde presenta la calidad requerida que demanda la pieza.

Condiciones de trabajo

Cuando se va a elaborar una pieza se debe analizar cuáles son las exigencias que van a ser determinantes durante el proceso de explotación de la misma. La pieza puede estar sometida a condiciones de humedad, a altas o bajas temperaturas, a ambientes corrosivos, u otra condición que pueda influir en su desempeño.

2.3.- Diseño de la pieza plástica.

Dimensionado del artículo

Verificación de la geometría de la pieza

La verificación de la geometría de la pieza tiene como objetivo evaluar la posibilidad de desmoldeo de la pieza, en base a sus características geométricas, el área de proyección, y la complejidad de fabricación del molde.[16]

Existen diferentes recomendaciones para verificar si la geometría de una pieza diseñada es correcta, las cuales son:

- Uso de radios y redondeos, para evitar concentración de esfuerzos.
- Espesor de la pieza uniforme, para evitar concentración de esfuerzos y contracciones indeseadas.
- Mantener las distancias adecuadas si cuenta con orificios.

Algunos valores de estas características se representan en la tabla 2.1 y se detallan en la figura 2.3.

Tabla 2.1 Espesores de pared recomendados para materiales termoplásticos [16]

Material Termoplástico	Espesor Mínimo (mm)	Espesor Máximo (mm)
Acetal	0.381	3.175
ABS	0.762	3.175
Acrílico	0.635	6.35
MeCelulosa	6.35	4.7498
FEP fluoroplástico	0.254	12.7
Ionomero	0.635	19.05
Nylon	0.381	3.175
Polycarbonato	1.016	9.525
Polietileno (L.D)	0.508	6.35
Polietileno (H.D)	0.889	6.35
Etileno Vinil Acetato	0.508	3.175
Polipropileno	0.635	7.62
Polisulfurona	1.016	9.525
Polipropileno Modificado	0.762	9.525
Poliestireno	0.762	6.35
SAN	0.762	6.35
PVC rígido	1.016	9.525
Poliuretano	0.635	38.1

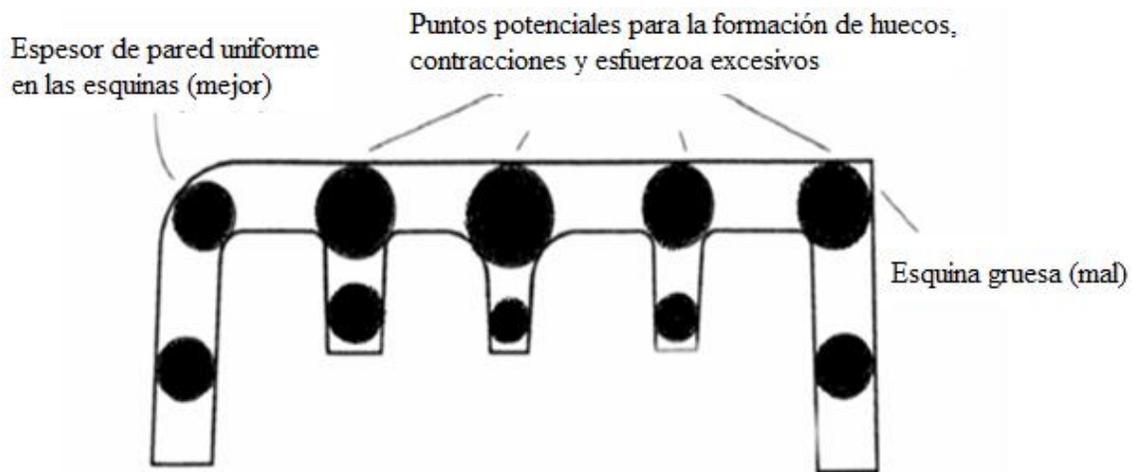


Figura 2.3: Contracción de esfuerzos [16]

Fuente: Ortega Maya, E. 2007. Diseño de moldes de plástico con Ingeniería concurrente.

El espesor de pared está directamente relacionado con la deflexión que la pieza experimentará durante la aplicación de una carga externa. Un incremento relativamente bajo en el espesor de la deflexión sustancialmente, debido a que la rigidez es proporcional al cubo del espesor. Por ejemplo al aumentar el espesor en un 25 % generará casi el doble de rigidez.

Incrementar el espesor de pared para mejorar la rigidez parece una solución simple, pero sin embargo no siempre es práctica. Debido a la gran diferencia entre la resistencia a la flexión del acero contra el de los termoplásticos, las piezas plásticas deberán ser tres o cuatro veces más delgadas que una pieza de acero con equivalente resistencia mecánica.

Clasificación de la pieza a producir de acuerdo a su complejidad y a su tamaño

De acuerdo a su complejidad los artículos plásticos se pueden clasificar en simples o complejos. [9]

De acuerdo a su tamaño se clasifican en

- Pequeños
- Medianos
- Grandes

Artículos pequeños

Espesor de pared < 1.2 mm

Peso del artículo < 50 gr.

Artículos medianos

Espesor de pared 1.2....5 mm

Peso del artículo 50...300 gr.

Artículos grandes

Espesor de pared > 5 mm

Peso del artículo > 300 gr.

Complejos: Son los que tienen roscas exteriores o interiores, insertos metálicos, orificios o resaltes transversales al eje longitudinal del artículo.

Simples: Los que carecen de los requisitos de los complejos.

2.4.- Cálculo y diseño del molde de inyección.

Contracción

Un aspecto de gran interés para el fabricante de moldes es el de la contracción. Esta es la diferencia de tamaño entre el molde y la pieza moldeada fría. La causa principal es el cambio en la densidad que se produce cuando solidifica el polímero, donde la misma no suele ser uniforme. Los polímeros cristalinos, por ejemplo, el acetal, el nylon, el polietileno de alta densidad, el polietilentereftalato y el polipropileno causan los problemas más serios con contracciones desde el 1 hasta el 4%. Los polímeros amorfos,

por ejemplo, el Poliestireno, el acrílico y el policarbonato son más tratables, con contracciones de sólo 0,3 al 0,7% como se muestra en la tabla 2.2

Tabla 2.2 Algunos valores aproximados de la contracción

Polímero	Porcentaje de contracción
Acrilonitrilo butadieno estireno	0.3-0.8
Acrílico	0.2-0.8
Acetato de celulosa	0.5
Nylon 6,6	1.5
Policarbonato	0.6
Noryl	0.7
Polietileno de baja densidad	2
Polietileno de alta densidad	4
Polipropileno	1.5
Poliestireno	0.5
Cloruro de polivinilo no plastificado	0.3
Cloruro de polivinilo	1.0-5.0

El moldeador debe tener presente que una cierta contracción en la pieza es inevitable, pero puede prevenir, al menos en parte, la contracción excesiva, controlando las condiciones de operación.

Determinación de la línea de partición del artículo.

La partición es el proceso de creación del núcleo y la cavidad basada en un modelo de plástico. El proceso de partición se define a través de los siguientes pasos:

- Establecer dirección de expulsión
- Definir pieza de trabajo para ajustar el producto
- Crear geometría de parche
- Crear líneas de partición
- Crear superficies de partición
- Crear insertos cavidad y núcleo

El moldeado y el canal se liberan en un plano por la línea de partición durante la apertura del molde. De este modo, las piezas de plástico solidificado se expulsan y el molde queda listo para el ciclo siguiente. Dicho plano es perpendicular a la dirección en que actúa la fuerza de cierre de la máquina.

Un molde normal tiene una línea de partición. El moldeado y el canal se desmoldean conjuntamente. Si el canal debe separarse automáticamente del moldeado, como es el

caso con frecuencia en moldes multicavidad o con bebederos múltiples, se precisa una línea de partición adicional para el sistema de canales (molde de tres placas) o se usa un molde con canales calientes (canales fríos para resinas reactivas). [1]

En la concepción del diseño hay que extremarse a que la cantidad de desacoplamientos y de machos en el molde sean mínimos, para esto la pieza no debe tener rebajes interiores, ni exteriores que obstaculicen la extracción libre del molde. La posibilidad de la creación de un plano de desacoplamiento se determina por la regla de las sombras lumínicas, por la cual las partes sombreadas en el reflejo de la luz de la pieza en dirección perpendicular al plano de desacoplamiento no deben existir (ver figura. 2.4). [17]

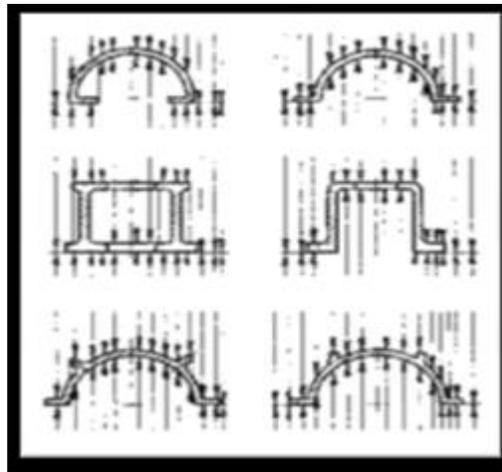


Figura 2.4: Ejemplos de la aplicación de la regla de las sombras lumínicas. [17]

Fuente: Orrantia Martín, D. 2013. Diseño de moldes de inyección de aluminio.

Determinación de la fuerza de cierre

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. Es un parámetro de definición de la máquina inyectora, y corresponde a la fuerza que debe ejercer para mantener el molde cerrado durante la inyección [10]. Esta magnitud se expresa en toneladas [Ton]. Cuanto mayor es la fuerza disponible para mantener cerrado el molde, mayor es el área transversal de la pieza que puede moldearse, a igualdad de las demás condiciones. Las máquinas de inyección convencionales empleadas hoy en día son capaces de desarrollar fuerzas de cierre de más de 1000 toneladas.[18]

Determinación de la capacidad de plastificación

La capacidad de plastificación es otro dato muy importante para evaluar las posibilidades de una máquina de inyección, sin embargo no es fácil expresar numéricamente este concepto. Se puede definir, aunque ambiguamente, como la cantidad máxima de material que la máquina es capaz de plastificar por unidad de tiempo [10]. Es un parámetro que mide la cantidad de plástico que la máquina puede acondicionar por unidad de tiempo para ser inyectado. Normalmente este parámetro se expresa en g/s. La capacidad de plastificación depende de la eficacia de calefacción de la cámara de plastificación y de las propiedades térmicas del polímero que se calienta. Debemos calcular este parámetro para poder seleccionar una máquina que pueda cumplir con este requerimiento.

La capacidad de plastificación viene expresada por la siguiente expresión:

$$C_p = \frac{P_m}{T_f} \quad (2.1)$$

Dónde:

C_p : Capacidad de plastificación expresada en g/s.

P_m : Es el peso de material que necesitamos en cada inyectada expresado en gramos.

T_f : Es el tiempo de enfriamiento expresado en segundos.

El peso de material inyectado se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_m = V_{m\acute{a}x} \cdot \rho_m \quad (2.2)$$

Dónde:

P_m : Peso del material expresado en gramos.

$V_{m\acute{a}x}$: Volumen máximo de inyección de todas las cavidades expresado en cm^3 .

ρ_m : Densidad de la P_m expresada en g/cm^3 .

Selección del tipo de inyectora

La máquina de inyección es juntamente con el molde, el elemento estrella para la fabricación de piezas de plástico.

No cualquier máquina de inyección puede ser válida para la fabricación de cualquier pieza de plástico, sino que existe una íntima relación entre la pieza a fabricar, el molde diseñado y la máquina de inyección.

La máquina en cuestión debe disponer de la presión de cierre suficiente para mantener cerrado el molde durante la inyección así como, la capacidad de plastificación suficiente para el llenado completo de las cavidades del molde.

La elección correcta de la máquina de inyección pasa por el cumplimiento de dos criterios igual de importantes, uno tiene en cuenta parámetros dimensionales, y otro la capacidad de transformación.

El criterio dimensional debe verificar los siguientes parámetros:

- Luz entre columnas.
- Carrera de apertura de molde.
- Tamaño de las placas para la fijación del molde.

Esto quiere decir que la máquina escogida deberá disponer del espacio suficiente para que el molde pueda ser alojado.

En cuanto al criterio de capacidad de transformación, se debe verificar:

- Fuerza de cierre.
- Volumen máximo de inyección.
- Capacidad de plastificación.
- Presión máxima de inyección.[10]

Entrada del material

La entrada en un sistema de canales de distribución se encarga de unir el canal con la cavidad. En el extremo o terminal del canal se maquinan las entradas para dar acceso al material.

Las entradas se deben diseñar de manera que al separar el artículo moldeado la huella de la unión sea lo más discreta posible. Las entradas deben solidificarse una vez que se ha llenado la cavidad, si esto no ocurriera terminado el tiempo de inyección del material, la presión interna en el molde puede dar lugar a un retroceso en la masa fundida que se encuentra en el interior.[9]

Las entradas a la cavidad del molde se dividen en dos grupos [9]:

- Una cavidad: son directas y se emplean tanto para bebedero caliente o frío.
- Las entradas para más de una cavidad se dividen en: submarinas, laterales, puntiformes y de abanico.

Laterales: Son aquellas que la huella está en la línea de partición, alimentan desde

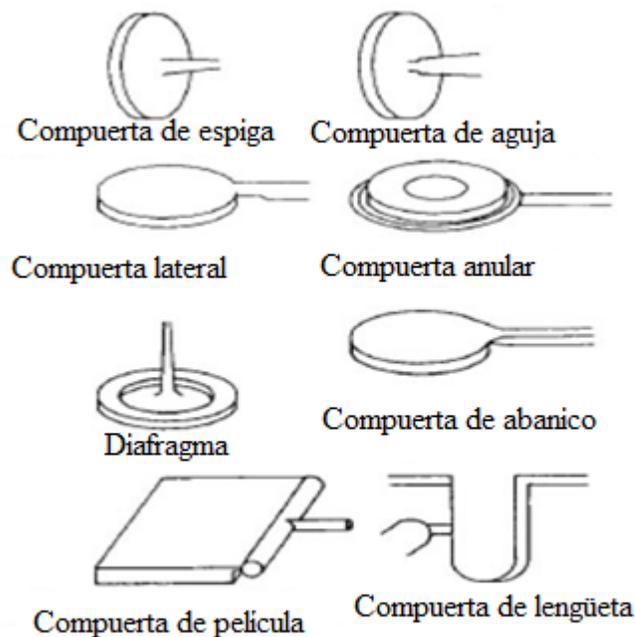
un lado del molde.

Puntiforme: Las que están situadas en el centro de la superficie superior de la pieza.

Abanico, laminares: Dejan una huella rectangular más larga que ancha. La entrada laminar sirve para moldear homogéneamente áreas planas y delgadas, mientras la entrada de abanico se utiliza para cubrir áreas grandes o largas.

Submarinas: Dejan una huella discreta y ovalada entre 6 y 10 mm por encima de la línea de partición.

Existen varios tipos de diseño de compuertas o entradas con fines diferentes. En la figura 2.5 se ilustran algunos de uso común.



2.5: Diferentes tipos de diseño de compuertas.

Fuente: <http://www.wikipedia.com>

Se consideran los siguientes puntos para determinar la posición de entrada en la cavidad del molde.

- Se debe tener previsto que tipo de esfuerzo máximo debe soportar la pieza y en qué dirección (esto es de mayor importancia en aquellas piezas de plástico reforzadas con fibra de vidrio.)
- Los valores máximos de resistencia a la tracción y al choque se alcanzan en la dirección del flujo

- El flujo perpendicular a la dirección de inyección cuenta con menor resistencia al agrietado en virtud de la tensión y la tenacidad reducida.
- La entrada debe ubicarse en la parte con mayor espesor de la pieza (excepto en la elaboración de espumas estructurales), ya que por esto es común que se presenten porosidades, rechupes y deformaciones.

Sistema de alimentación

El sistema de alimentación está compuesto por conductos, a través de los cuales el metal fundido fluye debido a la presión de inyección para llevar a cabo el llenado del molde. El sistema de alimentación está integrado por: bebedero, canales de alimentación y canales de entrada. [17]

Los canales de alimentación conectan el bebedero con la entrada de la cavidad al objeto de transferir el plástico fundido a las cavidades del molde. Usados en los moldes con varias zonas de impresión para conectar el primer canal de entrada al molde con las diferentes zonas de impresión. Su geometría ideal responde a formas con grandes secciones transversales (para que fluya bien el polímero fundido), pero con pequeñas áreas superficiales (para reducir las posibilidades de un enfriamiento prematuro). El tamaño de los canales depende del material que se está moldeando. Además deben de ser lo más cortos que sea posible, con el fin de reducir pérdidas de presión innecesarias.

El sistema de alimentación tiene por objeto recibir la masa de moldeo fundida, procedente del cilindro de plastificación y dirigirla a la cavidad del molde. Como se muestra en la figura 2.6, el sistema de alimentación está constituido por: [16]

1. Cono del bebedero (mazarota, canal de entrada).
2. Canal de alimentación (araña, repartidor, distribución).
3. Sección de ataque

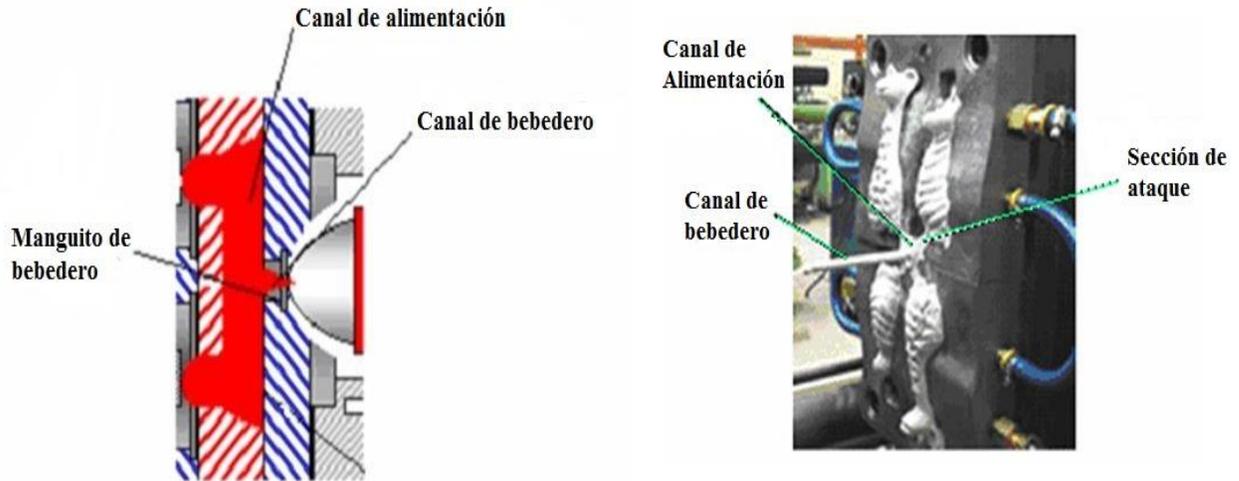


Figura 2.6: Sistema de llenado [16]

Fuente: Ortega Maya, E. 2007. Diseño de moldes de plástico con Ingeniería concurrente.

- 1) El cono de bebedero tiene la función de recoger la masa plástica directamente del cilindro de plastificación y dirigirla hacia el plano de partición del molde. Si bien este canal de entrada varía según las normas de trabajo, generalmente tiene forma cónica para facilitar el desmoldeo.
- 2) El canal de alimentación es la parte del sistema de llenado que en los moldes múltiples, une las cavidades con el bebedero. Este conjunto del sistema se llama muchas veces araña o repartidor de colada.
- 3) La sección de ataque constituye un elemento de transición desde el canal de alimentación a la cavidad del molde (pieza); para poder separar de forma fácil y limpia la pieza de la mazarota, por eso este canal debe ser muy fino. También son llamados canales de estrangulamiento, nervios de colada o trabazones, su función es la de unir el canal de alimentación con la cavidad, reteniendo al mismo tiempo, la película enfriada en las paredes de los repartidores de colada.

Canales de ventilación

En el proceso de llenado de la cavidad conformadora con la masa fundida, el aire que se encuentra en la cavidad frecuentemente no tiene salida del molde. Esto conduce a la formación de burbujas en la pieza. Por lo general, el aire expulsado durante el moldeo puede salir a través de los juegos de las uniones móviles. Estas salidas de evacuación de aire deben situarse aproximadamente en el punto de unión del material plástico con el fin de garantizar su salida, como se indica en la figura 2.7. [9]

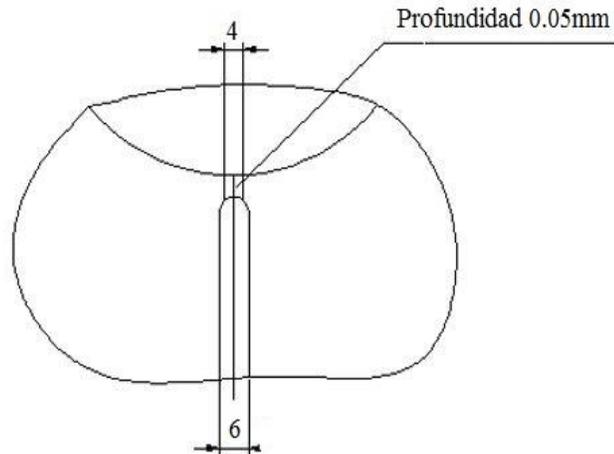


Figura 2.7: Ejemplo de salida de aire para el caso de Poliestireno. [9]

Fuente: García Martínez, Ángel R. 2011. Diseño de moldes para engranajes plásticos de dientes rectos asimétricos.

Estas dimensiones varían en dependencia de tipo de material que se use en el moldeo. Se debe señalar además, que los valores de las profundidades de los canales no deben exceder de las señaladas en la tabla 2.3 para evitar fugas del material plástico durante el proceso de inyección.

Tabla 2.3 Dimensiones recomendadas para las salidas de aire

Grupo de termoplástico	Profundidad del canal de ventilación (mm)
Acrílicos	0.06
Estirenos	0.05
Celulósicos	0.05
Etilenos	0.04
Amidas	0.03

Mecanismo de extracción a utilizar en el molde

Como consecuencia de la contracción durante la inyección, las piezas inyectadas se contraen sobre los machos del molde (esto no es necesariamente válido para materiales termoestables). Para su desmoldeo se aplican diferentes expulsores: [19]

- Pasadores cilíndricos de expulsión.
- Casquillos de expulsión.
- Placas de extracción, regletas de expulsión, anillos de expulsión.
- Mordazas correderas
- Separadores por aire comprimido

- Extractores de plato o de tipo seta
- Desenrosque por motor
- Camisas extractoras

El tipo de extractor está en función de la forma de la pieza a inyectar. La presión superficial sobre la pieza a expulsar debe ser la más mínima posible para evitar deformaciones. [19]

Normalmente, los machos, y también los dispositivos de extracción, están situados en la parte móvil de la máquina de inyección. La apertura del molde el accionamiento mecánico del sistema de expulsores por delante de la línea de partición. Un requisito para este sistema es, por supuesto, que la pieza permanezca del lado móvil del molde. Esto puede ser conseguido a través de la incorporación de negativos en la pieza o permitiendo que la pieza moldeada presente sus contracciones sobre la mitad móvil o corazón.

La tabla 2.4 muestra los sistemas de expulsión más utilizados, según las características de trabajo:

Tabla 2.4 Tipos de sistema de expulsión [16]

Tipo	Uso
Sistema de expulsión anular	Piezas pequeñas
Sistema de placa expulsora	Piezas con simetría de rotación
Sistema de desmoldeo simultáneo en varios planos	Piezas grandes y profundas.
Sistema de eyectores de plato.	Piezas profundas.

Sistema de expulsión por varillas expulsoras

Uno de los sistemas de expulsión más conocidos es el que opera con varillas expulsoras que separan la pieza del núcleo.

El diseño de las varillas varía según la aplicación y se tiene la siguiente clasificación según la figura 2.8:

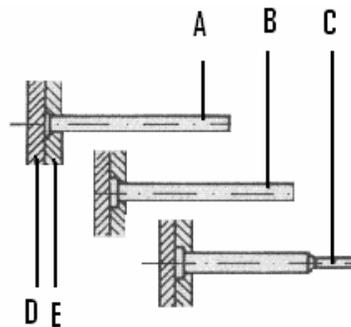


Figura 2.8: Representación esquemática de varias varillas de expulsión. [16]

Fuente: Ortega Maya, E. 2007. Diseño de moldes de plástico con Ingeniería concurrente.

A) Varilla de cabeza cónica y vástago cilíndrico. Se utilizan cuando no hay especiales exigencias en cuanto a la transmisión de fuerza.

B) Varilla de cabeza cilíndrica y vástago cilíndrico. Se utilizan cuando hay especiales exigencias en cuanto a grandes fuerzas de eyección.

C) Varilla de cabeza cilíndrica y espiga en el extremo. Se utilizan cuando la superficie de ataque sobre la pieza es muy pequeña y la fuerza necesaria reducida. El vástago con espiga aumenta la resistencia al pandeo.

Sistema de expulsión estándar

El sistema de expulsión a través de pernos expulsores es otro de los mecanismos ampliamente utilizado en la expulsión de piezas plásticas como se puede observar en la Figura 2.9. [20]

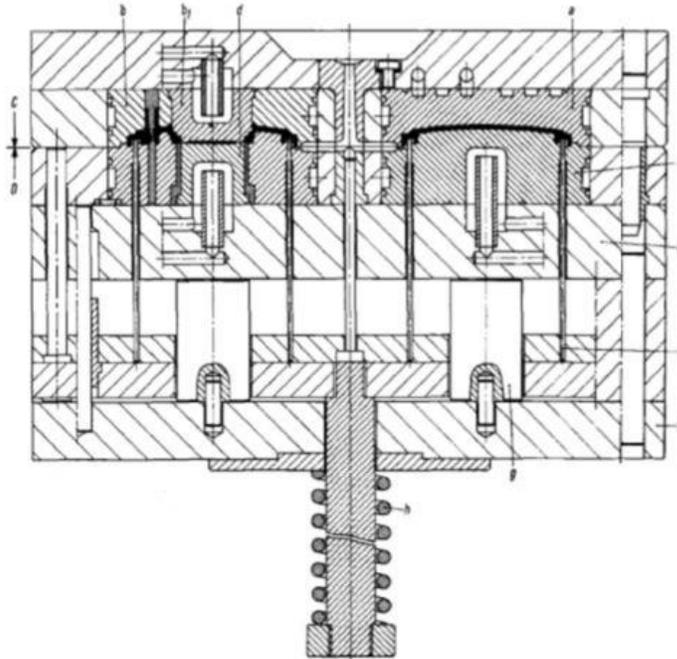


Figura 2.9: Sistema de expulsión estándar [20]

Fuente: Nunes. Guía del curso, Diseño de moldes de inyección de Plástico.

Para este tipo de expulsión encontraremos diferentes tipos de pernos expulsores (Ver figuras 2.10, 2.11 y 2.12), de los cuales el diseñador deberá seleccionar el que mejor se adapte a las necesidades del molde y de la pieza.

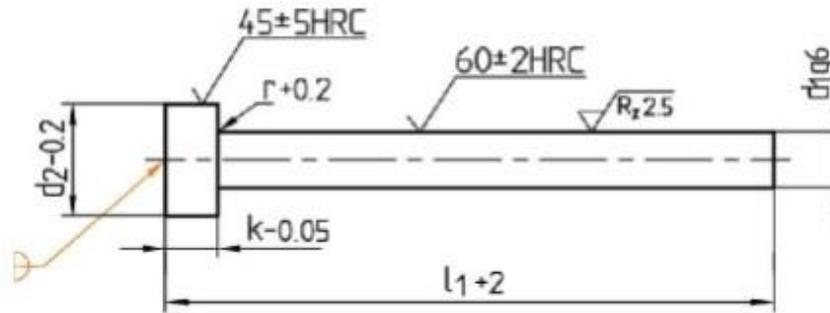


Figura 2.10: Perno expulsor cilíndrico [20]

Fuente: Nunes. Guía del curso, Diseño de moldes de inyección de Plástico.

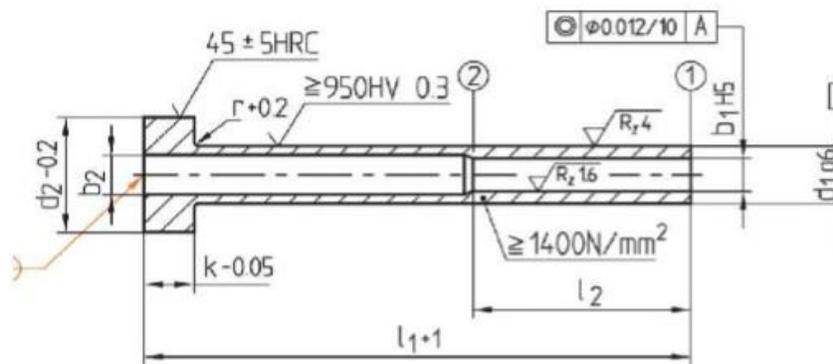
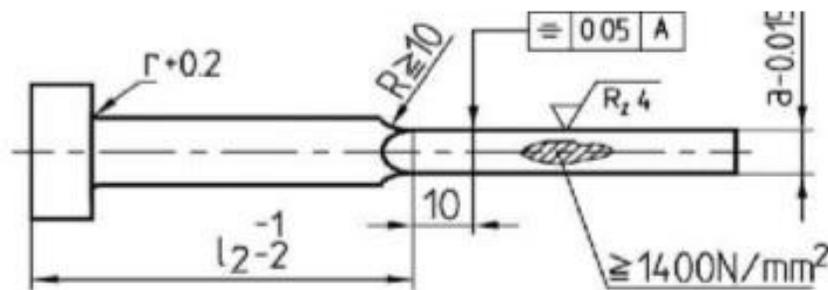


Figura 2.11: Perno expulsor tubular [20]

Fuente: Nunes. Guía del curso, Diseño de moldes de inyección de Plástico.



2.12: Perno expulsor laminar [20]

Fuente: Nunes. Guía del curso, Diseño de moldes de inyección de Plástico.

Cálculo teórico del número de cavidades

La determinación de la cantidad de cavidades del molde depende directamente de las características siguientes: el material y la geometría, así como del modelo de la máquina

a utilizar, con ello se puede realizar una primera aproximación del número de cavidades que se puede disponer en un molde.

El número teórico de cavidades, puede ser calculado de tres maneras diferentes, todas ellas teniendo en cuenta parámetros de la máquina de inyección y de la pieza. A continuación se describen cada uno de ellos. [18]

a) Relacionando la fuerza expansiva que se produce en el interior del molde, producto de la presión interna por el área proyectada, con la fuerza de cierre de la máquina. Con esto obtenemos la siguiente expresión:

$$n_1 = \frac{\text{Fuerza de cierre de la máquina (Ton)}}{\text{Fuerza expansiva en el molde (Ton)}} \quad (2.3)$$

b) Mediante la relación entre volumen máximo de inyección de la máquina y el volumen de la pieza a inyectar. Con esto obtenemos la siguiente expresión:

$$n_2 = \frac{\text{Volumen máximo de inyección de la máquina (cm}^3\text{)}}{\text{Volumen de la pieza a inyectar (cm}^3\text{)}} \quad (2.4)$$

c) Con la relación existente entre el rendimiento de plastificación del cilindro de la máquina y el número de inyecciones por minuto multiplicado por el volumen de la pieza. Con esto obtenemos la siguiente expresión:

$$n_3 = \frac{\text{Eficiencia de plastificación de la máquina (cm}^3\text{/min)}}{[\text{Número de inyecciones por minuto} \times \text{Volumen de la pieza}](\text{cm}^3\text{/min)}} \quad (2.5)$$

El cálculo del número real de cavidades se efectúa tanto por volumen de inyección como por fuerza de cierre.[9]

Número de cavidades por capacidad de inyección:

$$N = \frac{V_{i_{\text{máx}}}}{V_p \cdot K_2} \quad (2.6)$$

$V_{i_{\text{máx}}}$: Volumen de inyección máximo de la máquina, en cm^3 .

V_p : Volumen de la pieza, en cm^3 .

K_2 : Coeficiente que considera el volumen del sistema de alimentación con relación a una pieza (Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Valores del coeficiente K2 que considera el volumen del sistema de alimentación con relación a una pieza

Volumen de la pieza, en cm ³	Coeficiente K2
Hasta 0.5	1.5
Más de 0.5 hasta 2	1.3
Más de 2 hasta 10	1.2
Más de 10 hasta 20	1.1
Más de 20 hasta 30	1.05
Más de 30 hasta 70	1.05

Número de cavidades por fuerza de cierre de la máquina

$$N = \frac{F_c}{1.25 \cdot P_{im} \cdot K_1 \cdot AP} \quad (2.7)$$

P_{im} : Presión de inyección media en el molde, en MPa

F_c : Fuerza de cierre de la máquina, en N

La presión de inyección media, que no es más que la presión dentro de molde, es mucho menor que la presión de salida debido a las pérdidas que ocurren en las distintas partes de donde fluye el plástico. Se puede tomar un valor entre 20 y 25 MPa para piezas con espesores uniformes de 1 a 3 mm, fáciles de moldear y caminos de flujos uniformes. Para piezas difíciles de moldear, grandes diferencias de espesor de pared y largos caminos de flujo, se recomiendan valores superiores a 40 MPa. [9]

AP: Área proyectada del artículo, en mm².

K_1 : Coeficiente que considera el área proyectada de los canales de alimentación (Se recomienda $K_1 = 1,1$ para moldes con alimentación lateral y $K_1 = 1$ para moldes con alimentación directa central):

Cálculo del área proyectada de la pieza plástica

El área proyectada de un producto está directamente relacionada con la fuerza que se requiere para mantener el molde cerrado al tiempo de inyectar el material plástico al molde.

El primer criterio para determinar el área proyectada se basa en la presión de inyección recomendable para el material (figura 2.13), que nunca debe sobrepasar a la presión de inyección de la máquina, como se ve en la figura 2.14, donde se puede observar que la fuerza de cierre se opone a la presión de inyección y evita que se abra el molde, está fuerza no deber ser sobrepasada, en el cálculo del área proyectada. [16]

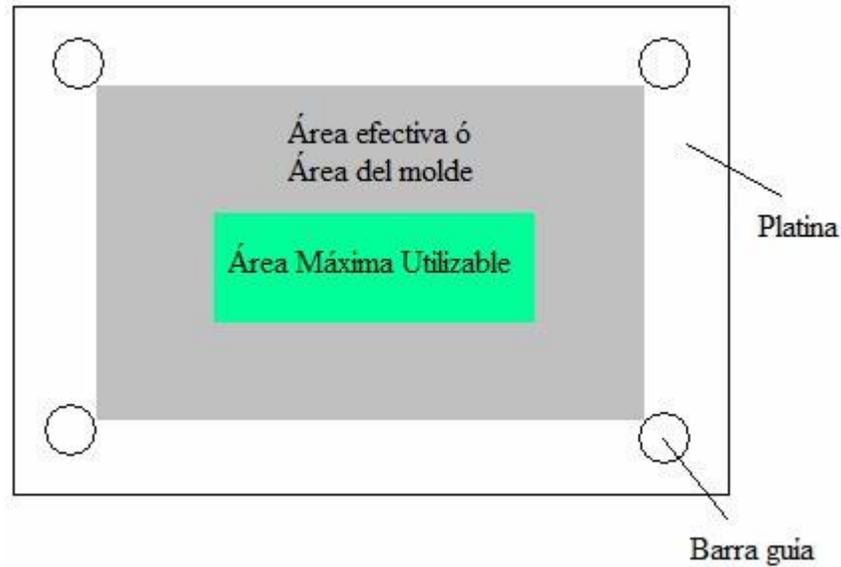


Figura 2.13: Distribución de áreas para el diseño de cavidades [16]

Fuente: Ortega Maya, E. 2007. Diseño de moldes de plástico con Ingeniería concurrente.

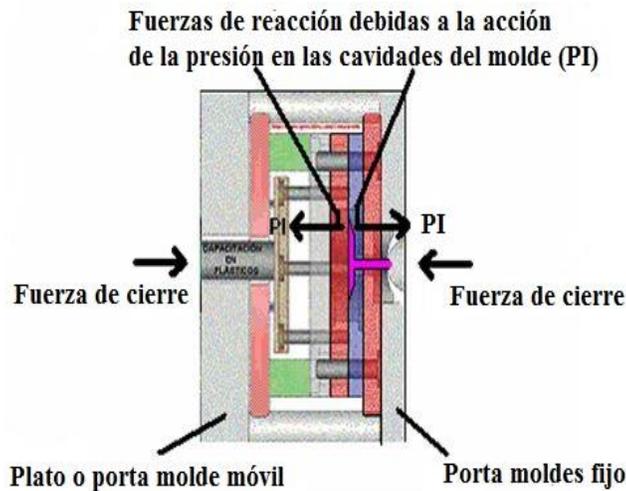


Figura 2.14 Fuerzas que actúan en el proceso de inyección a presión [16]

Fuente: Ortega Maya, E. 2007. Diseño de moldes de plástico con Ingeniería concurrente.

El área máxima utilizable (área proyectada) es el área, de la cual se dispone para alojar las cavidades y el sistema de alimentación, es una manera de estimar físicamente cuantas cavidades caben en el molde y está establecida por:

$$\text{Área máxima utilizable} = \frac{\text{Fuerza de cierre}}{\text{Presión máxima de inyección}} \quad (2.8)$$

Es importante que el diseñador comprenda cómo calcular el área proyectada. La figura 2.15 muestra cómo se determina.

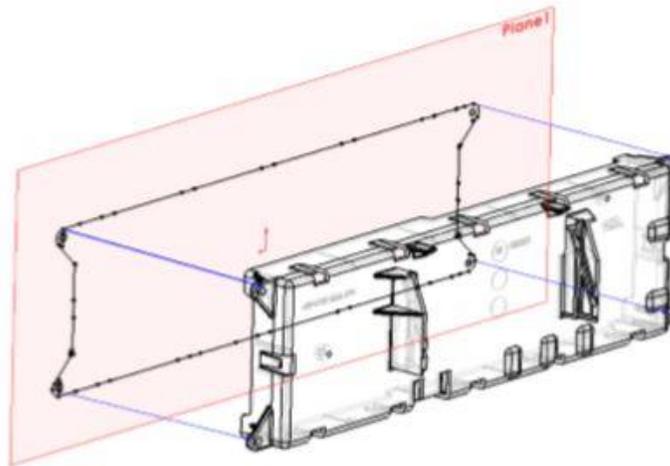


Figura 2.15: Determinación del área proyectada en el molde [20]

Fuente: Nunes. Guía del curso, Diseño de moldes de inyección de Plástico.

El área máxima utilizable incluye el área proyectada de los canales de alimentación y el área de los artículos (ver expresión 2.10).

$$\text{Área máxima utilizable} = \text{Área total de las piezas} + \text{Área de los canales de alimentación} \quad (2.9)$$

Distribución de cavidades

Las reglas a considerar en la distribución de las cavidades están listadas a continuación:

- Equidistancia de cavidades para obtener la misma cantidad de material en todas las cavidades al mismo tiempo y a la misma presión.
- Balance de la fuerza de cierre en la máquina de inyección.
- Distancia mínima de recorrido para evitar pérdidas de temperatura, velocidad y presión.
- Puntos fríos al final de largos recorridos y en cambios de dirección.
- Dos veces el diámetro de la colada, para eliminar el material frío que se forma en el frente de llenado.

Las cavidades pueden ser de la forma siguiente:

Una cavidad: Entrada directa abierta o bebedero caliente, deben situarse recomendablemente en el centro de gravedad del artículo.

Más de una cavidad: La distribución debe garantizar un recorrido del material metálico por todas las cavidades.

En la figura 2.16 se representa diferentes distribuciones de cavidades.

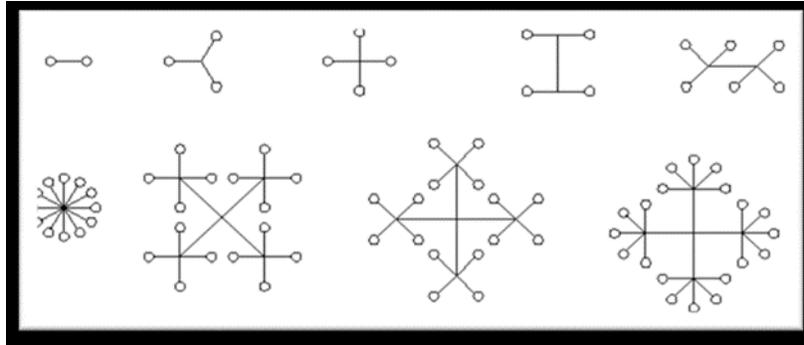


Figura 2.16: Distribución de cavidades [17]

Fuente: García Martínez, Ángel R. 2011. Diseño de moldes para engranajes plásticos de dientes rectos asimétricos.

Ciclo de moldeo por inyección

El ciclo de moldeo se puede dividir en las siguientes etapas:

- **Cierre del molde.** Parámetro de la máquina con el que actuamos sobre la velocidad de cierre del molde.
- **Unidad de inyección adelante.** Es el tiempo utilizado en hacer que la unidad inyectora haga contacto con el bebedero del molde.
- **Inyección.** Es el tiempo utilizado para llenar completamente las cavidades del molde. Empieza el tiempo de refrigeración.
- **Presión posterior.** Este parámetro tiene como misión compensar la contracción del material dentro del molde manteniendo una presión constante durante el enfriamiento de la pieza.
- **Unidad de inyección atrás.** Es el tiempo utilizado en posicionar la unidad de inyección en el punto de partida del ciclo.
- **Dosificación.** Es el momento en que el husillo de la máquina retrocede y gira para dejar paso a nuevo material procedente de la tolva para acondicionarlo y preparar material ya acondicionado en la punta lista para la siguiente inyectada.

- **Abrir el molde y expulsión.** Es el momento en que finaliza la refrigeración de la pieza. En este momento la pieza tiene la consistencia necesaria para ser expulsada.[18]

La suma de estas etapas es la duración del ciclo. Este tiempo total del ciclo se compone de:

- Tiempo de vacío (t_v)
- Tiempo de inyección (t_i)
- Tiempo de aplicación de la presión de sostenimiento (t_p)
- Tiempo de plastificación (t_f)
- Tiempo de enfriamiento (t_e)

Tiempo de llenado

El cálculo del tiempo de inyección tiene en cuenta el volumen de resina que es necesaria Inyectar para un artículo plástico (Figura 2.17)

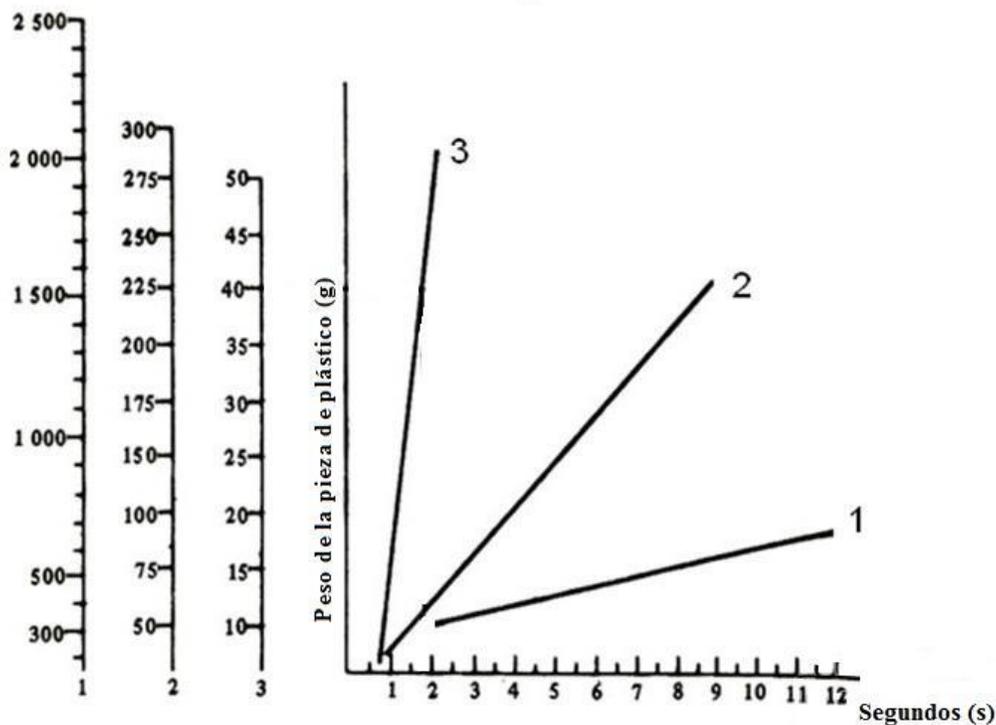


Figura 2.17: Tiempo de inyección en función del peso del artículo [7]

Fuente: Gómez, E., Diseño de Moldes para Plásticos y Gomas. La Habana: Pueblo y Educación, 1989

Si el tiempo establecido de llenado es muy bajo (la velocidad de llenado media muy alta), la presión de inyección necesaria para conseguir el caudal adecuado será muy alta. Igualmente si el tiempo de llenado es demasiado alto (velocidad media alta), también se necesitará una presión de inyección elevada para conseguir llenar el molde, puesto que parte de la sección de los canales habrá solidificado y la sección del paso del material puede haber disminuido mucho. Una presión de inyección elevada supone la necesidad de emplear fuerzas de cierre muy altas, lo que repercute sobre los costos y sobre la vida de la máquina y de los moldes. [10]

Otro factor muy importante que afecta la calidad de la pieza es la temperatura en el seno del material y entre diferente partes del mismo. La temperatura del material que se encuentra llenando la cavidad es más alta en el punto de entrada y, en principio, va descendiendo conforme se aleja a la entrada, puesto que se va enfriando en el contacto con las paredes del molde. Esto puede suceder cuando los tiempos de llenado son muy bajos y hay zonas de paso muy estrecho.

En la figura 2.18 se muestra la evolución de la presión de inyección y de la temperatura del material en la entrada de la cavidad y en un punto alejado de la misma en función del tiempo de llenado. En el análisis de este tipo de curvas permite determinar los tiempos de llenado óptimos los dos criterios; mantenimiento de la presión de inyección necesaria en un mínimo (y por tanto la fuerza de cierre), así como mínima diferencia de temperaturas entre diferentes partes de la pieza.

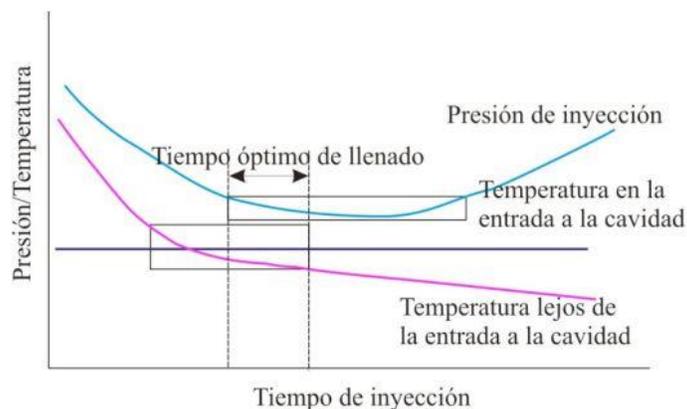


Figura 2.18: Determinación del tiempo óptimo de la cavidad en función en la cavidad en función de la presión de inyección y temperatura a la entrada a la cavidad y de un punto alejado de la misma

Fuente: Beltrán, M. Marcilla, A. Tecnología de Polímeros.

Tiempo de pausa

El tiempo de pausa forma parte del ciclo de enfriamiento y tiene en cuenta el espacio de tiempo empleado en abrir, cerrar y extraer la pieza. La Tabla 2.6 brinda el tiempo de pausa en expresado segundos teniendo en cuenta la máquina de inyección y la clasificación del artículo según su tamaño.

Tabla 2.6 Tiempos de pausa [9]

Máquinas de inyección (cm ³ /t)	Tiempo de pausa (segundos) (Abrir, Cerrar y Extraer)		
	Artículo Grande	Artículo mediano	Artículo Pequeño
107/30	-	-	3
286/85	-	6-8	4-6
260/100	-	5-6	3
460/100	-	6	3
353/135	-	5	3-4
150/150	-	5	2-3
800/250	-	6	4
617/300	10-12	8-9	-
2764/600	10-12	-	-
5000/630	12-14	8-12	-
4286/820	17-22	-	-

Sistemas de enfriamiento.

La principal función de este sistema está dirigida a eliminar el calor que adquiere el molde del plástico fundido, durante la etapa de inyección y agilizar al mismo tiempo el enfriamiento del producto moldeado.

Debido a que el material plástico al momento de ser inyectado al molde se encuentra a una temperatura entre 180 a 250 °C dependiendo de la resina utilizada requiere ser expulsada del mismo en un tiempo relativamente pequeño del molde de inyección, el molde de inyección está dotado de canales internos que atraviesan las placas, corazones de inyección y cavidades, para lograr un correcto y eficiente sistema de enfriamiento del molde se cuenta con los siguientes tipos de sistemas: [1]

- Jaula.
- Cascada.
- Directo.
- Circuito.

- Transferencia.

Un diseño óptimo del sistema de refrigeración del molde de inyección asegura también la expulsión de una pieza sin problemas de estabilidad dimensional, contracción volumétrica y rechupes.

Queda claro entonces que el adecuado diseño y fabricación del sistema de atemperado del molde juega un papel fundamental en la inyección de plásticos y su rentabilidad, ya que un sistema de enfriamiento deficiente genera una distribución despareja de la temperatura, lo que a su vez, puede ocasionar bajo rendimiento de la productividad y riesgo de fatiga térmica en el acero del molde, además de innumerables problemas de calidad.

En el proceso de solidificación, que ocurre inmediatamente después de haberse inyectado el plástico caliente en el molde de inyección, intervienen una serie de factores que determinan la rapidez con la que se genera un alto o bajo coeficiente de transferencia de calor y la rapidez con la que puede ser expulsada la pieza del molde [21]. Estos factores son:

Plástico a inyectar: Según el tipo de resina y sus características, entre otras la fluidez y propiedad de contracción, se diseña el sistema de refrigeración del molde. (Ver algunas propiedades de los plásticos a tener en cuenta a la hora de inyectarlos. Tabla 2.7).

Tabla 2.7 Valores de contenido de calor para algunos termoplásticos [21]

Material	Temp Fundido (°C)	Temp Molde (°C)	ΔT	Calor específico (Jkg⁻¹ k⁻¹)	Calor a remover
CA	210	50	160	1700	272
PET	240	60	180	1570	283
PMME	240	60	180	1900	242
PC	300	90	115	3000	345
ABS	240	60	180	1968	364
PS	220	20	200	1970	394
PA 6	250	80	170	3060	520
PA 66	280	80	200	3075	615
LDPE	210	30	180	3180	572
HDPE	240	20	220	3640	801
PP	240	50	190	2790	670

Valores de cantidad de calor a remover por unidad de masa (J/g) para algunos materiales, según temperaturas de procesamiento y del molde típicas para cada material.

Aceros o materiales utilizados en la fabricación del molde: El diseñador también debe tomar en cuenta los materiales con los cuales se fabricará el molde de inyección, ya que al estar sometidos a cambios de temperatura serán afectados de igual manera en sus dimensiones, según sus propiedades tiene diferencias en la transferencia térmica, y por tanto en el tiempo para expulsar la pieza del molde.

Medio refrigerante: Como no todos los polímeros se transforman a la misma temperatura, existen moldes que trabajan a diferentes temperaturas y, según éstos, se emplea uno u otro líquido atemperador, generalmente se utilizan dos tipos de refrigerante: agua tratada o aceite diatérmico, también algunos procesos requieren una mezcla de agua/alcohol. En los moldes que trabajan entre 15°C y 60°C se usa normalmente agua y la ayuda de unidades de control de temperatura también llamados “atemperadores” y equipos de refrigeración (chillers, torres de enfriamiento, etc), mientras que los que están entre 60°C y 90°C usan generalmente aceite y la ayuda de equipos de calentamiento o también “atemperadores”.

Diseño de canales de enfriamiento en cavidades y machos: Los circuitos de refrigeración se diseñan paralelos, en serie o independientes, se mecanizan por diferentes procesos, tales como taladrado y electroerosión, entre otros, y a estos se les colocan tabiques, baffles o insertos, para direccionar y crear turbulencia en el fluido atemperante. El diseño de los canales es complejo y específico para cada pieza y molde; cada parte del molde debe ser enfriada a la misma velocidad, lo cual a menudo implica un atemperado por secciones del molde.

Es decir, pueden refrigerarse con agua fría las partes internas del molde, sobre todo en machos, cavidades y cerca de la entrada del material, y con agua a temperatura ambiente las partes externas, para lograr así un enfriamiento más homogéneo, principalmente, en piezas gruesas con largos recorridos y en piezas con tolerancia dimensional limitada.

En general, para los moldes más sencillos se utilizan dos circuitos separados para las dos mitades del molde: la hembra y el macho. Sin embargo, para moldes grandes o complejos, no son suficientes dos circuitos de enfriamiento. Al independizar los circuitos se puede regular el flujo del líquido que circula sobre la parte del molde que tiende a sobrecalentarse más (áreas cercanas a la pieza).

Básicamente hay dos tipos de distribución de canales: en serie o en paralelo, o una mezcla de ambos. Los dos tipos de conexión de canales tienen sus ventajas e inconvenientes, tal y como se muestra en las figuras 2.19 y 2.20. Los circuitos conectados en serie, por ejemplo, garantizan las mismas condiciones para todos los canales con un riesgo de obturación reducido, ofreciendo una elevada seguridad de proceso.

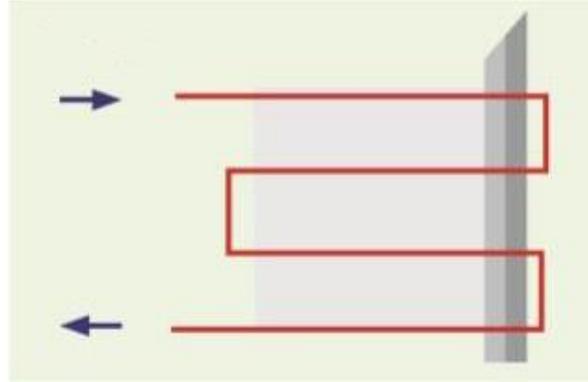


Figura 2.19: Circuito de refrigeración en serie

Fuente: Sabogal, Julio Cesar. 2013. Diseño de la refrigeración en moldes de inyección.

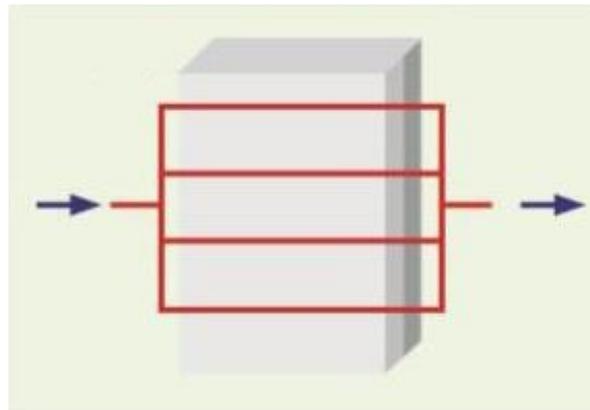


Figura 2.20: Circuito de refrigeración en paralelo

Fuente: Sabogal, Julio Cesar. 2013. Diseño de la refrigeración en moldes de inyección.

Los circuitos en serie y paralelo ofrecen algunas limitantes y por ello en muchas ocasiones es necesario diseñar la refrigeración con otro tipo de sistema o distribución. Los siguientes son los tipos de sistemas de refrigeración más conocidos para moldes de inyección:

Circuito de perforaciones: Son los clásicos taladrados que se unen en serie o en paralelo.

Circuito de canal fresado: En una pieza profunda se hace imposible taladrar, por ello es necesario fresar y taponar partes claves del circuito para que la refrigeración llegue a los lugares indicados.

Circuito tipo fuente o cascada: En este sistema el refrigerante, habitualmente, ingresa por el centro del molde (placa) y se distribuye como una cascada a lo largo de la pieza a refrigerar.

Circuitos con baffles o tabiques: En ocasiones es necesario interrumpir el flujo de refrigerante usando barreras denominadas baffles o tabiques, con el fin de redireccionar y guiar los líquidos hacia las áreas más calientes.

Circuitos con insertos y serpentines: Los insertos y serpentines direccionan el flujo de una forma específica o se colocan cuando se necesita aumentar la turbulencia, lo cual no podría lograrse de otra forma, a diferencia de las barreras tipo baffles generalmente se usan en machos y cavidades.

Tiempo de enfriamiento

Es una de las variables más importantes para conseguir una pieza de buena calidad. Es el tiempo que la pieza requiere para enfriarse hasta que ha solidificado y además ha adquirido la rigidez

Suficiente para poder ser extraída del molde sin que se deforme. El tiempo de enfriamiento debe ser suficiente para que un espesor considerable de la pieza (al menos el 95% de la pieza) se encuentre frío para evitar que la pieza se deforme. Para el cálculo del tiempo de enfriamiento se parte de la siguiente expresión [9]:

$$T_f = \frac{A \cdot S_z^2}{4 \cdot a} \quad (2.10)$$

T_f : Tiempo de enfriamiento, en segundos (s).

A: Constante del módulo de transferencia de calor (Tabla 2.8), adimensional.

S_z : Espesor de pared, en mm.

A: Factor de conductividad del calor, en mm^2/s .

Tabla 2.8 Coeficiente de temperatura (V) en función de la constante del módulo de transferencia de calor

V	0	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
A	1	0.9	0.95	0.78	0.61	0.50	0.39	0.30

$$V=(TE-TWZ)/(TM-TWZ) \quad (2.11)$$

TM: Temperatura de moldeo en $^{\circ}\text{K}$

TWZ: Temperatura del artículo en $^{\circ}\text{K}$

TE: Temperatura del molde $^{\circ}\text{K}$

Los valores de TM, TMZ, TE, se aparecen el anexo 3

Selección del tipo de molde

La complejidad en la selección del diseño de un molde depende directamente del análisis de la geometría de la pieza, del número de cavidades, del sistema de expulsión de la pieza, del circuito de refrigeración, del sistema de inyección, del estudio de las líneas de partición. En la tabla 2.9, se pueden observar las diferentes versiones de diseño de un molde, se muestra la designación de los moldes de acuerdo a sus funciones.

Tabla 2.9 Tipos de moldes [16]

Distinción de acuerdo a	Factores de influencia	Versión Diseño	Designación del Molde
Número de líneas de partición	Geometría de la pieza Número de cavidades Tipos de puntos de inyección Principio de expulsión	Molde de dos placas Molde de tres placas Molde de dos líneas de partición	Molde Estándar Molde diseñado para cortar la pieza Molde de varias placas
Sistema de expulsión	Forma de la pieza Material a moldear Parámetros del proceso Tamaño del lote Posición de la pieza relativa a la línea de partición	Acciones laterales Cavidad dividida Mecanismo de destornillado Placa de desmontaje	Molde de accionamiento lateral Molde de cavidad dividida Molde de destornillado Molde de desmontaje
Sistema de transferencia de calor	Máquina de inyección Tiempo del ciclo Material a moldear	Bebedero caliente Canales aislados	Moldes de canales calientes Moldes de canales aislados
Transmisión de fuerzas	Rigidez del molde Geometría de la pieza Presión de inyección Material a inyectar		Molde Estándar Molde de cavidad dividida

Selección de los materiales del molde

La duración del molde tiene una importancia decisiva en los costos de fabricación. A continuación veremos las características más importantes a la hora de elegir el material de fabricación de nuestro molde.

Las características que debe tener un acero para la construcción de moldes de inyección dependen de las condiciones impuestas a la pieza terminada y de los esfuerzos a los que se vea sometido el molde. Por ello los aceros deben tener las siguientes propiedades: [22]

- Buenas condiciones para su elaboración
- Resistencia a la compresión, temperatura y a la tenacidad
- Aptitud para el pulido
- Suficiente resistencia a la tracción
- Tratamiento térmico sencillo
- Deformación reducida
- Buena conductividad térmica
- Buena resiliencia

2.5- Medidas para eliminar defectos de elaboración causados por una construcción errónea del molde

Una vez explicado algunos aspectos generales para el diseño de moldes de inyección es el momento de analizar los posibles defectos que puedan aparecer en la pieza tras la solidificación del material. Estos defectos pueden hacer que las piezas defectuosas sean rechazadas ya que no cumplirán las especificaciones para las que han sido diseñadas con la consiguiente pérdida económica.

En la tabla 2.10 se dan algunos de los problemas que pueden aparecer en el moldeo por inyección, mencionando las causas y las posibles soluciones.

Tabla 2.10 Defectos en el moldeo por inyección [8]

Dificultad	Causa	Solución
Manchas, pintas o vetas negras	Exfoliación de plástico quemado en paredes del cilindro Aire atrapado en el molde causa quemaduras Quemaduras por rozamiento de gránulos fríos contra paredes de cilindro	Purgar cilindro calefactor Ventilar el molde correctamente Usar plásticos lubricados
Burbujas	Humedad en gránulos	Secar el granulado antes del moldeo
Rebabas	Material demasiado caliente Presión demasiado alta Línea de separación insuficiente Presión de sujeción insuficiente	Reducir temperatura Reducir presión Rectificar la línea de separación Aumentar presión de sujeción
Acabado deficiente	Moldeo demasiado frío Presión de inyección demasiado baja Agua en el molde Exceso de lubricante de molde Poca superficie sobre el molde	Elevar la temperatura del molde Elevar la presión de inyección Limpiar el molde Limpiar el molde Pulir el molde
Pieza moldeada, escasas dimensiones	Material frío Molde frío Presión insuficiente Orificio de colada pequeño Aire atrapado Falta de equilibrio en el flujo de plástico al molde de varias cavidades	Elevar la temperatura Elevar la temperatura del molde Aumentar presión Agrandar orificio de inyección Aumentar el tamaño de ventilación Corregir el sistema de canales
Depresión superficial	Insuficiente plástico en el molde Plástico demasiado caliente Presión de inyección	Aumentar velocidad de inyección, comprobar la dimensión del orificio de inyección Reducir la temperatura del cilindro Aumentar Presión
Combadura	Parte expulsada demasiado caliente Plástico demasiado frío Demasiada corriente de alimentación Desequilibrio en orificios de inyección	Reducir temperatura del plástico Elevar temperatura del cilindro Reducir alimentación Cambiar posición o reducir orificios de inyección
Marcas superficiales	Material frío Inyección lenta Desequilibrio del flujo de inyección (entradas)	Elevar la temperatura del plástico Elevar la temperatura del molde Aumentar velocidad de inyección Reequilibrar orificios de inyección o canales
Rechupes	Contracción o incorrecta refrigeración de la pieza inyectada	Evitar diferencia de espesores de la paredes Adecuada refrigeración del molde Situar el conducto de colada en la pared más gruesa

2.6.- Conclusiones parciales

1. Todo diseño de moldes lleva consigo un análisis previo del artículo en general, puesto a que todo se deriva de este primer paso. Con un detallado estudio de la pieza se puede obtener el molde adecuado con su respectiva especificación técnica.
2. Observar el comportamiento del tiempo total de moldeo es algo indispensable para saber si el proceso va a suceder de forma correcta. Dentro del ciclo de moldeo se encuentra el tiempo de enfriamiento un parámetro que debe ser investigado pues el mismo va influir en la extracción adecuada de la pieza sin que ocurran deformaciones.
3. Dentro de los aspectos generales para el diseño de moldes de inyección debemos destacar: la selección del tipo de inyectora, la entrada del material, sistema de alimentación, número de cavidades, canales de ventilación, sistema de enfriamiento, mecanismo de extracción. Todos estos elementos permiten que el proceso de moldeo funcione correctamente sin que exista ningún defecto de fabricación.
4. Se pueden presentar diversos tipos de defectos de elaboración de un artículo causados por una errónea construcción del molde para cada uno estos existen determinadas soluciones. Por ejemplo uno de estos defectos que podemos mencionar es: el rechupe, que una de sus soluciones sería presentar una adecuada refrigeración en el molde.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL MOLDE DE INYECCIÓN PARA LA PIEZA CASO DE ESTUDIO USANDO EL SOFTWARE AUTODESK INVENTOR

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL MOLDE DE INYECCIÓN PARA LA PIEZA CASO DE ESTUDIO USANDO EL SOFTWARE AUTODESK INVENTOR

3.1.- Análisis de la muestra prototipo.

Descripción y análisis funcional de la pieza

El grupo investigativo ISOTOPO es el encargado en nuestro país de crear medicamentos para combatir el cáncer, fundamentalmente medicamentos radioactivos. Los mismos contrataron al CID-PERSPECTIVA para el diseño de los moldes para crear el contenedor de 40 mm, este cuenta con dos partes; la tapa, y el cuerpo, este último es la pieza caso estudio de este trabajo (Figura 3.1).

El cuerpo del contenedor cuenta con cinco nervios que permiten mejorar su rigidez. La principal función del contenedor es almacenar en su interior medicina radioactiva empleada contra el cáncer, debido que en su parte interior lleva insertado un material que permite que la radiación no salga hacia fuera, este material es plomo.



Figura 3.1: Cuerpo del contenedor elaborado en Autodesk Inventor

Fuente: Elaboración propia.

Elaboración del plano de las piezas.

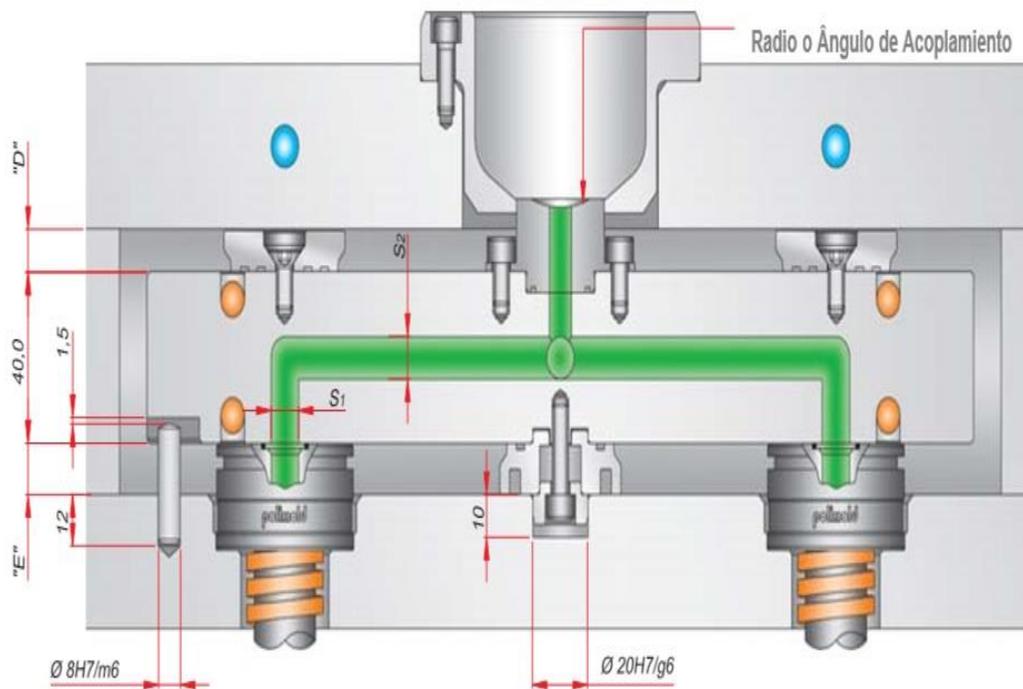
El plano de la pieza es elaborado en Autodesk Inventor (anexo 4), donde aparecen las principales dimensiones de la misma y las especificaciones de forma y posición.

Proceso de moldeo y material que se empleará

El proceso de moldeo a utilizar es moldeo por inyección convencional utilizando colada fría. Aunque se hará una propuesta de un distribuidor o canal caliente correspondiente a los moldes que se van a diseñar en frío con la ayuda del Autodesk Inventor y SolidWorks, pues el sistema de colada caliente se le adicionan a ambos diseños. Se selecciona como material el polietileno de alta densidad (PEAD) debido a que sus propiedades mecánicas son ideales para función que va realizar el artículo, además es uno de los más utilizados en la industria. Las características tecnológicas del material se mencionan en el capítulo I.

Selección del sistema de colada en caliente.

Se elige para el molde según el catálogo de colada caliente [23], un distribuidor de cuatro vías dependiendo de la distribución de las cavidades que presenta. En la figura 3.2 se observa el canal caliente seleccionado.



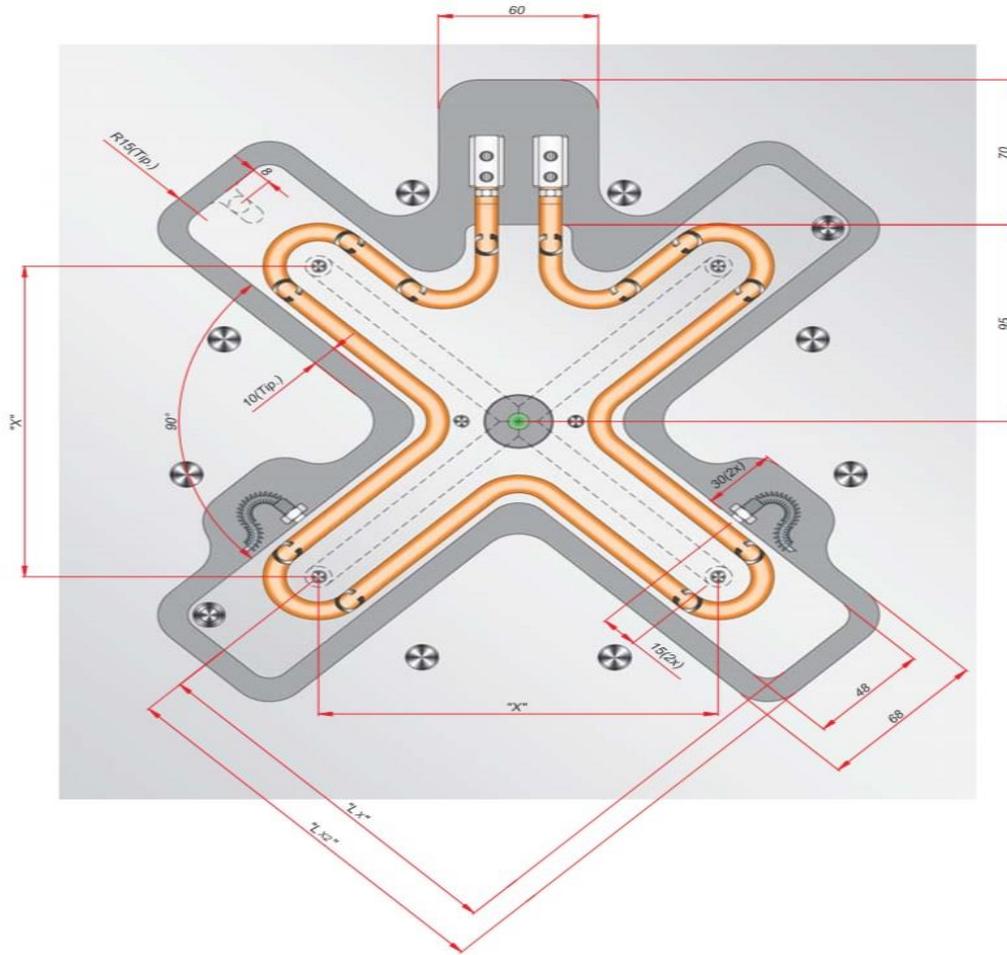


Figura 3.2: Distribuidor caliente

Fuente: Catálogo de Colada Caliente: POLIMOD, I. S. A, 2015.

En la tabla 3.1 y 3.2 se muestran la especificación de MANIFOLDS con las dimensiones principales.

Tabla 3.1 Especificación de MANIFOLDS

Código	“X” MÁX.	“Lx”	“Lx ₂ ”	Potencia total	Zonas de Control
FMX 10100	100	121	131	2x860	01
FMX 10150	150	156	166	2x1350	01
FMX 10200	200	192	202	2x1830	02

Tabla 3.2 Dimensiones sugeridas

	“D”	“E”
Mín	7	7
Máx	25	19

En la tabla 3.3 se muestra algunos datos específicos de boquillas calientes de serie 50, 200 y 500.

Tabla 3.3 Datos específicos

Boquilla	S ₁	S ₂
Serie 50	6	10
Serie 200	10	10
Serie 500	10	10

Se elige a partir de la tabla 3.1 y 3.2 un distribuidor con el código FMX 10100 pues su dimensión principal corresponde con la dimensión entre las cavidades del molde y una boquilla serie 50.

En la figura 3.3 se representa la forma de la boquilla serie 50 y en la tabla 3.5 se muestran algunos datos principales de estas boquillas.

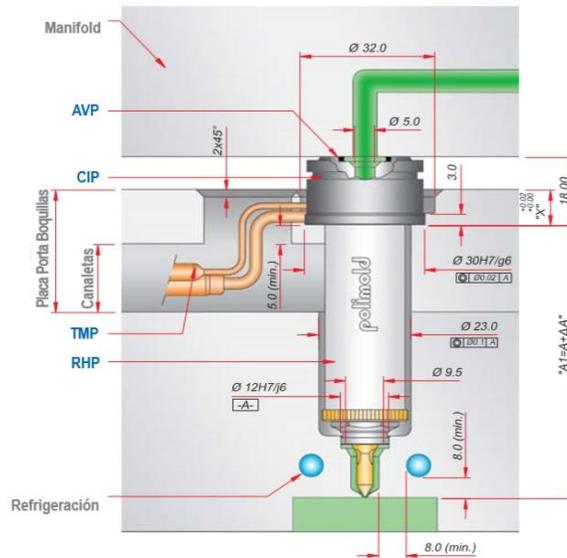


Figura 3.3: Boquilla serie 50

Fuente: Catálogo de Colada Caliente: POLIMOD, I. S. A, 2015.

Tabla 3.4 Especificación de boquillas serie 50

Código	Dimensión	Componentes				
		Cuerpo	Resistencia	Potencia	Termopar	Sello
BIP05042	42	CIP05035	RH05025	200W	TMP01080	AVP05016
BIP05057	57	CIP05050	RH05040	250W	TMP01080	AVP05016
BIP05072	72	CIP05065	RH05055	300W	TMP01100	AVP05016
BIP05097	97	CIP05090	RH05080	470W	TMP0120	AVP05016
BIP05122	122	CIP05115	RH05105	470W	TMP01140	AVP05016

De la tabla 3.4 se elige una boquilla de código BIP05042 con una potencia es de 200W, significa que económicamente es la mejor pues consume menos.

Vida útil que se requiere para la pieza

La vida útil que se requiere para la pieza deber ser alta, pues la pieza cumplirá con la función de almacenar un medicamento radioactivo por un determinado tiempo hasta que se desee suministrar el mismo a un paciente.

Apariencia

La apariencia que debe presentar es alta calidad superficial y color azul oscuro.

Condiciones de trabajo de la pieza plástica.

Esta pieza está sometida a un ambiente natural y se le realiza la comprobación de resistencia a la prueba de impacto.

3.2.- Diseño de la pieza

Verificación de la geometría de la pieza

La geometría es básicamente un cilindro lo que significa que su área proyectada en el molde es un círculo. Presenta algunos redondeos para evitar concentración de esfuerzos y su espesor varía entre 2 y 3 mm, con un valor promedio de 2.1 mm.

Clasificación de la pieza a producir de acuerdo a su complejidad

El artículo se clasifica como simple y pequeño según lo mencionado en el anterior capítulo.

3.3.- Cálculo y diseño del molde de inyección

Contracción

La contracción en el material seleccionado se comporta en un rango de 2 a 4 %. Se analiza la misma de forma uniforme con un valor medio del 3% aunque en la en realidad el comportamiento no es igual en todas direcciones.

Determinación de la línea de partición del artículo

En la figura 3.4 se muestra la línea de partición de la pieza, ubicada en función de optimizar el diseño del molde.

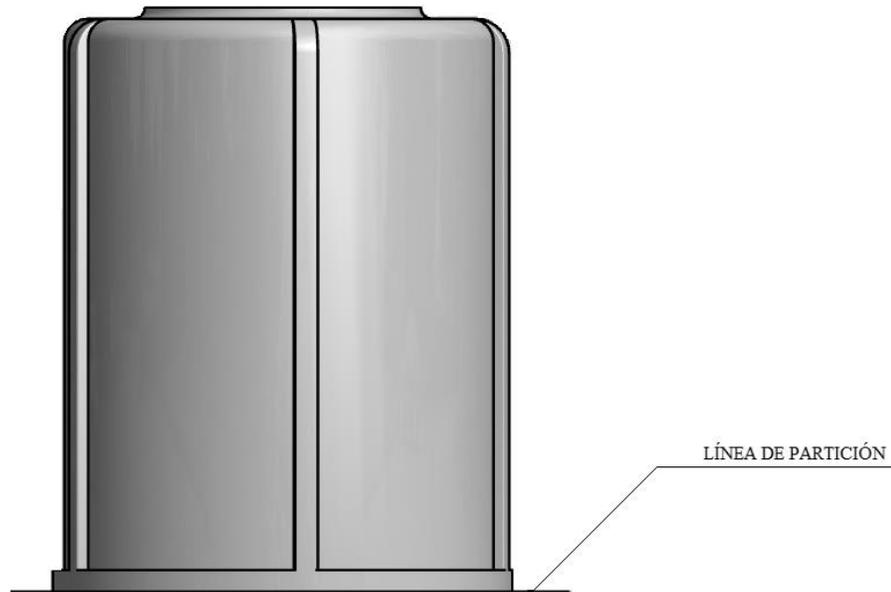


Figura 3.4: Línea de partición del artículo

Fuente: Elaboración propia.

Selección del tipo de inyectora

Se elige una máquina inyectora Sandretto de 135 toneladas con cámara horizontal porque no es conveniente moldear artículos pequeños en máquinas grandes debido a la degradación del material que ocurre en la cámara de plastificación de la máquina. En la tabla 3.5 se observan las características técnicas de esta máquina.

Tabla 3.5 Características técnicas de la máquina

Características Técnicas	Valor	UM
Diámetro del husillo	50	mm
Volumen de inyección	353	cm ³
Capacidad de plastificación	38.8	g/s
Presión de inyección máxima	1464	bar
Velocidad del husillo (Mín-Máx)	0/200 170/450	rpm
Potencia total de calefacción	9	kW
Fuerza de bloqueo del molde	1325	kN
Grueso del molde (Máx- Mín)	150/500	mm
Carrera del plato móvil	400	mm
Dimensiones de los platos	610x610	mm
Pasaje entre columnas	400x400	mm
Diámetro del anillo de centrado	150	mm

Entrada del material

Se emplea una entrada puntiforme ubicada en el centro de la superficie de la pieza. En la figura 3.5 se aprecia este tipo de entrada empleado en dicho molde.



Figura 3.5: Entrada de material

Fuente: Elaboración propia.

Sistemas de alimentación

Se emplea un canal de alimentación circular y un bebedero exterior. En la figura 3.6 y 3.7 se detallan los canales de alimentación y el bebedero utilizado en el diseño del molde. La figura 3.8 hace referencia al llenado de las cavidades a través de la simulación en el Autodesk Inventor.

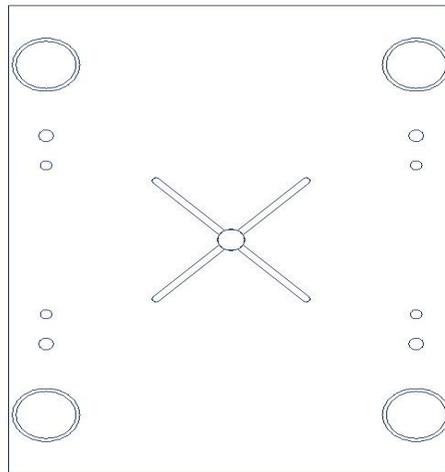


Figura 3.6: Canales de alimentación

Fuente: Elaboración propia.

Los canales de alimentación se encuentran en forma de cruz por la distribución de cavidades empleada en el diseño.



Figura 3.7: Bebedero empleado

Fuente: Elaboración propia.

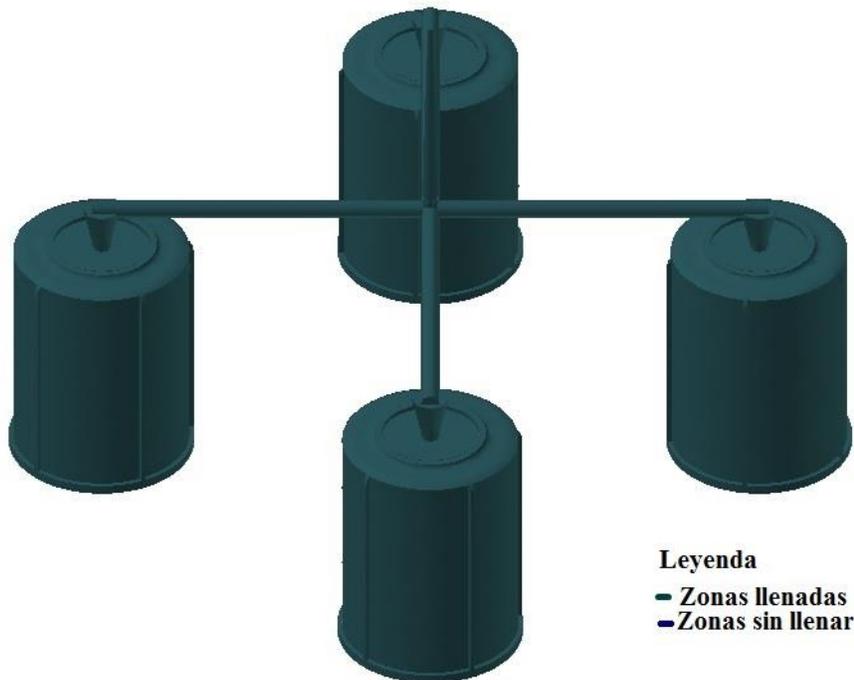


Figura 3.8: Simulación del llenado de las cavidades en el Autodesk Inventor

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura anterior el llenado de las cavidades ocurre correctamente. Es el primer paso que influye en la calidad requerida de la pieza.

Canales de ventilación.

Se selecciona un canal de ventilación rectangular, el cual permite la salida de los gases en el momento de la inyección en la cavidad. En la figura 3.9 se representa los canales en la placa de respaldo del molde.

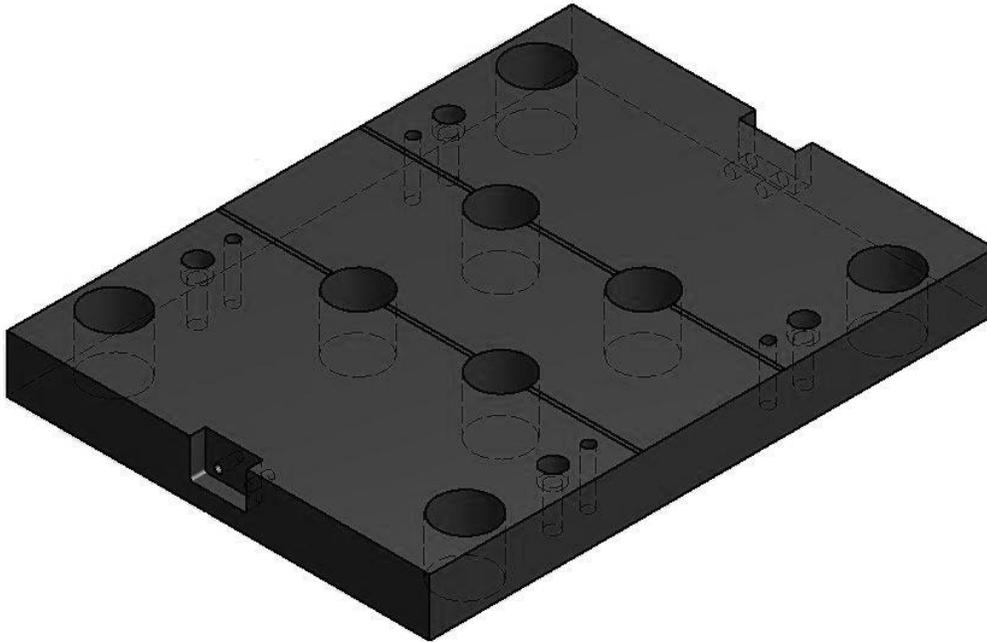


Figura 3.9: Canales de ventilación

Fuente: Elaboración propia.

Las dimensiones de los canales se tomaron según la tabla 2.3. Su longitud se corresponde con el ancho de la placa.

Mecanismos de extracción a utilizar en el molde.

Se utilizan camisas extractoras (ver figura 3.10), las cuales admiten extraer las piezas de manera uniforme, sin causar deformaciones en las superficies de estas.

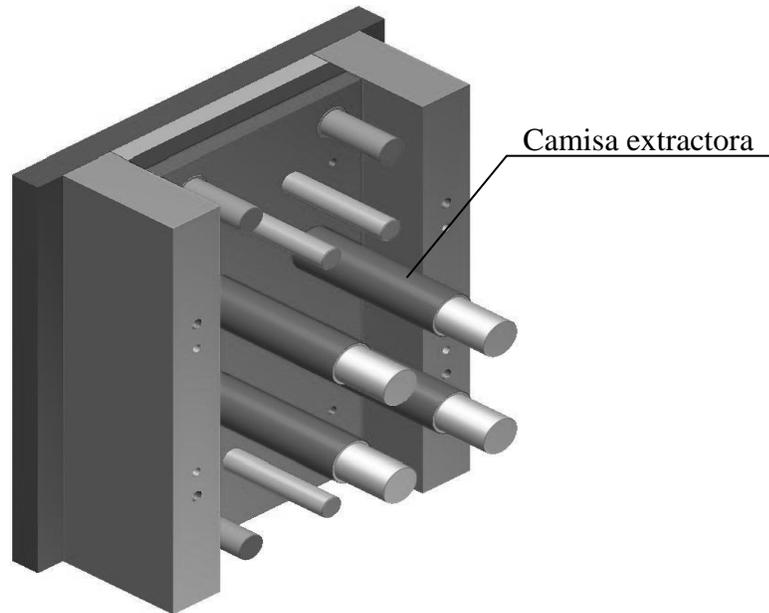


Figura 3.10: Mecanismo de extracción por camisas

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del área proyectada de las piezas y de los canales de alimentación

$$A_p = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (3.1)$$

$$A_p = 4 \cdot \pi \cdot (20\text{mm})^2$$

$$A_p = 5024 \text{ mm}^2$$

$$A_c = 4 \cdot D \cdot l \quad (3.2)$$

$$A_c = 4 \cdot 4\text{mm} \cdot 70\text{mm}$$

$$A_c = 1120\text{mm}^2$$

D: Diámetro del canal

l: Longitud del canal

De esta manera se calcula el área proyectada de la pieza ya que su forma es básicamente un círculo. Por esta razón no se utiliza la expresión 2.9 y la misma será empleada para el cálculo de la fuerza de cierre después de haber obtenido el valor del área proyectada.

Cálculo de la fuerza de cierre

Según la expresión 2.9

$$\text{Área máxima utilizable} = \frac{\text{Fuerza de Cierre}}{\text{Presión máxima de inyección}}$$

Según la expresión 2.10

$$\text{Área máxima utilizable} = 5024 \text{ mm}^2 + 1120 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área máxima utilizable} = AP = 6144 \text{ mm}^2$$

$$\text{Fuerza de Cierre} = \text{Área máxima utilizable} \cdot \text{Presión máxima de inyección}$$

$$\text{Fuerza de Cierre} = 0.006144 \text{ m}^2 \cdot 146400000 \text{ Pa}$$

$$\text{Fuerza de Cierre} = 899481.6 \text{ N} = 89.9 \text{ Ton}$$

Comprobación

Fuerza de cierre de la máquina: 135 Ton.

F cierre calculada < F cierre máquina

89.9 Ton < 135 Ton, por tanto la máquina garantiza el llenado de las cavidades sin que se abra el molde.

Cálculo del número de cavidades

Máquina inyectora: 135 Ton = 1350000 N.

$$P_{im} = 25 \text{ Mpa}$$

$$AP = 6144 \text{ mm}^2$$

$$K_1 = 1.1 \text{ (para inyección lateral)}$$

$$K_2 = 1.1 \text{ (según Tabla 2.5)}$$

$$\text{Volumen de inyección máximo de la máquina } V_{i_{m\acute{a}x}} = 353 \text{ cm}^3$$

Por capacidad de inyección

Según la expresión 2.7

$$N = \frac{V_{i_{m\acute{a}x}}}{V_p \cdot K_2}$$

$$N = \frac{353 \text{ cm}^3}{13.9 \text{ cm}^3 \cdot 1.1}$$

$$N = 24 \text{ cavidades}$$

Por fuerza de cierre de la máquina

Según la expresión 2.8

$$N = \frac{F_c}{1.25 \cdot P_{im} \cdot K_1 \cdot AP}$$

$$N = \frac{1350000}{1.25 \cdot 25 \cdot 1.1 \cdot 6144}$$

$$N = 6 \text{ Cavidades}$$

Se seleccionan cuatro cavidades, pues la máquina permite el llenado de las mismas sin problemas, y un número mayor de estas no sería económicamente factible.

Distribución de cavidades para el molde de la pieza prototipo

En la figura 3.11 se muestra la distribución de cavidades que se utiliza en el diseño del molde.

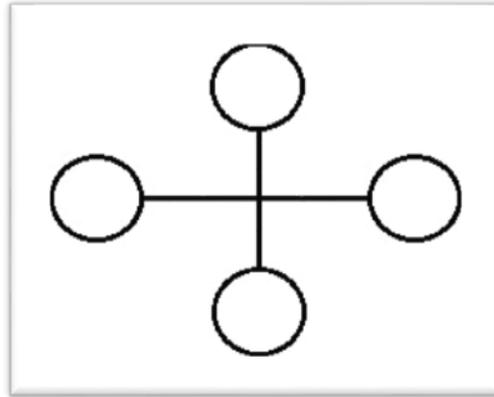


Figura 3.11: Distribución de cavidades empleada en el software Autodesk Inventor

Fuente: Elaboración propia.

Esta distribución se utilizar para la optimización de las dimensiones del molde, además de permite el intercambio de la placa con un distribuidor de canal caliente

Tiempo de llenado del molde

Según la figura 2.17 se determina un tiempo de llenado de 0.8 segundos.

En la figura 3.12 se determina el tiempo de llenado por la simulación realizada en el software Autodesk Inventor.

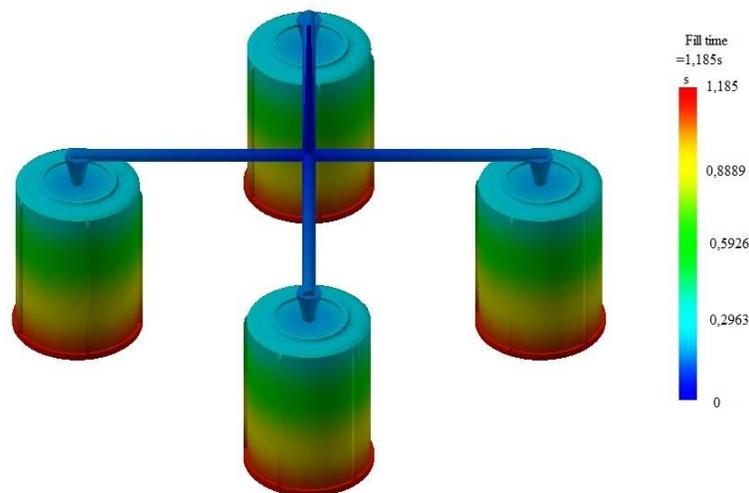


Figura 3.12: Simulación del tiempo de llenado en el software Autodesk Inventor

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados por ambos métodos son bastante similares debido a que la diferencia entre ambos es mínima.

Tiempo de pausa

Como el artículo es pequeño y la máquina de inyección es de 135 Ton se selecciona según la tabla 2.6 un tiempo de pausa de 4 segundos.

Sistema de enfriamiento

Se selecciona un sistema de enfriamiento en serie. El refrigerante a manipular va a ser agua. La figura 3.13 se aprecia el enfriamiento a través de la cavidad.



Figura 3.13: Enfriamiento a través de la cavidad

Fuente: Elaboración propia.

Los canales de refrigeración en la placa porta cavidad se observan en la figura 3.15

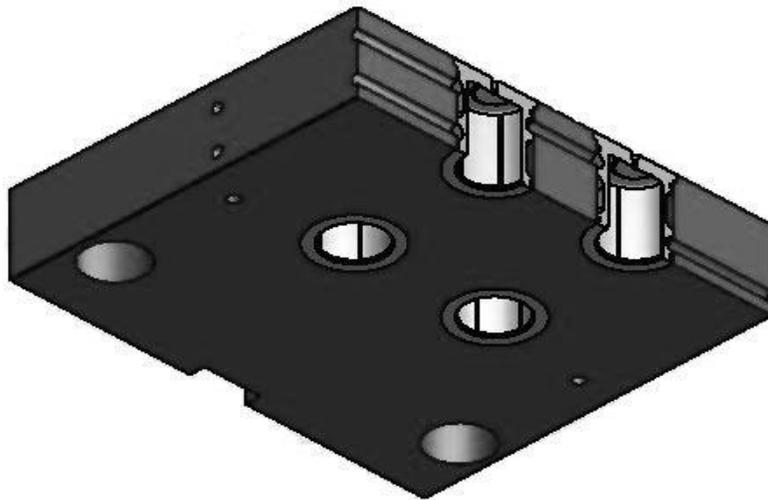


Figura 3.14 Canales de refrigeración

Fuente: Elaboración propia.

En el corte de la placa se observa los canales de refrigeración que pasan a través de las cavidades.

Cálculo del tiempo de enfriamiento

$$V=(TE-TWZ)/(TM-TWZ)$$

$$TM= 513.15 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$TWZ= 313.15 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$TE= 333.15 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$V=0.1$$

$$A= 0.95$$

$$a= 7.7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}=0.077 \text{ mm}^2$$

$$T_f = \frac{A \cdot S_z^2}{4 \cdot a}$$

$$T_f = \frac{0.95 \cdot 2.1^2}{4 \cdot 0.077}$$

$$T_f=13\text{s}$$

Ciclo de moldeo

$$CM=T_f+T_p+T_i$$

$$CM=13+4+0.8$$

$$CM=18 \text{ segundos}$$

Cálculo de la capacidad de plastificación

$$C_p = \frac{P_m}{T_f}$$

$$C_p = \frac{13\text{g}}{13\text{s}}$$

$$C_p = 1\text{g/s}$$

Selección del tipo de molde

El portamolde que se utiliza es de dos placas. La fijación entre placas se realiza con tornillos allen y el centraje con pines.

Selección de los materiales del molde.

Una parte importante del diseño es la elección de los materiales. En la tabla 3.6 se hace un listado de los principales elementos del molde con su material correspondiente.

Tabla 3.6 Materiales para la construcción del molde

Elementos del molde	Material (Aceros)
Camisa extractora	40XHMA
Centrador lateral hembra	18XGT
Centrador lateral macho	18XGT
Columna del sistema extractor	18XGT
Columna de retorno	18XGT
Macho	X12HM
Inserto Cavidad	AISI E 51100
Placa porta cavidad	AISI 1045
Placa porta extractores	AISI 1045
Placa porta macho	AISI 1045
Placas respaldo	AISI 1045
Placa respaldo extractores	AISI 1045
Placa sujeción fija	AISI 1045
Placa sujeción móvil	AISI 1045
Separador	AISI 1045
Tapón roscado	AISI 1045

Proyección del molde

Se hace el plano de ensamble del molde con su respectiva especificación técnica de cada uno de los elementos del molde (ver anexo 5,6 y 7). En el anexo 8 se muestra el molde en tres dimensiones elaborado el software Autodesk Inventor.

3.4.- Conclusiones parciales

1. Se obtuvo el diseño del molde en colada fría con la ayuda del software Autodesk Inventor y se propuso el sistema de colada caliente correspondiente según el número de cavidades, la distribución y distancia entre las cavidades. En el catálogo de colada caliente se seleccionó un distribuidor de cuatro vías con el código FMX 10100 y una boquilla de serie 50 BIP05042.
2. Se determinó los diferentes parámetros técnicos como el tiempo de enfriamiento, el tiempo de llenado, el ciclo de moldeo, la fuerza de cierre, la capacidad de plastificación de la máquina y el número de cavidades necesarias. Uno de los parámetros fundamentales es el tiempo total del proceso, pues es valor del mismo es bastante pequeño por las dimensiones y el peso de la pieza. Con la selección del sistema de canal caliente se reduce aún más el ciclo de moldeo.

3. En el diseño se demuestra que el molde no presenta ninguna dificultad, de manera tal que todas las cavidades se llenan correctamente como se aprecia en la simulación elaborada el software Autodesk Inventor. Los canales de refrigeración permite un adecuado enfriamiento en el molde para que la pieza puede ser extraída fácilmente. El aire que se encuentra dentro del molde va a ser liberado por la realización de los canales de ventilación con la profundidad recomendada según el material empleado

CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL MOLDE DE INYECCIÓN PARA LA PIEZA CASO DE ESTUDIO USANDO EL SOFTWARE SOLIDWORKS

CAPÍTULO IV: DISEÑO DEL MOLDE DE INYECCIÓN PARA LA PIEZA CASO DE ESTUDIO USANDO EL SOFTWARE SOLIDWORKS

4.1.- Análisis de la muestra prototipo.

Descripción y análisis funcional de la pieza

La pieza a fabricar es la tapa de un contenedor de 38 mm de diámetro exterior. Donde la principal función del contenedor es almacenar medicina radioactiva utilizada por personas con cáncer, cuenta en su interior un inserto de plomo para evitar que las radiaciones salgan al exterior, presenta además en su exterior cinco nervios para mejorar su rigidez y el agarre. (Figura 4.1)



Figura 4.1: Tapa del contenedor elaborado en SolidWorks.

Fuente: Elaboración propia.

Elaboración del plano de las piezas.

El plano de la pieza es elaborado en SolidWorks (anexo 9), donde aparecen las principales dimensiones de la misma y las especificaciones de forma y posición.

Proceso de moldeo y material que se empleará

Se selecciona como material él (PEAD) polietileno de alta densidad por su perfecta adaptación a las condiciones de trabajo a la que va hacer sometida la pieza y sus propiedades mecánicas, estas características de dicho material se encuentran en el capítulo I. El proceso de moldeo a utilizar es el moldeo por inyección convencional en

colada fría realizado en el software SolidWorks. Se hace la proposición del sistema de colada caliente para el proceso.

Vida útil que se requiere para la pieza

La vida útil que se requiere para la pieza deber ser alta, pues la pieza cumplirá con la función de almacenar un medicamento radioactivo por un determinado tiempo hasta que se desee suministrar el mismo a un paciente.

Apariencia

La apariencia que debe presentar es alta calidad superficial y color azul oscuro.

Condiciones de trabajo de la pieza plástica.

Esta pieza está sometida a un ambiente natural y se le realiza la comprobación de resistencia a la prueba de impacto.

4.2.-Diseño de la pieza

Verificación de la geometría de la pieza

La geometría que presenta la tapa del contenedor que almacena medicamentos radioactivos es un cilindro y su área proyectada en el molde es un círculo. Presenta un espesor de 2.1 mm y algunos redondeos para evitar concentración de esfuerzos.

Clasificación de la pieza a producir de acuerdo a su complejidad

El artículo se clasifica como simple y pequeño según lo mencionado en el anterior capítulo II.

4.3.-Cálculo y diseño del molde de inyección

Contracción

La contracción en el material seleccionado se comporta en un rango de 2 a 4 % aunque la contracción no es uniforme se elige un valor medio en este caso un valor de 3% para trabajar con dicho molde. Este porcentaje significa que las dimensiones de la pieza superan en un 3% a las que se desean obtener.

Determinación de la línea de partición del artículo

En la figura 4.2 se muestra la línea de partición de la pieza, con la principal función de lograr una apertura del molde más sencilla.

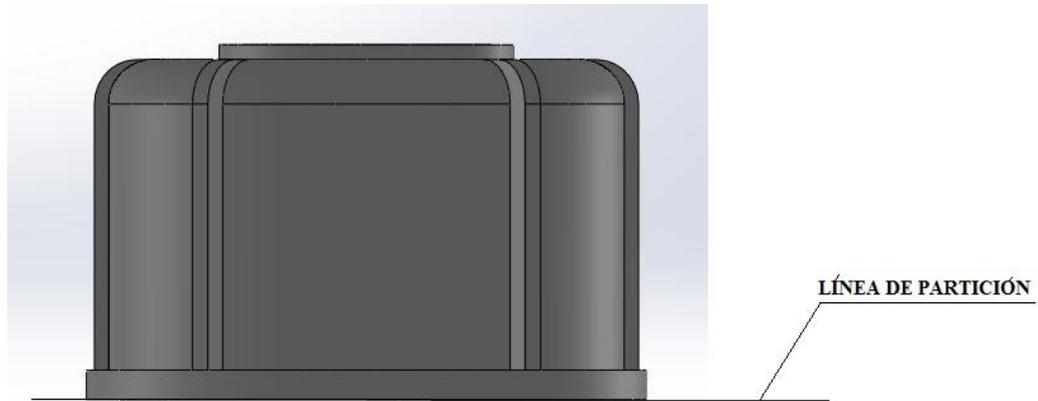


Figura 4.2: Línea de partición del artículo

Fuente: Elaboración propia.

Selección del tipo de inyectora

Se elige una máquina inyectora Sandretto de 85 toneladas con cámara horizontal porque no es conveniente moldear artículos pequeños en máquinas grandes debido a la degradación del material que ocurre en la cámara de plastificación de la máquina. En la tabla 4.1 se observan las características técnicas de esta máquina.

Tabla 4.1 Características técnicas de la máquina

Características Técnicas	Valor	UM
Diámetro del husillo	45	mm
Volumen de inyección	286	cm ³
Flujo máximo de inyección	156	cm ³ /s
Capacidad de plastificación	25	g/s
Presión de inyección máxima	1500	bar
Velocidad del husillo (Mín-Máx)	1160/425	rpm
Potencia total de calefacción	10.5	kW
Fuerza de bloqueo del molde	850	kN
Recorrido grupo de inyección	320	Mm
Grueso del molde (Máx- Mín)	100/460	mm
Carrera del plato móvil	410	mm
Dimensiones de los platos	560x560	mm
Pasaje entre columnas	370x370	mm
Diámetro del anillo de centraje	125	mm

Entrada del material

Se emplea una entrada semiesférica ubicada en el borde de la superficie de la pieza. En la figura 4.3 se aprecia este tipo de entrada empleado en el molde.

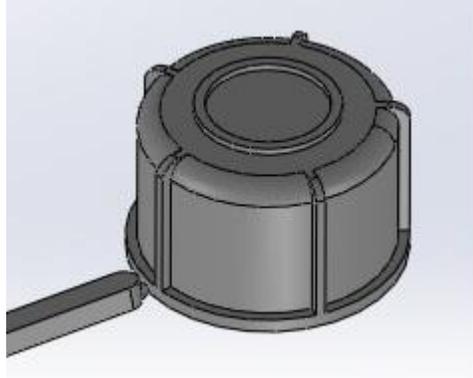


Figura 4.3: Entrada de material

Fuente: Elaboración propia.

Sistemas de alimentación

Este sistema cuenta de un canal de alimentación trapezoidal y un bebedero exterior. En las figuras 4.4 y 4.5 se muestran los canales de alimentación y el bebedero utilizado en el diseño del molde respectivamente. En la figura 4.6 se muestra el llenado de las cavidades utilizando el software SolidWorks.

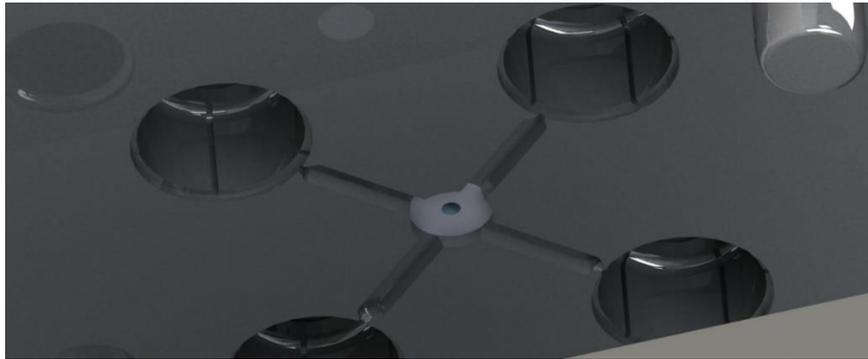


Figura 4.4: Canales de alimentación

Los canales de alimentación se encuentran en forma de cruz por la distribución de cavidades empleada en el diseño.

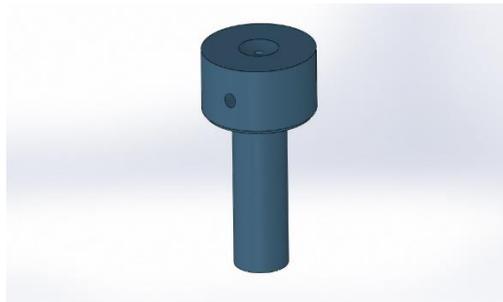


Figura 4.5: Bebedero empleado

Fuente: Elaboración propia.

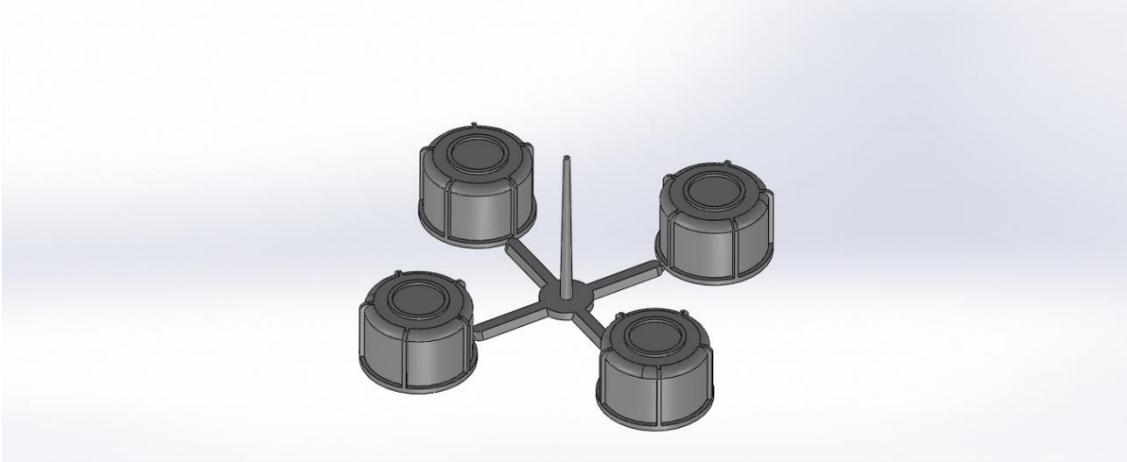


Figura 4.6: Simulación del llenado de las cavidades en el SolidWorks.

Fuente: Elaboración propia.

El color gris en la figura 4.6 representa el llenado de las cavidades. Se aprecia que se llenan correctamente.

Canales de ventilación y mecanismos de extracción a utilizar en el molde.

Se seleccionan expulsores cilíndricos (ver figura 4.7), los cuales permiten extraer las piezas de manera uniforme, sin causar deformaciones en las superficies. Estos expulsores permiten que el molde expulse los gases que se almacenan en el proceso de moldeo por lo que no es necesario diseñar un canal de ventilación, sin embargo en otros casos siempre se debe diseñar este sistema ya que presenta numerosas ventajas para la eficiencia del molde y su vida útil.

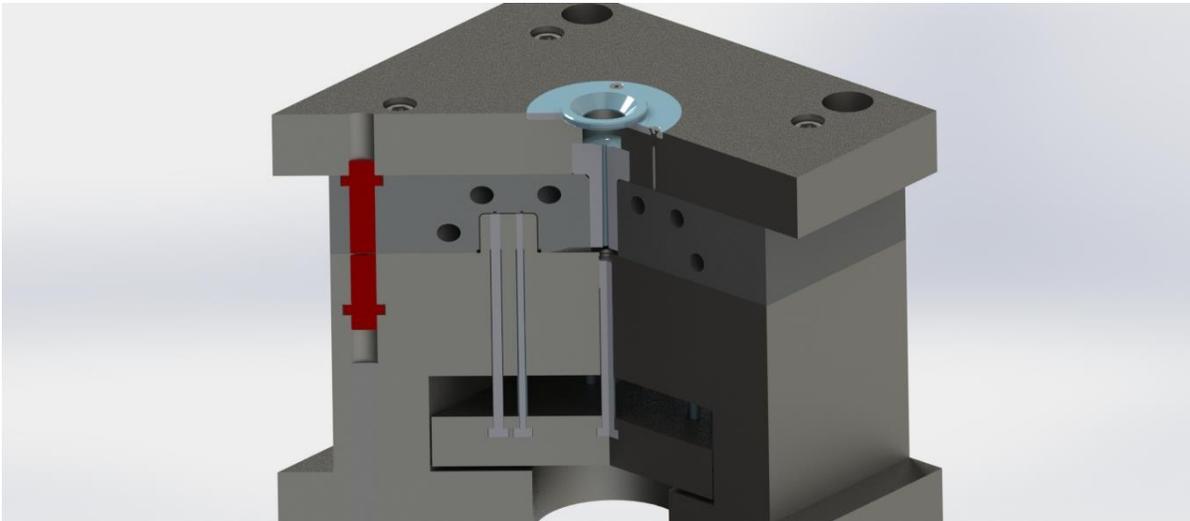


Figura 4.7 Sistema de extracción por expulsores

Cálculo del área proyectada de las piezas y de los canales de alimentación

$$A_p = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

$$A_p = 4 \cdot \pi \cdot (19\text{mm})^2$$

$$A_p = 4536 \text{ mm}^2$$

$$A_c = 4 \cdot A \cdot l$$

(3.2)

$$A_c = 4 \cdot 6\text{mm} \cdot 36\text{mm}$$

$$A_c = 864 \text{ mm}^2$$

A: Ancho del canal

l: Longitud del canal

Cálculo de la fuerza de cierre

Según la expresión 2.9

$$\text{Área máxima utilizable} = \frac{\text{Fuerza de Cierre}}{\text{Presión máxima de inyección}}$$

Según la expresión 2.10

$$\text{Área máxima utilizable} = 4536 \text{ mm}^2 + 846 \text{ mm}^2$$

$$\text{Área máxima utilizable} = AP = 5400 \text{ mm}^2$$

$$\text{Fuerza de Cierre} = \text{Área máxima utilizable} \cdot \text{Presión máxima de inyección}$$

$$\text{Fuerza de Cierre} = 0.005400\text{m}^2 \cdot 150000000\text{Pa}$$

$$\text{Fuerza de Cierre} = 810000 \text{ N} = 81\text{Ton}$$

Comprobación

Fuerza de cierre de la máquina: 85 Ton.

F cierre calculada < F cierre máquina

81Ton < 85 Ton, por tanto la máquina garantiza el llenado de las cavidades sin que se abra el molde.

Cálculo del número de cavidades

Máquina inyectora: 85 Ton = 850000 N.

$$P_{im} = 25\text{Mpa}$$

$$AP = 5400 \text{ mm}^2$$

$$K_1 = 1.1 \text{ (para inyección lateral)}$$

$$K_2 = 1.1 \text{ (según Tabla 2.5)}$$

Volumen de inyección máximo de la máquina $V_{i_{m\acute{a}x}}=286 \text{ cm}^3$

Por capacidad de inyección

Según la expresión 2.7

$$N = \frac{V_{i_{m\acute{a}x}}}{V_p \cdot K_2}$$

$$N = \frac{286 \text{ cm}^3}{2.6 \text{ cm}^3 \cdot 1.1}$$

$N = 100$ cavidades

Por fuerza de cierre de la máquina

Según la expresión 2.8

$$N = \frac{F_c}{1.25 \cdot P_{im} \cdot K_1 \cdot AP}$$

$$N = \frac{850000}{1.25 \cdot 25 \cdot 1.1 \cdot 5400}$$

$N=5$ Cavidades

Se seleccionan cuatro cavidades, pues la máquina permite el llenado de las mismas sin problemas, y un número mayor de estas no sería económicamente factible.

Distribución de cavidades para el molde de la pieza prototipo

En la figura 4.8 se muestra la distribución de cavidades que se utiliza en el diseño del molde.

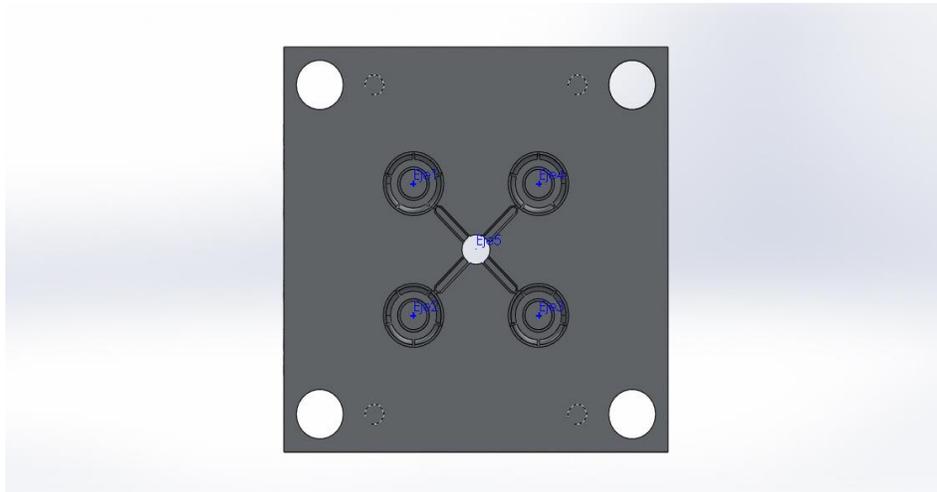


Figura 4.8: Distribución de cavidades empleada en el software SolidWorks

Se utiliza esta distribución para la optimización de las dimensiones del molde, además se permite el intercambio de la placa con un distribuidor de canal caliente.

Tiempo de llenado del molde

Según la figura 2.17 se determina un tiempo de llenado de 0.6 segundos.

Tiempo de pausa

Como el artículo es pequeño y la máquina de inyección es de 85 Ton se selecciona según la tabla 2.6 un tiempo de pausa de 4 segundos.

Sistema de enfriamiento

Se selecciona un sistema de enfriamiento en serie. El refrigerante a manipular va a ser agua. Los canales de refrigeración en la placa porta cavidad se observan en la figura 4.9

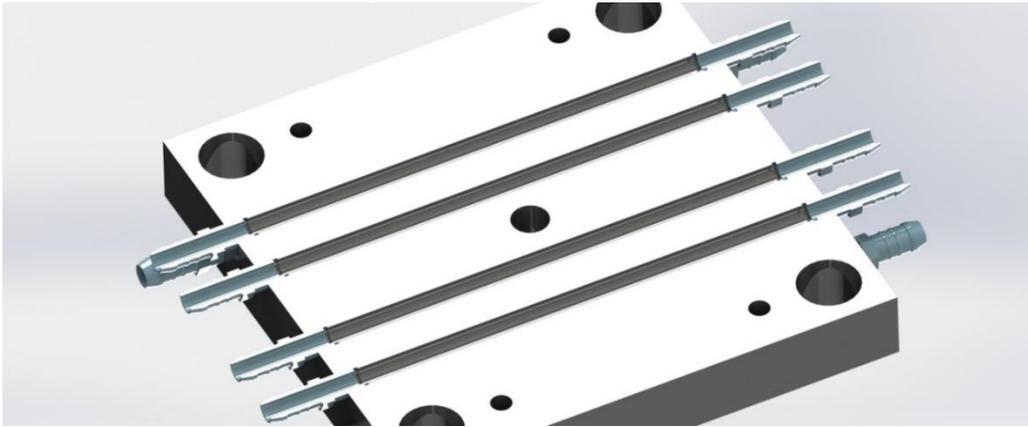


Figura 4.9: Canales de refrigeración

Cálculo del tiempo de enfriamiento

$$V = (TE - TWZ) / (TM - TWZ)$$

$$TM = 513.15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$TWZ = 313.15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$TE = 333.15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$V = 0.1$$

$$A = 0.95$$

$$a = 7.7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s} = 0.077 \text{ mm}^2$$

$$T_f = \frac{A \cdot S_z^2}{4 \cdot a}$$

$$T_f = \frac{0.95 \cdot 2.1^2}{4 \cdot 0.077}$$

$$T_f = 13 \text{ s}$$

Ciclo de moldeo

$$CM = T_f + T_p + T_i$$

$$CM = 13 + 4 + 0.6$$

$$CM = 18 \text{ segundos}$$

Cálculo de la capacidad de plastificación

$$C_p = \frac{P_m}{T_f}$$

$$C_p = \frac{2.4 \text{ g}}{13 \text{ s}}$$

$$C_p = 0.18 \text{ g/s}$$

Selección del tipo de molde

El portamolde que se utiliza es de dos placas. La fijación entre placas se realiza con tornillos allen.

Selección de los materiales del molde.

Una parte importante del diseño es la elección de los materiales. En la tabla 4.2 se hace un listado de los principales elementos del molde con su material correspondiente.

Tabla 4.2 Materiales para la construcción del molde

Elementos del molde	Material (Aceros)
Placa sujeción fija	AISI 45
Placa cavidad	9XBG
Placa porta machos	AISI 45
Placa intermedia	AISI 45
Regleta 1	AISI 45
Regleta 2	AISI 45
Placa sujeción móvil	AISI 45
Placa respaldo expulsores	AISI 45
Placa porta expulsores	AISI 45
Calzo para expulsión	X12M
Macho	AISI 45
Buje	AISI 20
Buje largo	AISI 20

Proyección del molde

El plano de ensamble del molde con su respectiva especificación técnica se encuentra en el anexo 10. En el anexo 11 y 12 se muestra el molde en tres dimensiones elaborado el software SolidWorks.

4.4.-Análisis económico de la producción de Moldes de Inyección

En el ámbito empresarial se hace necesario contar con herramientas que permitan la planeación de los recursos económicos (sus producciones, sus ingresos, costos, etc) de forma tal que dichos recursos sean aplicados en forma óptima, y así poder hacer frente a todos los compromisos económicos presentes y futuros, ciertos e imprecisos, que tengan las empresas, reduciendo riesgos e incrementando la rentabilidad (utilidades) de las mismas. Sin lugar a dudas la reproducción a escala de las economías se logra a partir de las inversiones. Desde el punto de vista financiero, una inversión es la asignación de recursos en el presente con el fin de obtener unos beneficios en el futuro (no sólo desembolsar una determinada cantidad de dinero sino también, el tiempo que alguien dedica a la universidad) y tienen como objetivo primordial satisfacer necesidades humanas a través de los bienes y servicios, por lo que siempre que se desee saciar alguna necesidad habrá que realizar una inversión, en este caso, la producción de moldes de inyección para la fabricación de piezas de plástico.

Económicamente hablando, cuando se desea evaluar la factibilidad de la producción de determinado bien (moldes) la función esencial de todo sistema económico - financiero consiste en garantizar que el margen necesario de utilidades sea capaz de justificar sus costos totales, ya sean directos e indirectos así como los gastos incurridos (fabricación, generales, de venta, etc). Por otra parte y a raíz de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución en su capítulo I dedicado al Modelo de Gestión Económica se plantea la imperante necesidad de incentivar aquellas inversiones que sustituyan importaciones al país, evitando así la millonaria erogación de recursos monetarios que Cuba destina cada año por este concepto.

En el análisis que se presenta en la investigación se puede concluir que la fabricación de moldes de inyección es aconsejable desde la arista económica, ya que sustituye importaciones cuyo monto asciende cada año desde los 20 000 hasta 400 000 euros. Con la propuesta de la fabricación interna de los moldes, el país y la entidad estarían

ahorrándose estos montos elevados que en muchas ocasiones se logran a partir de créditos con la entidad financiera del MINFAR denominada RAFIN o a partir de decisiones gubernamentales. Aunque no se logró acceder a datos exactos sobre la contabilidad de la entidad, sí se pudo conocer a partir de las fichas de costos de estas producciones propuestas, se esperan márgenes de ganancias que oscilan un 20% para las producciones destinadas a la economía y de un 10 a un 12% si el cliente es de FAR. Son estos márgenes de ganancias, los que permiten aseverar que la producción de dichos moldes es factible desde la arista económica ya que sus ingresos logran resarcir sus costos y aún deja un margen comercial beneficioso para la entidad.

4.5.-Conclusiones parciales

1. Se diseñó el molde en colada fría usando el software SolidWorks con sus respectivas especificaciones técnicas. No presenta canales de ventilación ya que a través del sistema de extracción que este caso es por expulsores cilíndricos permiten que el molde expulse los gases que se almacenan en el proceso de moldeo por lo que no es necesario diseñar dicho canal, esto no ocurre en otros casos puesto que utilizan otros sistemas de extracción.
2. Aunque no se logró acceder a datos exactos sobre la contabilidad de la entidad, sí se pudo conocer a partir de las fichas de costos de estas producciones propuestas, se esperan márgenes de ganancias que oscilan un 20% para las producciones destinadas a la economía y de un 10 a un 12% si el cliente es de FAR. Son estos márgenes de ganancias, los que permiten aseverar que la producción de dichos moldes es factible desde la arista económica ya que sus ingresos logran resarcir sus costos y aún deja un margen comercial beneficioso para la entidad.

CONCLUSIONES GENERALES

CONCLUSIONES GENERALES

1. En la búsqueda bibliográfica se pudo indagar en algunos temas referidos al diseño de moldes por inyección de plásticos. Dentro de la revisión de la bibliografía se investigó sobre las diferentes variantes de moldeo, los programas informáticos más empleados y los materiales plásticos más utilizados con respecto al diseño. Existen varios tipos de variantes de moldeo, ellas son: inyección convencional, inyección de múltiples componentes, inyección asistida por gas, moldeo por inyección asistida por agua, moldeo por coinyección, moldeo por microinyección. Con respecto a los programas informáticos se pueden destacar el SolidWorks y Autodesk Inventor por sus excelentes características técnicas. En relación a materiales plásticos más usados podemos mencionar los que están presentes en la industria de nuestro país, los mismos son: PEAD, PEBD, PP, PS, PA y el PVC_h con sus diferentes variantes.
2. Dentro de los aspectos generales para el diseño de moldes de inyección debemos destacar: la selección del tipo de inyectora, la entrada del material, sistema de alimentación, número de cavidades, canales de ventilación, sistema de enfriamiento, mecanismo de extracción. Estos aspectos constituyen forman parte del procedimiento a seguir para realizar esta tarea.
3. Se obtuvo el diseño del molde en colada fría con la ayuda del software Autodesk Inventor con sus respectivas especificaciones técnicas. Además se determinó los diferentes parámetros tecnológicos, un ejemplo de esto es el número de cavidades. Se obtiene un resultado y se procede a escoger un valor menor a este resultado por cuestiones económicas.
4. Se propuso un sistema de colada caliente para ambos diseños. En el catálogo de colada caliente se seleccionó un distribuidor de cuatro vías con el código FMX 10100 y una boquilla de serie 50 y un código BIP05042.
5. Se diseñó el molde en colada fría usando software SolidWorks con sus respectivas especificaciones técnicas. Este molde no presenta canales de ventilación ya que a través del sistema de extracción que este caso es por expulsores cilíndricos permiten que el molde expulse los gases.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

1. Utilizar otros programas de diseño, que a parte del Autodesk Inventor y el SolidWorks realicen determinadas funciones que faciliten el diseño de moldes.
2. Optimizar el diseño de cada molde.
3. Realizar el diseño de los moldes por inyección en colada caliente debido a las numerosas ventajas de este proceso.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. García Gutiérrez, D. and C.A. Longini Oñate, Sistemas de inyección con colada caliente aplicado a la industria del plástico como herramienta de competitividad. 2006, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. p. 139.
2. Mariano. Inyección de materiales plásticos I. 2011; Available from: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-i.html>.
3. Facundo, P. Moldeo de plastico: su evolucion e importancia hoy Available from: <http://guidewhois.com/2011/04/inyeccion-plastico-su-evolucion-e-importancia-hoy/>.
4. Juárez, D., BALART, R., PEYDRÓ, M. A. & FERRÁNDIZ, S Estudio y análisis del moldeo por inyección de materiales poliméros termoplásticos. 2012. 16.
5. MAQUINARIA: La tecnología de moldeo por inyección está en vanguardia 2005.
6. Tecnología del plástico, Inyección: Eficiencia y calidad de la industria. 2014. 29, 94.
7. Mengues, G. and M. G., Moldes por inyección de plásticos. Pueblo y Educación ed. 1989, La Habana.
8. Moldeo por inyección, Lección 11.
9. García Martínez, Á.R., Diseño de moldes para engranajes plásticos de dientes rectos asimétricos. , in Departamento de Ingeniería Mecánica. 2011, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara. p. 176.
10. Beltrán, M. and A. Marcilla Tecnología de Polimeros.
11. Díaz Rodríguez, J., Nueva metodología para el diseño de moldes por inyección. 2006, Universidad Central "Marta Abreu " de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara. p. 80.
12. <http://www.wikipedia.com>.
13. SolidWorKs Plastics, Optimización del diseño de las piezas de plástico y de los moldes de inyección. 2014. 4.
14. Paramio Rubio, M.Á., Aplicación de los sistemas de diseño asistido por ordenador al diseño automático de moldes de inyección. 2000, Universidad Politécnica de Madrid. p. 231.

15. Puig Castro, L. Los plásticos en el ámbito mundial. 2011; Available from: <https://airdplastico.wordpress.com/2011/06/02/los-plasticos-en-el-ambito-mundial/>.
16. Ortega Maya, E., Diseño de moldes de plástico con Ingeniería concurrente. 2007, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, DF, Mexico. p. 117.
17. Orrantia Martín, D., Diseño de moldes de inyección de aluminio. 2013, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara. p. 87.
18. Rol, C. Diseño de un molde de inyección de plásticos 91.
19. Hans., G., Moldes de inyección para plásticos, 100 casos prácticos, L. E. and U. P., Editors. 1992.
20. Nunes Guía del curso, Diseño de moldes de inyección de Plástico.
21. Sabogal, J.C. Diseño de la refrigeración en moldes de inyección. 2013.
22. Sánchez Álvarez, S. Diseño de un molde para inyección de piezas de plástico. 2012.
23. Catalogo de Colada Caliente, i.S.A. Polimod, Editor. 2015.
24. Materiales utilizados en moldes para plásticos. NC 09- 01-101. 2001.Cuba.
25. Tornillos Allen. NC: 06-52. Cuba.
26. Pin guía. NC: 06-18. 2001.Cuba.
27. CANDAL, M. V., ROMERO, J., MÜLLER-KARGER, C. & PELLICCIONI, O. 2010. Análisis Numérico en el diseño de un molde para prótesis de pie empleando herramientas de diseño (CAD) e Ingeniería (CAE) asistidas por computador. Available: [http://www.researchgate.net/profile/Orlando_Pelliccioni_Monrroy/publication/236159794_Analisis_numrico_en_el_diseo_de_un_molde_para_prtesis_de_pie_employando_herramientas_de_diseo_\(CAD\)_e_ingeniera_\(CAE\)_asistidas_por_computador/links/00b7d516882d755262000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Orlando_Pelliccioni_Monrroy/publication/236159794_Analisis_numrico_en_el_diseo_de_un_molde_para_prtesis_de_pie_employando_herramientas_de_diseo_(CAD)_e_ingeniera_(CAE)_asistidas_por_computador/links/00b7d516882d755262000000.pdf).
28. FACUNDO, P. Moldeo de plástico: su evolución e importancia hoy [Online]. <http://guidewhois.com/2011/04/inyeccion-plastico-su-evolucion-e-importancia-hoy/>.
29. GROOVER, M. P. 1997. Fundamentos de la Manufactura Moderna, México.

30. ARAMILLO CADENA, S. C. 2012. Fabricación de partes genéricas de plástico para la industria automotriz bajo sistema de moldeo por inyección. Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniería en Negocios Internacionales, Universidad Internacional del Ecuador.
31. GIRONÉS COMPANY, J. 2002. Esfuerzos en moldes de inyección.
32. GONZÁLEZ GÓMEZ, M. Á. Diseño, validación y fabricación de un aro protector para envases metálicos mediante el empleo de las tecnologías CAD/CAM/CAE y Rapid Prototyping
33. 2015. Características de Simulation Moldflow
<http://www.autodesk.es/products/simulation/features/simulation-moldflow/all/list-view>.
34. 2014. Tecnología del plástico, Inyección: Eficiencia y calidad de la industria. 29.:
<http://2014www.plastico.com>.
35. 2005. Design Guide Performance And Value With Engineering Plastics:
<http://www.dsmep.com>.
36. ROSELL CABAÑES, S. 2010. Diseño de un molde para la inyección de una pieza de plástico1
[.https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9055/1/Memoria.pdf](https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9055/1/Memoria.pdf).
37. CANDAL, M. V., ROMERO, J., MÜLLER-KARGER, C. & PELLICIONI, O. 2010. Análisis Numérico en el diseño de un molde para prótesis de pie empleando herramientas de diseño (CAD) e Ingeniería (CAE) asistidas por computador.
[http://www.researchgate.net/profile/Orlando_Pelliccioni_Monroy/publication/236159794_Analisis_numrico_en_el_diseo_de_un_molde_para_prtesis_de_pie_emplendo_herramientas_de_diseo_\(CAD\)_e_ingeniera_\(CAE\)_asistidas_por_computador/links/00b7d516882d755262000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Orlando_Pelliccioni_Monroy/publication/236159794_Analisis_numrico_en_el_diseo_de_un_molde_para_prtesis_de_pie_emplendo_herramientas_de_diseo_(CAD)_e_ingeniera_(CAE)_asistidas_por_computador/links/00b7d516882d755262000000.pdf).
38. SANTANA DE ALENCAR, H. 2002. MOLDES DE INJEÇÃO. In: PR, C. D. E. T. D. P. C. (ed.).
39. 2014. Tecnología del plástico, Inyección: Eficiencia y calidad de la industria. Vol 29. <http://2014www.plastico.com>.

ANEXOS

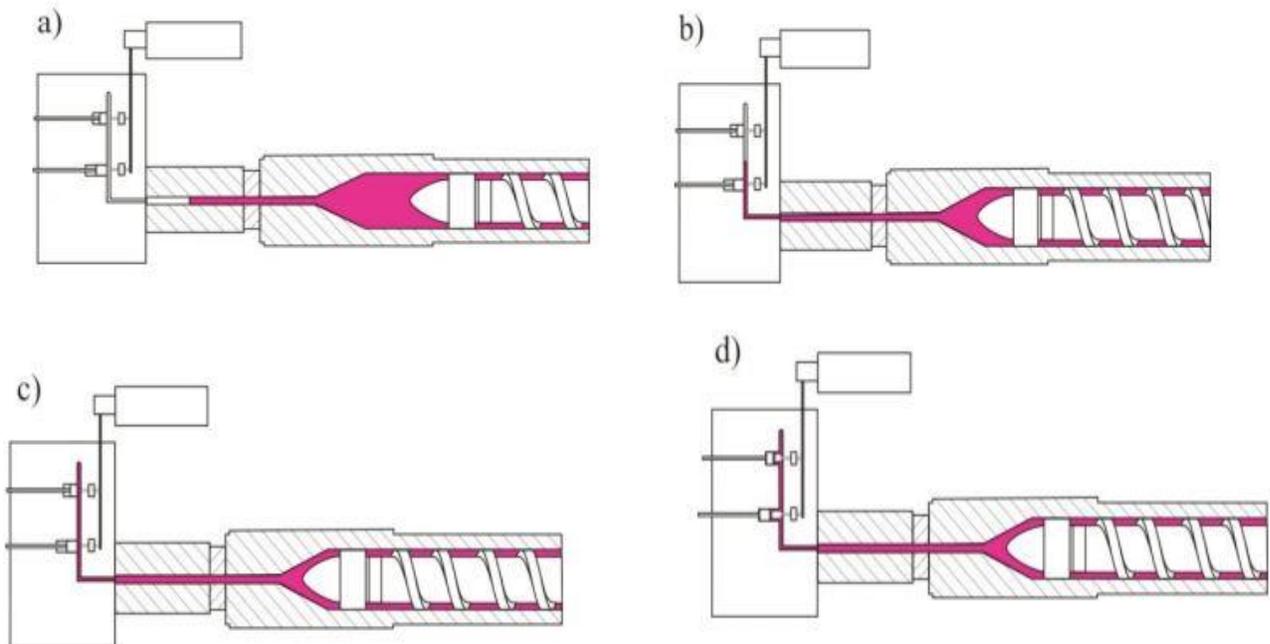
Anexo 1. Variantes de moldeo por inyección de termoplásticos.

Método de Moldeo	Breve descripción del moldeo	Ventajas	Desventajas
Inyección convencional	El proceso consiste en la inyección directa desde la cámara de plastificación, usando un sólo husillo. Utiliza un molde que puede ser de canal frío o caliente con uno o varios mecanismos extractores, de una o varias cavidades donde se moldea un componente con un sólo color.	Alta productividad y versatilidad	Grandes cantidades de desechos que en ocasiones es imposible reciclar
Moldeo por co-inyección	La coinyección consiste en el moldeo de dos componentes. A diferencia de otros tipos de procesos este se caracteriza por la posibilidad de encapsular el material del centro en el del exterior.	Se pueden obtener piezas con un alto valor estético lo que permite una mejor competitividad en los mercados. Permite el empleo de material reciclado unido al material virgen lo cual ayuda abaratar producciones.	La máquina tiene un costo superior entre un 50 y un 100% mayor que un equipo de moldeo de inyección convencional y además los moldes utilizados son extremadamente costosos
Moldeo por inyección de multicomponentes	Este tipo de moldeo constituye un sistema innovador pues combina varios componentes dentro del molde. Este proceso se basa en la transformación simultánea de materiales diferentes a través de varias boquillas. La adherencia entre dos materiales puede ser por vinculación mecánica, térmica, o química	Elimina la necesidad de ensamble secundario entre dos piezas, pues éstas se obtienen en una misma máquina de inyección y utilizando una sola moldeada, Esto permite reducir el costo tecnológico para determinados proyectos. Pueden utilizarse materiales con diferentes propiedades mecánicas en una	La desventaja de esta tecnología está dada por la inversión en un molde complejo y una máquina de inyección especial con unidades múltiples y sistemas de mandos especiales. Los procesos también requieren de moldes de alta complejidad

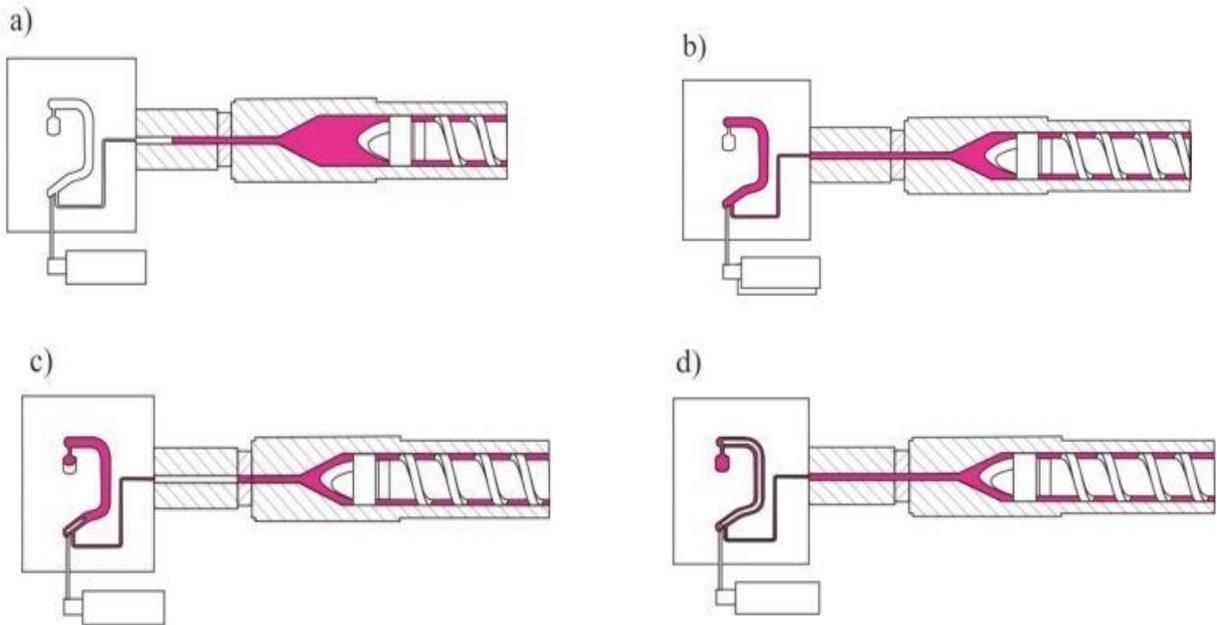
		misma moldeada para una misma pieza	
Moldeado por micro-Inyección.	<p>La Microinyección es utilizada para la obtención de piezas pequeñas. Debido a las características de estas piezas moldeadas requiere una máquina de moldeo especial y un equipo auxiliar que realice tareas tales como la regulación del volumen de inyección, extracción, orientación y empaquetamiento. Se han desarrollado varios sistemas para proveer el control dinámico de temperaturas en el molde deseado. Por ejemplo, el mando del proceso emplea dos circuitos de aceite a temperaturas diferentes que calientan y refrescan el molde al llenarse</p>	<p>Permite el moldeo de piezas que tienen rangos de tolerancias en el orden de micrómetros.</p>	<p>Debido a que las piezas pequeñas no pesan lo suficiente para registrarse en el sistema de mando de la máquina, algunos diseños usan los canales de alimentación sobredimensionados para que la máquina pueda precisar y monitorear la producción de las piezas. Bajo estas condiciones, estos conductos pueden constituir un 90% del peso del tiro total, lo cual trae consigo pérdidas considerables porque el material en la mayoría de los casos no se puede reciclar. El molde tiene que ser calentado a temperaturas mayores que la temperatura de fusión durante la inyección para prevenir la solidificación prematura lo cual lleva a la prolongación del tiempo de ciclo de moldeo</p>
Moldeado por inyección asistido por gas	<p>El proceso de moldeo por inyección asistido por gas consiste en una inyección parcial o casi total de la resina fundida a la cavidad del molde, seguido por una inyección de gas interna, casi siempre nitrógeno, en el centro del material inyectado a través de la boquilla directamente en la cavidad. El gas comprimido toma el camino de menor resistencia y fluye hacia el frente de la inyección donde la presión es más baja. Como resultado, el gas penetra y ahueca el plástico, las secciones gruesas de los canales de gas desplazan de sitio a la resina fundida. Este proceso es capaz de producir partes ligeras y rígidas que están libres de marcas y tienen menos tendencias a torcerse.</p>	<p>Se reducen las tensiones debido al moldeo. Mejora la apariencia de la superficie. Permite longitudes de flujo de material más largas. Se reduce el tiempo del ciclo. Se usan presiones de inyección bajas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Alabeo de la superficie. • El uso de moldes multicavidades lo cual dificulta los procesos de mantenimientos. • Burbujas interiores de las piezas moldeadas. • El aspecto de la parte moldeada depende del material. • Se obtienen espesores de pared no homogéneos. • Sólo se pueden obtener un tipo de pieza por moldes

<p>Moldeado por inyección asistido por agua.</p>	<p>El proceso consta de cinco pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La inyección del material fundido. 2. La inyección del agua. 3. La presión de agua. 4. La descarga de la presión de agua. 5. Desmoldeo. El proceso consiste en que el agua entra al molde antes del fin de la inyección, mientras se empuja el material hasta el final de la cavidad, seguidamente las válvulas cierran la fusión de la unidad de inyección y otro dispositivo de descarga se acciona permitiendo el drenaje de la pieza inyectada. 	<p>Reducción de los tiempos de enfriamiento.</p> <p>La producción de piezas con diámetros más grandes.</p> <p>Se pueden obtener piezas con espesores de pared más pequeños y menor peso con mayor volumen.</p> <p>Superficies internas con mejores acabados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se crean vacíos no uniformes en el interior de las piezas. • Dificultades para extraer el agua. • No puede usarse para todos los materiales
---	---	--	---

ANEXO 2. Moldeado por inyección asistido por gas



Inyección asistida por gas en el molde con rebosadero



Inyección asistida por gas en molde articulado.

Anexo 3. Valores de temperatura de procesamiento, temperatura de moldeo y temperatura.

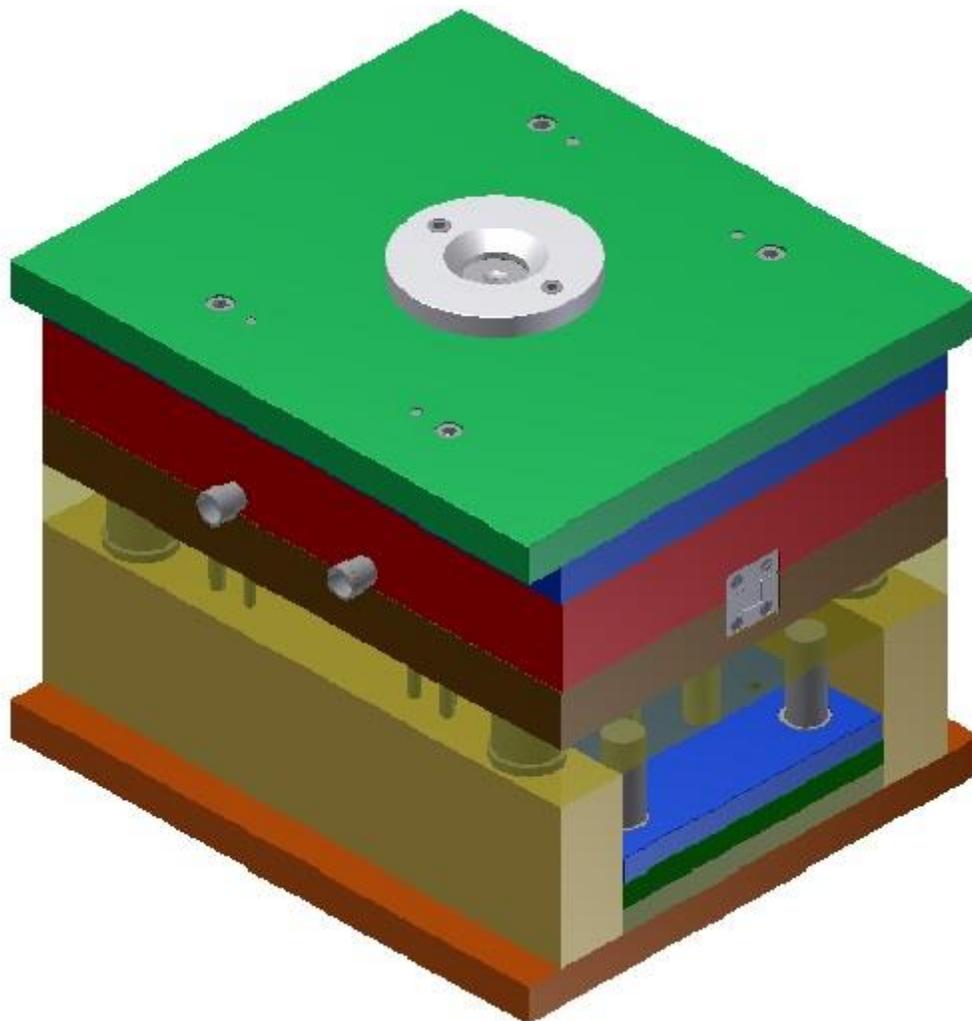
Plásticos	Temperatura de procesamiento TM en K			Temperatura del molde TWZ en K			Temperatura en el artículo TE en K			Conductividad Térmica (a) m ² /s
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	
	Temperatura para piezas no complejas, espesores de pared grueso, bebedero directo, recorridos cortos, pocas cavidades.	Temperatura para piezas de espesores de pared delgada de gran recorrido.	Temperatura para piezas que no se encuentran dentro de las especificaciones a y b.	Temperatura para recorridos cortos, espesores de pared gruesa, bebedero directo, pocas cavidades.	Temperaturas para grandes recorridos, espesores de pared delgado, diferentes espesores de pared, entradas complejas.	Temperatura para piezas que no se encuentran dentro de las especificaciones a y b.	gran espesor de pared que están todavía plastificando en su interior, pero con suficiente estabilidad en la	Temperatura para piezas de espesores de pared delgada las que se enfrían rápidamente.	Temperatura para piezas que no se encuentran dentro de las especificaciones a y b.	Conductividad térmica dada para los valores de aplicación TM y TE.
Polietileno (alta densidad)	463.15	543.15	513.15	313.15	323.15	313.15	363.15	343.15	333.15	7.7x10 ⁻⁸
Polietileno (baja densidad)	443.15	523.15	493.15	313.15	333.15	323.15	363.15	353.15	333.15	7.4x10 ⁻⁸
Poliestireno (alto impacto)	433.15	533.15	493.15	313.15	333.15	323.15	363.15	353.15	333.15	8.3x10 ⁻⁸
Poliestireno (uso general)	453.15	533.15	523.15	313.15	333.15	323.15	363.15	353.15	333.15	8.3x10 ⁻⁸
Poliamida	488.15	498.15	493.15	343.15	363.15	353.15	393.15	373.15	363.15	6.5x10 ⁻⁸
Policarbonato	543.15	593.15	573.15	363.15	393.15	373.15	413.15	403.15	393.15	5.8x10 ⁻⁸
Polipropileno	473.15	523.15	503.15	343.15	363.15	353.15	393.15	373.15	363.15	7.6x10 ⁻⁸
Polimetilmetacrilato	443.15	513.15	493.15	333.15	353.15	343.15	353.15	373.15	363.15	4.4x10 ⁻⁸
PVC (Rígido)	438.15	453.15	443.15	323.15	343.15	333.15	343.15	363.15	353.15	4.8x10 ⁻⁸

Anexo 6. Especificación Técnica del molde elaborada en Autodesk Inventor.

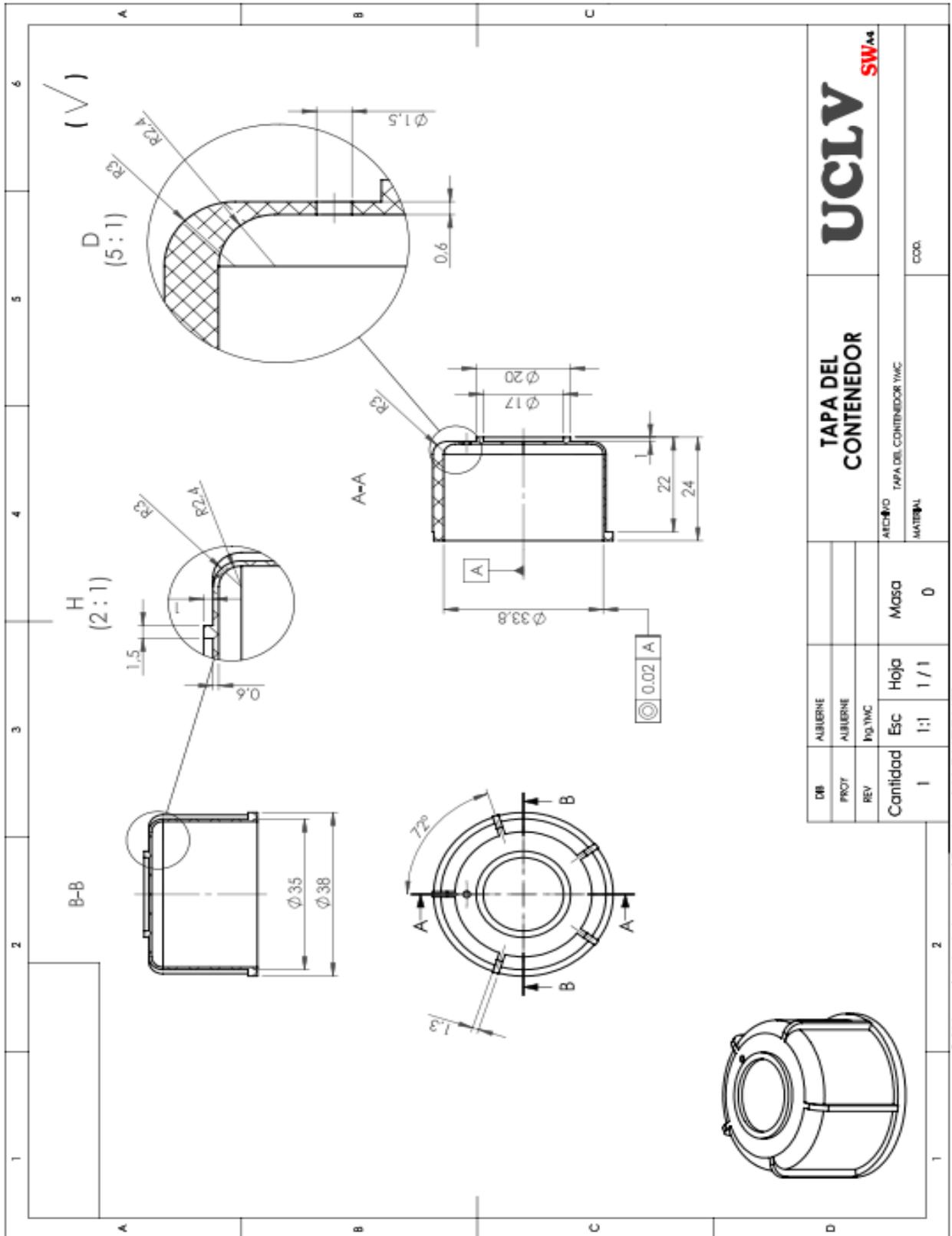
FORMATO	ZONA	POSICION	CODIGO	DENOMINACIÓN	CANTID.	OBSERV.
1	2	3	4	5	6	7
A2			M:CC-40-00PE	PLANO DE ENSAMBLE		
				<u>PIEZAS</u>		
A4		9	M:CC-40-01	CAMISA EXTRACTORA	4	
A4		17	M:CC-40-02	CENTRADOR LATERAL HEMBRA	2	
A4		18	M:CC-40-03	CENTRADOR LATERAL MACHO	2	
A4		16	M:CC-40-04	COLUMNA DEL SIST. EXTRACTOR	4	
A4		25	M:CC-40-05	COLUMNA DE RETORNO	4	
A3		2	M:CC-40-06	MACHO	4	
A3		1	M:CC-40-07	INSERTO CAVIDAD	4	
A3		3	M:CC-40-08	PLACA CALIENTE	1	
A3		14	M:CC-40-09	PLACA PORTA CAVIDAD	1	
A4		10	M:CC-40-10	PLACA PORTA EXTRACTORES	1	
A4		7	M:CC-40-11	PLACA PORTA MACHO	1	
A3		13	M:CC-40-12	PLACA RESPALDO	1	
A3		12	M:CC-40-13	PLACA RESPALDO 2	1	
A4		8	M:CC-40-14	PLACA RESPALDO EXTRACTORES	1	
A3		20	M:CC-40-15	PLACA SUJECIÓN FIJA	1	
A3		26	M:CC-40-16	PLACA SUJECIÓN MÓVIL	1	
A4		11	M:CC-40-17	SEPARADOR	2	
A4		4	M:CC-40-18	TAPÓN ROSCADO	2	
				<u>ARTICULOS NORMALIZADOS</u>		
		21		ANILLO DE CENTRAJE	1	
		22		BEBEDERO	1	
		24		BUJE PARA COLUMNA GUÍA	4	
		15		BUJE DEL SISTEMA EXTRACTOR	4	
		23		COLUMNA GUÍA	4	
					<u>UCLV</u>	
			MOLDE PARA EL CUERPO DEL CONTENEDOR		ETAPAS DE ELABORACIÓN	
					HOJA No	
			ESPECIFICACIÓN TÉCNICA		CANT-HOJ	
					M:CC40-00PE	

No. INV. DT:	ELABORÓ	YHDEZ	FIRMA	FECHA	
	REVISÓ	FSANTO			
	CONT. TEC.				
	CONT. NOR.				
	APROBÓ	FSANTO			

Anexo 8. Molde en 3D elaborado en Autodesk Inventor.

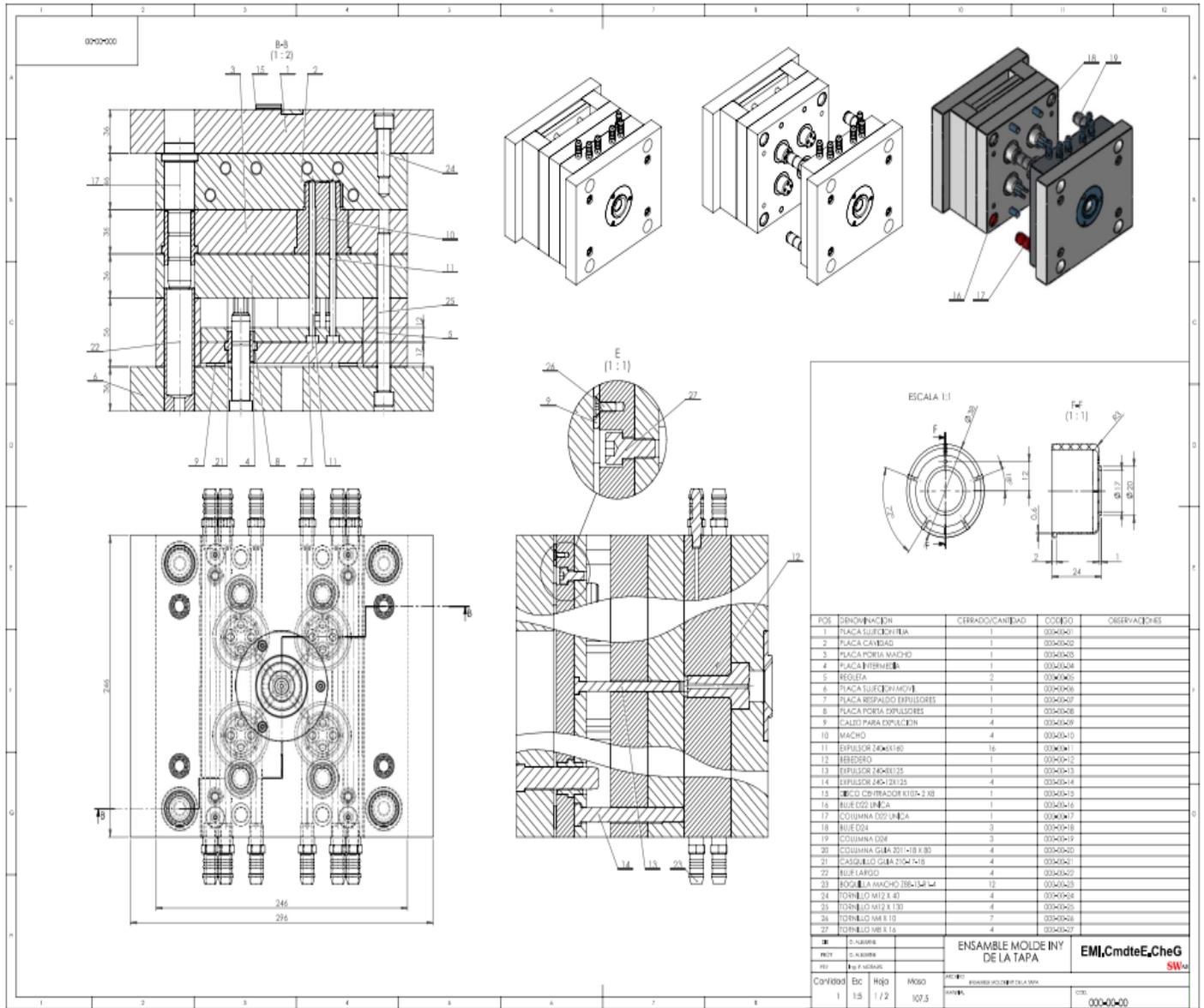


Anexo 9. Plano de pieza elabora en SolidWorks.

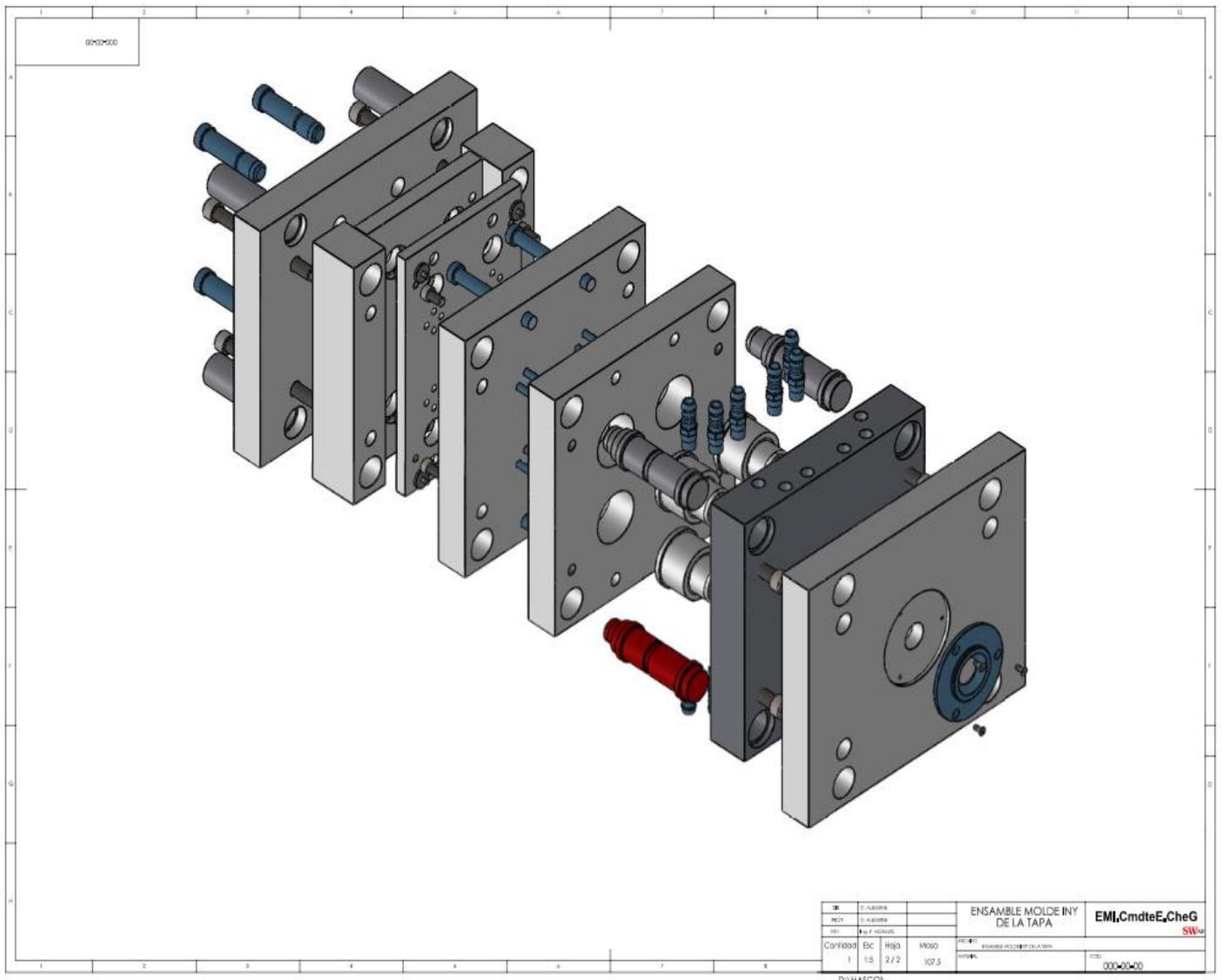


C:\Users\Administrador\Desktop\ALBUERNE\

Anexo 10. Plano de pieza elabora en SolidWorks.



Anexo 11: Explosión del molde en 3D



Anexo 12. Molde en 3D elaborado en SolidWorks.

