



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Metodología para el diseño de un molde para inyección de piezas de
plástico"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Hermes Francisco Sarango Bustos

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTOS

Dedico este proyecto a mis padres el Sr. Carlos Sarango y la Sra. Ada Bustos quienes me brindaron su confianza y apoyo a lo largo de mi vida y mi carrera.

A mi tío Ing. Eduardo Sarango, hermanos y demás familia por su apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de mi vida académica.

A mis tutores Jorge Luis Amaya Ph.D. y Andrés Rigáil Ph.D. que sin sus ayudas y conocimientos no hubiese sido posible realizar este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

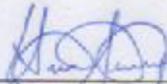
"La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Hermes Francisco Sarango Bustos

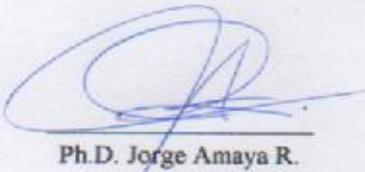
Ph.D. Jorge Amaya R.

Ph.D. Andrés Rigail C.

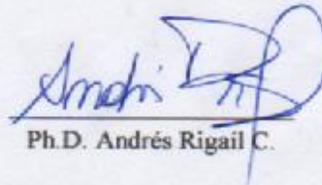
Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".



Hermes Sarango B.



Ph.D. Jorge Amaya R.



Ph.D. Andrés Rigail C.

RESUMEN

Hoy en día en el Ecuador no se tiene empresas que se dediquen a la producción de molde para inyección de piezas de plástico. Debido al incremento de productos elaborados con plásticos, las industrias del plástico incrementaron sus demandas, de esta forma también se incrementaron las importaciones de moldes que servirán para los procesos de inyección de las piezas de plástico.

El proyecto se enfoca en desarrollar un proceso generalizado para diseñar un molde para inyección de plástico, con la finalidad de que este proceso sea establecido en el país y se pueda producir moldes y reducir costos de importación e incrementar las utilidades.

Realizado el proyecto, se escogió una pieza (llavero ESPOL), para lo cual se utilizó como polímero (PP grado inyección), y un Acero P20 para el diseño del molde base, para el desarrollo de la metodología se utilizó como norma base la norma alemana DIN E 16750 "Moldes de inyección para materiales plásticos".

Como resultado se pudo obtener un esquema generalizado para el diseño de un molde de dos platos con apertura axial, tomando en consideración para su dimensionamiento el número de cavidades y el tamaño de la pieza que tendrá el molde, y cuyo desarrollo secuencial se muestra en el esquema propuesto en el capítulo 1.

En este proyecto se pudo establecer un esquema de diseño que nos permite fabricar (y diseñar) un molde para inyección de plástico; con la finalidad de que este procedimiento se pueda implementar en el país. Desarrollar este tipo de tecnologías no se implementa en el país, provocando altos costos en la importación de moldes para las empresas de plásticos, y por lo tanto altos costos de venta de productos plásticos para el público.

Palabras Clave: Molde, inyección, plástico, metodología, cavidades, costos, eyección, ciclo.

ABSTRACT

Today in Ecuador don't have companies dedicated to the production of injection mold plastic parts. Due to the increase of products made from plastics, plastic industries increased their demands, thus imports of molds used to injection processes plastic parts were also increased.

The project center on developing a general process for designing a mold for injection molding, in order that this process be established in the country and can produce molds and reduce import costs and increase benefit.

Developed the project, a piece (Key ESPOL), for which was used as polymer (PP injection grade), and a P20 steel for mold design basis for the development of the methodology was used as base standard German standard (DIN E 16750) "injection molds for plastics".

As a result, there could be obtained a generalized scheme for the design of a mold of two plates with axial opening, taking into account for dimensioning the number of cavities and the size of the piece that will mold, and whose sequential development shown in Chapter 1 proposed scheme.

This project could establish a design scheme that allows us to manufacture (and design) a mold for injection molding; in order that this procedure can be implemented in the country. To develop this type of technology is not implemented in the country, causing higher costs on imported molds for plastics companies, and therefore higher costs to sell plastic products to the public.

Keywords: *Mold, injection plastic, methodology, cavities, costs, ejection system, cycle.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	X
SIMBOLOGÍA.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE PLANOS.....	XV

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3. Marco teórico.....	2
1.3.1 Descripción del proceso de moldeo por inyección.....	3
1.3.2 Funcionamiento del molde de inyección.....	6
1.3.3 Sistema de alimentación de flujo de material.....	7
1.3.4 Tipos de moldes de inyección.....	7
1.3.5 Tipos de materiales que se pueden utilizar para un molde.....	10
1.3.6 Tipos de polipropilenos que pueden utilizarse para moldeo de la pieza..	13

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	16
2.1 Selección de la tecnología.....	16
2.2 Selección del polímero a utilizar para la pieza.....	17
2.3 Procedimiento esquemático del proceso de diseño.....	18
2.4 Diseño para el moldeo por inyección.....	19
2.4.1 Espesor uniforme de la pared.....	19
2.4.2 Diseño de rejillas.....	20
2.4.3 Diseño de esquinas.....	20
2.4.4 Acabado superficial y Texturas.....	21
2.5 Dimensionamiento de la pieza a fabricar.....	21

2.6	Diseño del sistema de enfriamiento.....	22
2.6.1	Objetivos a cumplir.....	22
2.6.2	Proceso de diseño del sistema de enfriamiento.....	23
2.6.2.1	Calcular el tiempo de enfriamiento requerido.....	23
2.6.2.2	Evaluación del calor requerido a transferir.....	24
2.6.2.3	Caudal de agua del refrigerante.....	24
2.6.2.4	Determinación del diámetro de los ductos de enfriamiento.....	25
2.6.3	Diseño del sistema de enfriamiento.....	26
2.6.3.1	Líneas de enfriamiento en redes.....	26
2.6.3.2	Insertos de enfriamiento.....	27
2.6.3.3	Enfriamiento de conformación.....	27
2.6.3.4	Insertos de alta conductividad.....	28
2.6.3.5	Enfriamiento de núcleos delgados.....	28
2.6.3.6	Selección de la tecnología a utilizarse en el sistema.....	28
2.7	Diseño dimensional del molde.....	29
2.7.1	Determinación de la dirección de apertura del molde.....	29
2.7.2	Dimensión del largo de la placa.....	30
2.7.3	Dimensiones de altura y ancho de la placa.....	30
2.7.4	Selección del molde base.....	31
2.7.4.1	Diseño de cavidades.....	31
2.7.4.2	Dimensionamiento del molde base.....	32
2.7.5	Selección del material del molde.....	32
2.8	Análisis y Diseño de la cavidad de relleno.....	33
2.8.1	Objetivos de relleno de la cavidad.....	33
2.8.1.1	Llenado completo de cavidades del molde.....	33
2.8.1.2	Evitar el llenado irregular o sobre-embalaje.....	34
2.8.1.3	Controlar el flujo de fusión.....	34
2.8.2	Viscosidad del flujo.....	35
2.8.2.1	Tensión de corte, velocidad de cizallamiento, y la viscosidad.....	35
2.8.2.2	Caída de presión.....	35
2.8.3	Análisis y diseño de la cavidad de relleno.....	36
2.8.3.1	Estimación de las condiciones de transformación.....	36
2.8.3.2	Estimación de la presión de llenado.....	37
2.8.3.3	Estimación del tonelaje de cierre.....	37

2.8.3.4 Predicción de patrones de llenado.....	38
2.8.3.5 Diseño de Líderes de flujo.....	38
2.9 Diseño del sistema de alimentación.....	39
2.9.1 Objetivos a cumplir en el diseño del sistema de alimentación.....	39
2.9.2 Tipos de sistemas de alimentación.....	39
2.9.2.1 Molde de dos platos.....	39
2.9.2.2 Molde de tres Platos.....	41
2.9.2.3 Molde de colada caliente.....	42
2.9.3 Análisis del sistema de alimentación.....	42
2.9.3.1 Determinación del tipo de sistema de alimentación.....	43
2.9.3.2 Determinación de la distribución del sistema de alimentación.....	43
2.9.3.3 Estimación de la caída de presión.....	44
2.9.3.4 Cálculo del volumen de recorrido.....	45
2.9.3.5 Estimación de tiempo de permanencia.....	46
2.10 Diseño de entrada de material.....	46
2.10.1 Objetivos de diseño de entrada de material.....	46
2.10.2 Diseños comunes de entradas.....	47
2.10.2.1 Entrada de bebedero.....	47
2.10.2.2 Entrada pin - point.....	47
2.10.2.3 Entrada de borde.....	48
2.10.2.4 Entrada de pestaña.....	48
2.10.2.5 Entrada ventilador.....	49
2.10.2.6 Entrada luz/diagrama.....	49
2.10.2.7 Entrada de túnel.....	50
2.10.2.8 Entrada térmica.....	50
2.10.2.9 Entrada de válvula.....	51
2.10.3 Diseño del proceso de apertura de puerta.....	51
2.10.3.1 Determinar el tipo de puerta.....	51
2.11 Diseño para el desfogue de gases.....	52
2.11.1 Objetivos de diseño para el desfogue de gases.....	52
2.11.2 Análisis del desfogue de gases.....	52
2.11.2.1 Estimación del desplazamiento de aire.....	52
2.11.2.2 Identificación del número y ubicación de los respiraderos.....	52
2.11.2.3 Especificación de las dimensiones del respiradero.....	53

2.11.3	Diseño del respiradero.....	53
2.11.3.1	Respiradero en plano de separación.....	53
2.11.3.2	Orificios de ventilación alrededor de pines eyectores.....	54
2.11.3.3	Respiradero de bolsillo.....	54
2.12	Contracciones y curvados.....	55
2.12.1	Análisis de contracción.....	56
2.12.1.1	Condiciones del Proceso de Estimación.....	56
2.12.1.2	Recomendaciones al final de la contracción.....	56
2.12.1.3	Diseño del molde “acero seguro”.....	56
2.12.1.4	Dependencia de Procesamiento.....	57
2.12.1.5	Efectos de relleno.....	57
2.12.2	Deformaciones.....	57
2.12.2.1	Fuentes de las deformaciones.....	57
2.12.2.2	Estrategias para evitar la deformación.....	58
2.13	Diseño del sistema eyector.....	59
2.13.1	Objetivos del diseño del sistema eyector.....	59
2.13.2	Proceso de diseño del sistema eyector.....	60
2.13.2.1	Identificar las superficies de separación del molde.....	60
2.13.2.2	Determinación de las fuerzas de eyección.....	60
2.13.2.3	Determinar el área y perímetro del eyector.....	61
2.13.2.4	Especificación del tipo, número y tamaño de los eyectores.....	62
2.13.2.5	Diseño de eyectores.....	62
2.13.3	Análisis y diseño del pin del sistema eyector.....	63
2.13.3.1	Cuchillas del eyector.....	63
2.13.3.2	Manguito del eyector.....	64
2.13.3.3	Placas desmoldeadoras.....	65
2.13.3.4	Deformación elástica alrededor de las entalladuras.....	65
2.14	Diseño del sistema estructural.....	66
2.14.1	Objetivos del Diseño Estructural Sistema.....	66
2.14.2	Análisis y Diseño de Placas.....	66
2.14.2.1	Placa de compresión.....	66
2.14.2.2	Pilares de apoyo.....	67
2.14.2.3	Enclavamientos.....	68
2.14.2.4	Concentradores de esfuerzos.....	69

2.14.3 Sujetadores.....	69
2.14.3.1 Adaptador.....	69
2.14.3.2 Tornillos de cabeza hueca.....	70
2.14.3.3 Pasadores.....	71

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS.....	72
3.1 Selección del tipo de molde.....	72
3.1.1 Normas para diseño de moldes de inyección.....	72
3.2 Selección del tipo de polímero.....	72
3.2.1 Normas para diseño de llaveros de polipropileno.....	73
3.3 Estimación de costos del molde.....	73
3.3.1 Controladores de costos para piezas moldeadas.....	73
3.3.2 Efecto por la cantidad de producción.....	73
3.3.3 Análisis del punto de equilibrio.....	74
3.3.4 Estimación de costos del molde.....	75
3.3.5 Estimación de costos por cavidad.....	75
3.3.6 Costos de conjunto de cavidades.....	76
3.3.7 Costos de materiales por cavidad.....	76
3.3.8 Costos de mecanizado de la cavidad.....	77
3.3.9 Costos de acabados superficiales de las cavidades.....	78
3.3.10 Estimación de costos del molde base.....	78
3.3.11 Estimación de costos de la pieza.....	79
3.3.12 Costo de los gastos de mantenimiento del molde por pieza.....	80
3.3.13 Costo del material por pieza.....	80
3.3.14 Costo del proceso por pieza.....	81
3.3.15 Rendimiento del proceso.....	82
3.4 Selección del tipo de sistema de enfriamiento.....	82
3.5 Dimensiones del molde.....	82
3.6 Fuerza de cierre.....	82
3.7 Sistema de alimentación.....	83
3.8 Diseño de desfogue de gases.....	83
3.9 Diseño de eyectores.....	83
3.10 Simulación del llenado de las cavidades del molde.....	83

3.10.1 Simulación en Moldflow.....	83
CAPÍTULO 4	
4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	85
4.1. Conclusiones.....	85
4.2. Recomendaciones.....	86
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	
PLANOS ESQUEMÁTICOS	

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
AISI	American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero)
HRC	Dureza Rockwell C
PP	Polipropileno
BTU	Unidad Inglesa Térmica (British thermal unit)
SLS	Sinterización selectiva por láser
DIN	Organismo Nacional de Normalización de Alemania
CEN	Comité Europeo de Normalización
ISO	Organización Internacional de Normalización

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
C	Carbono
GPa	Giga Pascal
Psi	Libra-fuerza por pulgada cuadrada
Kg	Kilogramo
m ³	Metros cúbicos
lb	Libras
in ³	Pulgadas cúbicas
W	Watts
m	Metro
°K	Grados Kelvin
hr	Hora
ft	Pie
°F	Grados Fahrenheit
Si	Silicio
Mn	Manganeso
Cr	Cromo
Mo	Molibdeno
g	Gramo
cm ³	Centímetros cúbicos
J	Joules
MPa	Mega Pascales
°C	Grados Centígrados
mm ³	Milímetros cúbicos
α	Coeficiente de difusividad térmica
K	Coeficiente de conductividad térmica
ρ	Densidad
C _p	Calor específico
seg	Segundo
Re	Número de Reynolds
n	Índice de la ley de potencia
s	Contracción

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Descripción del proceso de moldeo por inyección.....	4
Figura 1.2. Vista de un molde de dos placas de cierre.....	6
Figura 1.3. Vista de moldeo expulsado del molde de inyección.....	7
Figura 1.4. Vistas de sección de un molde de dos placas.....	8
Figura 1.5. Sección de un molde de tres placas abierta.....	9
Figura 1.6. Sección de molde de canal caliente.....	10
Figura 2.1. Diagrama de flujo del proceso de diseño.....	18
Figura 2.2. Diseños de espesores de pared.....	20
Figura 2.3. Diseño eficaz de rejilla.....	20
Figura 2.4. Diseño 2D de la pieza.....	22
Figura 2.5. Diseño 3D de la pieza.....	22
Figura 2.6. Trazado de líneas en serie y en paralelo.....	27
Figura 2.7. Inserto central de bisel con enfriamiento fresado.....	27
Figura 2.8. Inserto de núcleo con las líneas enfriamiento de conformación.....	28
Figura 2.9. Apertura axial y radial del molde.....	29
Figura 2.10. Dibujo esquemático del largo de la placa.....	30
Figura 2.11. Asignación de altura y ancho de la placa.....	31
Figura 2.12. Diseño de cavidades en línea, rejilla, circular, híbrido.....	31
Figura 2.13. Flujo de material en circulación.....	34
Figura 2.14. Flujo entre dos placas paralelas.....	35
Figura 2.15. Efecto de la temperatura sobre la viscosidad.....	36
Figura 2.16. Dirección de flujo del material plastificado.....	38
Figura 2.17. Sección isométrica del molde de dos placas.....	40
Figura 2.18. Moldeo de dos cavidad con corredores y bebedero (colado).....	40
Figura 2.19. Moldeo de ocho cavidad con corredores y bebedero (colado).....	40
Figura 2.20. Sección isométrica del molde de tres placas.....	41
Figura 2.21. Sección isométrica del molde de tres placas.....	41
Figura 2.22. Sección isométrica del molde de colada caliente.....	42
Figura 2.23. Diseño de un sistema de canal en series.....	44
Figura 2.24. Diseño de un sistema de canal ramificado, radial, personalizado.....	44
Figura 2.25. Diseño de entrada de bebedero.....	47
Figura 2.26. Diseño de entrada pin - point.....	47

Figura 2.27. Diseño de entrada de borde.....	48
Figura 2.28. Diseño de entrada de pestaña.....	49
Figura 2.29. Diseño de entrada ventilador.....	49
Figura 2.30. Diseño de entrada de luz.....	50
Figura 2.31. Diseño de entrada de túnel.....	50
Figura 2.32. Diseño de entrada térmica.....	51
Figura 2.33. Diseño de entrada de válvula.....	51
Figura 2.34. Diseño de respiradero en plano de separación.....	53
Figura 2.35. Diseño de respiradero alrededor de pines eyectores.....	54
Figura 2.36. Diseño de Respiradero de bolsillo.....	54
Figura 2.37. Efecto de las condiciones de procesamiento sobre la contracción.....	57
Figura 2.38. Deformación debido al diferencial de contracción a través de espesor...58	
Figura 2.39. Vista lateral del molde con eyectores accionados.....	59
Figura 2.40. Esfuerzos de compresión y de cizallamiento en pin de expulsión.....	61
Figura 2.41. Pin de expulsión alejado de la cavidad.....	62
Figura 2.42. Pines situado cerca de las paredes laterales de la cavidad.....	63
Figura 2.43. Pines situado debajo de las pistas de expulsión.....	63
Figura 2.44. Pines torneados situados en las paredes laterales.....	63
Figura 2.45. Diseño de una cuchilla del eyector.....	64
Figura 2.46. Diseño de un manguito de eyector.....	65
Figura 2.47. Diseño de una placa desmoldeadora.....	65
Figura 2.48. Flujo de tensiones durante el moldeo.....	66
Figura 2.49. Diseño típico del molde con el pilar de apoyo.....	67
Figura 2.50. Superposición de compresión y flexión.....	67
Figura 2.51. Distribución de cargas de compresión y flexión.....	68
Figura 2.52. Enclavamientos rectangulares y redondos.....	68
Figura 2.53. Vista proyectada de enclavamiento y la cavidad.....	69
Figura 2.54. Localización de interferencias para los adaptadores.....	70
Figura 2.55. Tornillos Allen.....	70
Figura 2.56. Diagrama de distribución de los tornillos Allen.....	71
Figura 2.54. Diseño de espiga de localización típica.....	71
Figura 3.1. Simulación 1 de inyección.....	84
Figura 3.2. Simulación 2 de inyección.....	84
Figura 3.3. Simulación 3 de inyección.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de Sistemas.....	16
Tabla 2. Matriz de decisión para el tipo de molde.....	17
Tabla 3. Tabla de comparación de polímeros.....	17
Tabla 4. Matriz de decisión de polímeros.....	18
Tabla 5. Ejemplos de texturas.....	21
Tabla 6. Especificaciones de tubos.....	26
Tabla 7. Opciones de enfriamiento del núcleo Delgado.....	28
Tabla 8. Tabla de comparación de materiales.....	32
Tabla 9. Matriz de decisión de materiales.....	33
Tabla 10. Rango de velocidades de cizallamiento.....	35
Tabla 11. Tipos de sistemas de alimentación y sus propiedades.....	43
Tabla 12. Tipos y propiedades de entrada	52
Tabla 13. Densidad y CET para rellenos comunes.....	57
Tabla 14. Normas DIN para moldes de inyección.....	72
Tabla 15. Datos de costos de cantidades bajas y altas de producción.....	74
Tabla 16. Valores de factores de descuento.....	75
Tabla 17. Valores de factores de complejidad por diseño.....	78
Tabla 18. Valores de factores de mecanizado.....	78
Tabla 19. Valores de factores de mantenimiento.....	80
Tabla 20. Valores de factores de desperdicio.....	81
Tabla 21. Tabla de rendimientos.....	82

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Molde para inyección de plástico de dos platos y 4 cavidades
- PLANO 2 Disco centrador
- PLANO 3 Placa de fijación 1
- PLANO 4 Placa A
- PLANO 5 Placa B
- PLANO 6 Placa intermedia
- PLANO 7 Bloques montantes x2
- PLANO 8 Placa eyectora 2
- PLANO 9 Placa eyectora 1
- PLANO 10 Placa de fijación 2
- PLANO 11 Pernos allen M6 (1)x8
- PLANO 12 Pernos allen M6 (2)x8
- PLANO 13 Pines eyectores x4
- PLANO 14 Pernos allen M6 (3)x4
- PLANO 15 Pilares de apoyo x4
- PLANO 16 Pernos allen M4 x2
- PLANO 17 Placa centradora
- PLANO 18 Pieza inyectada x4
- PLANO 19 Pieza fabricada por ciclo

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema.

El estudio se enfoca en el proceso de inyección específicamente en el diseño y fabricación de un molde de inyección para la producción en serie de accesorios de polímeros de una figura previamente determinada.

En la industria del plástico, existen diferentes formas de fabricación de piezas plásticas, cada proceso está restringido por la forma final que tendrá la pieza, debido a su tamaño y forma su proceso deberá ser por inyección de plástico que permita depositar la materia prima en un molde la cual le dará la forma final.

En este proyecto se propone desarrollar un proceso para diseñar un molde (matriz) para la fabricación de una pieza de plástico determinada, con la finalidad de establecer un proceso de diseño que se pueda utilizar para diseñar un molde determinado, que se utilizara para un proceso de inyección de piezas plásticas.

Para la elaboración de estas piezas plásticas, se debe tener consideraciones de diseño que se deben cumplir, tales como normas de calidad (tanto de la pieza como del material del molde base), condiciones de composición química de la materia prima (polímero) establecida por el proveedor, tiempos de ciclo de inyección, sistema de enfriamiento del molde el cual debe ser considerado la potencia de la bomba que suministrara el fluido de enfriamiento (agua) y el material metálico con que se fabricará el molde. Todas estas variables deben ser consideradas para poder establecer un análisis de costos y beneficios que se obtendrá en la fabricación de ésta pieza plástica.

Para la elaboración del diseño del molde, se debe considerar que debido a la complejidad de su funcionamiento, es necesario realizar una simulación de ensamble que nos permita visualizar su correcto funcionamiento.

1.2 Objetivos.

Para llevar a cabo el proyecto se deben establecer varios objetivos a cumplir con la finalidad de poder cubrir todos los puntos a considerar para el diseño y fabricación del molde, para los cuales se deben cumplir con los siguientes objetivos generales y específicos:

1.2.1 Objetivo General.

Realizar un proceso de diseño para un molde de inyección de plástico con la finalidad de proponer un esquema generalizado del proceso de diseño de un molde, tomando en consideración el tipo de polímero que se utilizará en el proceso y el tipo de pieza a fabricar.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Conocer el proceso de inyección de plástico, desde la obtención de la materia prima hasta la obtención del producto final.
- Identificar los polímeros que estarán involucrados en el proceso de producción del accesorio.
- Conocer el material con que se va a fabricar el molde de inyección.
- Realizar el análisis de costos de producción de un molde.
- Realizar el análisis de transferencia de calor en el molde, para diseñar la distribución de los ductos de enfriamiento.
- Conocer las normas a aplicarse para los ensayos de calidad que se deben cumplir con la manufactura del producto, para determinar los rangos de tolerancia de diseño que debe tener las cavidades de los moldes.
- Realizar la ficha técnica del molde que permita identificar los parámetros de diseño y funcionamiento del molde.
- Realizar una simulación utilizando un software de diseño para visualizar como se debe realizar el ensamble de las piezas que componen el molde.
- Determinar el tamaño del molde, para conocer cuántas piezas podrá producir por cada ciclo de inyección.

1.3 Marco teórico.

El moldeo por inyección es capaz de hacer económicamente partes muy complejas con tolerancias estrechas. El molde de inyección es en sí mismo un sistema muy complejo compuesto de varios componentes que están sometidos a muchos ciclos de temperaturas y tensiones.

Se deben diseñar moldes de inyección que son "aptos para el propósito", lo que significa que el molde debe producir partes de la calidad máxima a un costo mínimo, teniendo una cantidad mínima de tiempo y dinero para desarrollar.

Por consiguiente, en primer lugar, se proporciona una visión general del proceso de moldeo por inyección de manera que el molde ingeniero de diseño puede estimar las condiciones de funcionamiento del molde durante el diseño del molde. La disposición y los componentes en algunos de los diseños de molde están familiarizado con tanto moldeo por inyección y la estructura y función básica de estos moldes. Finalmente, se discute la metodología de diseño de ingeniería de moldes.

1.3.1 Descripción del proceso de moldeo por inyección:

Una máquina de moldeo por inyección se muestra en la Figura 1.1 El moldeo por inyección obliga a la masa fundida de polímero en una cavidad del molde evacuado, después de lo cual se enfría a la forma final deseada.

Si bien los procesos de moldeo pueden diferir sustancialmente en el diseño y operación, la mayoría de procesos de moldeo por inyección generalmente incluyen plastificación, inyección, embalaje, refrigeración y etapas de molde reposición. Durante la fase de plastificación, el polímero fundido se plastifica a partir de gránulos o pellets sólidos a través de la combinación afecta de conducción de calor desde el cilindro calentado y la calefacción viscosa interna causada por la deformación molecular con la rotación de un tornillo interno. Durante la etapa de llenado, el polímero fundido es forzado desde el cilindro de la máquina de moldeo y en el molde. La resina fundida se desplaza hacia abajo un sistema de alimentación, a través de una o más puertas, y a lo largo de una o más cavidades del molde donde se forma uno o más productos deseados.

Después de la cavidad del molde se llena con la masa fundida de polímero, la etapa de embalaje proporciona material adicional en la cavidad del molde como el plástico fundido derrite enfría y se contrae. La contracción volumétrica de plástico varía con las propiedades del material y los requisitos de aplicación, pero la máquina de moldeo normalmente obliga 1 a 10% de masa fundida adicional en la cavidad del molde durante la etapa de embalaje. Después cesa el polímero fundido a fluir, la etapa de enfriamiento proporciona un tiempo adicional para la resina en la cavidad para solidificar y se convierten en suficientemente rígida para la eyección. Luego, la máquina de moldeo acciona las necesarias núcleos, diapositivas y pasadores para abrir el molde y retirar la pieza (s) moldeado durante la etapa de puesta a cero del molde.

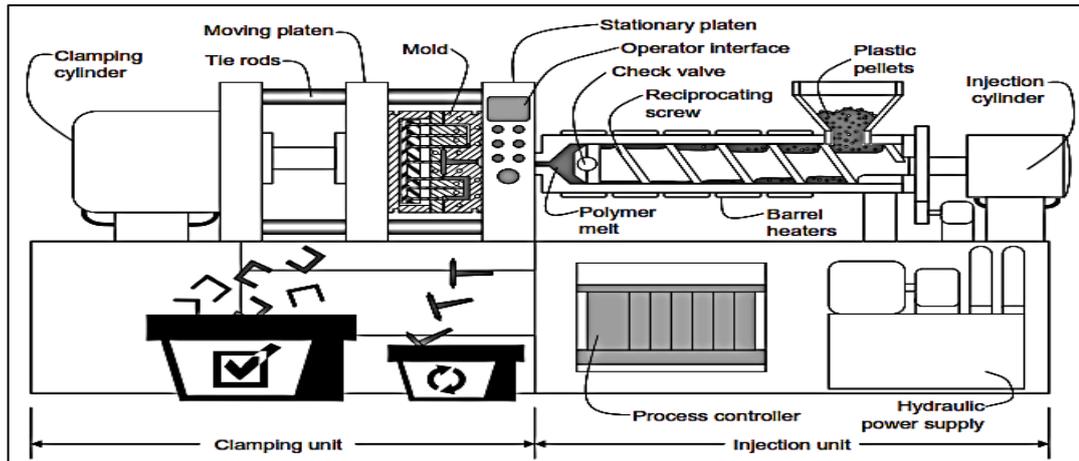


Figura 1.1. Descripción del proceso de moldeo por inyección.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

Armazones del molde: Está constituido por una serie de placas de acero que contienen los componentes del molde y sistemas tales como:

- Sistemas de flujo de material.
- Sistemas de enfriamiento.
- Sistemas de extracción.

Componentes: Son elementos del molde que son colocados en el armazón, ajustados convenientemente para crear la forma y dimensiones de la pieza tales componentes son:

- Núcleos o machos (de ser necesario).
- Cavidades.
- Bujes o casquillos guías.
- Columnas.
- Camisas.
- Cilindros hidráulicos.

Placa superior de fijación: Sostiene la parte estacionaria del molde a la base fija de la máquina.

Anillo de centrado: Esto va montado en un alojamiento, su función es la de posicionar al molde con la base de la máquina, de manera que el grupo inyector y el bebedero se encuentren alineados.

Placa de anclaje fija: Forma parte de la sección estacionaria del molde, aquí se alojan las columnas guías, los bloques de cavidades, anillo de centrado postizo y bebederos.

Placa de anclaje móvil: Es la parte superior de la sección móvil del molde. En esta placa se montan cavidades, cilindros hidráulicos, camisas y núcleos que forman el modelo del accesorio.

Placa soporte: Va montada en la parte posterior de la placa de anclaje móvil. Sirve para soportar posibles dobleces, curvaturas o deformaciones.

Placa de fijación: Sostiene a las placas de anclaje, con sus bridas que van sujetadas a la máquina.

Paralelas espaciadoras: Van montadas sobre la placa de fijación inferior, debajo de la placa de soporte, formando un espacio que permite deslizarse al sistema de expulsión cuando las piezas son extraídas o expulsadas.

Placas expulsoras: Forman una unidad con la placa soporte, actúa como una placa de choque para los pines expulsores.

Topes: Es un elemento del molde que nos permite la regulación de carrera (entrada y salida), de los núcleos y placa.

Bebedero: Esta pieza va acoplada en la placa de anclaje fija, y centra al molde con el grupo inyector de la máquina. Tiene un agujero cónico a través del cual se conduce el material a los canales de distribución del molde.

Pin de retención: Llamada también uña de extracción, va montada directamente centrado a la perforación del bebedero. Su función es la de retener el colado que sale del bebedero cuando se abre el molde.

Pines de retorno: Ubicada en la placa de expulsores, son los encargados de ubicar a ésta en el fondo del molde, cuando éste cierra.

Columnas guías: Son pines de acero endurecido, montados a presión sobre una de la placa de anclaje fija, sirven para alinear las dos mitades del molde.

Bujes o casquillos guías: Son bujes de acero endurecido con tratamiento térmico montados a presión sobre la placa de anclaje móvil, sirven como superficies guías para las columnas.

Cilindros hidráulicos: Permite el movimiento de los postizos o núcleos del molde, asegurando una producción continua.

Barra expulsora: Esta en contacto con la placa expulsora y permite que el accesorio sea desmoldado.

Núcleo: También conocido como core roscado o postizo, forma la parte interior vacía del accesorio, y su movimiento es continuo.

Pines o botadores: Su función es desplazarse hacia adelante y hacia atrás, y permite que el accesorio sea desmoldado automáticamente.

Pozo frío: Es un elemento de la parte móvil del molde, ubicado con relación al bebedero o canal de llenado. Se encarga de recibir el primer flujo del material frío que sale al inicio de cada ciclo para luego distribuirlo en el canal de llenado.

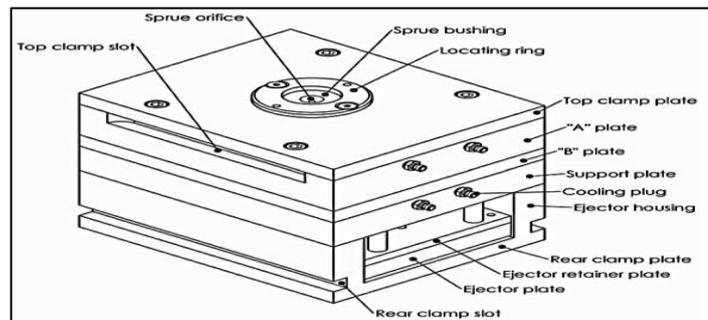


Figura 1.2. Vista de un molde de dos placas de cierre.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

1.3.2 Funcionamiento del molde de inyección.

Abertura y cierre de núcleos o postizos: Es el tiempo en que los postizos se ubican dentro de la cavidad del molde.

Cierre de la prensa: Es el tiempo en que las dos caras del molde se unen y soportan la presión de inyección.

Tiempo de inyección: Es cuando el grupo inyector transporta el material dentro de la cavidad a ser moldeada.

Tiempo de enfriamiento: Es el lapso requerido para enfriar y solidificar el accesorio o producto.

Abertura de la prensa con el accesorio inyectado: Es el tiempo en que la placa de anclaje móvil con la placa móvil de la prensa se ubican a una distancia programada.

Salida de los núcleos o postizos: Es el espacio de tiempo en que los núcleos se ubican en una posición que va a permitir el desmolde del accesorio.

Expulsión y caída del accesorio: Es un tiempo en que los pines expulsores salen a una distancia programada para que el accesorio pueda caer y permitir el siguiente ciclo de inyección.

Retroceso de la placa expulsora: Es un tiempo muy importante donde la placa vuelve a su posición programada enviando la señal para un ciclo automática.

1.3.3 Sistema de alimentación de flujo de material.

El proceso de inyección se divide en los siguientes pasos:

- El material entra por la tolva a alimentar el túnel.
- El material es transportado por el tornillo recíprocante, pasando por diferentes temperaturas que irán de menor a mayor hasta lograr que el material se plastifique.
- El material sale por el orificio al final del túnel llamado boquilla.
- Pasa por el bebedero al interior del molde.

Sistema de enfriamiento: En el ciclo de moldeo, el control de la temperatura del molde es de vital importancia.

Sistema de expulsión: Este sistema se encuentra dentro de la armadura del molde que permite extraer el accesorio o pieza moldeada de una forma automática y está compuesta por los pines, guías y placas.

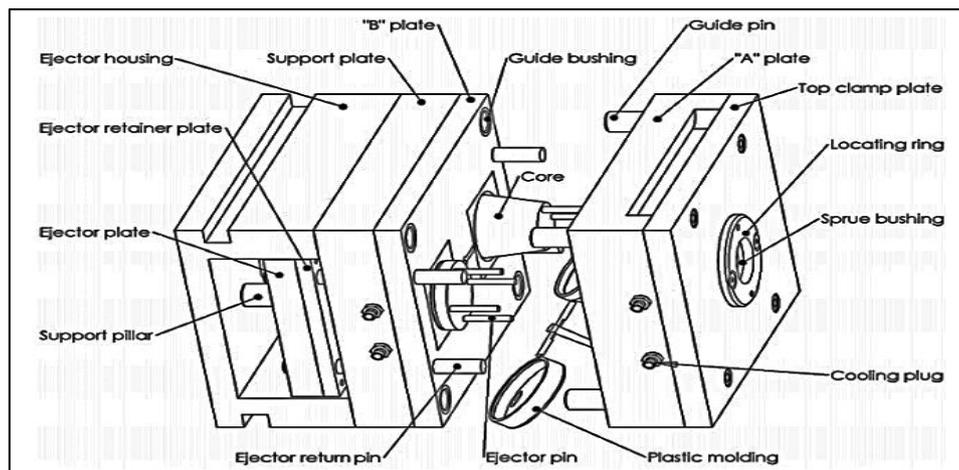


Figura 1.3. Vista de moldeo expulsado del molde de inyección.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

1.3.4 Tipos de moldes de inyección.

Moldes de dos placas: Estos tipos de moldes presentan un diseño básico, se emplean preferentemente para artículos de gran tamaño, pueden tener desde una a varias cavidades.

Un simple molde de dos placas se ha utilizado para introducir los componentes y funciones básicas de un molde de inyección. Aproximadamente la mitad de todos los moldes siguen de cerca este diseño, ya que el molde es fácil de diseñar y económica de producir. Sin embargo, el molde de dos placas tiene muchas limitaciones, entre ellas:

- la restricción de la ruta del sistema de alimentación al plano de separación.
- Opciones de inyección limitadas desde el sistema de alimentación en la cavidad de molde o cavidades.
- Restricción en el espaciado ajustado de cavidades.
- Fuerzas adicionales impuestas sobre el molde por la masa fundida que fluye a través del sistema de alimentación.
- Aumento de desperdicio de material incurrido por la solidificación de la masa fundida en el sistema de alimentación.
- Aumento del tiempo de ciclo en relación con la plastificación y el enfriamiento de la masa fundida en el sistema de alimentación.

Por estas razones, las aplicaciones de moldeo que requieren cantidades alta producción a menudo no utilizan diseños de moldes de dos placas, pero pueden utilizar en lugar diseños de moldes que son más complejos todavía proporcionar para la producción de menor coste de los componentes moldeados. Tales diseños incluyen tres moldes de placas, moldes de colada caliente, moldes de pisos, y otros. Tres moldes de placas y moldes de canal caliente son los próximos tipos más comunes de moldes de inyección, por lo que se introdujeron al lado.

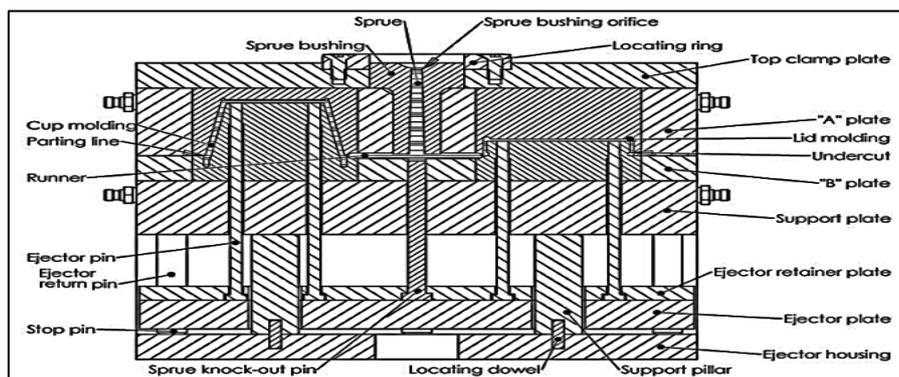


Figura 1.4. Vistas de sección de un molde de dos placas.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design Engineering, 2007.

Moldes de tres placas: En este tipo de molde, se coloca una placa de flotación entre la placa superior de fijación y la placa de apoyo. El detalle importante en éste tipo de molde, es que existe un bebedero secundario en la placa porta cavidades.

La Figura 1.5 muestra una sección de un molde de tres placas que está completamente abierta con las molduras fijas en los insertos de núcleo. La adición de la tercera placa proporciona un segundo plano de separación entre la "A" conjunto de la placa y la placa de abrazadera superior para la provisión de un sistema de alimentación. Durante el moldeo, los flujos de la masa fundida de plástico fuera de la boquilla de la máquina de moldeo, por el manguito de bebedero, a través de las primarias, se establecen los canales de inyección, y en las cavidades del molde.

Cuando se abre el molde, el corredor moldeado en frío permanecerá en la placa extractora debido a la inclusión de extractores de bebedero que sobresalen en el canal de colada primario. Como el molde sigue abriendo, el tornillo extractor conectado a la "B" conjunto de la placa se tire de la "A" conjunto de la placa de distancia de la placa de sujeción superior. Otro conjunto de tornillos del separador se tire de la placa extractora de distancia de la placa de sujeción superior, separar el canal frío moldeado de los extractores de bebedero.

El molde de tres placas elimina dos limitaciones significativas de los dos moldes de dos placas. En primer lugar, el molde de tres placas permite para los corredores primarios y secundarios que se encuentran en un plano por encima de las cavidades del molde de manera que la masa fundida de plástico en las cavidades puede ser cerrada en cualquier ubicación. Tal flexibilidad es vital para mejorar el coste y la calidad de las piezas moldeadas. En segundo lugar, el molde de tres placas prevé la separación automática del sistema de alimentación de las cavidades del molde. Apertura automática facilita la operación de la máquina de moldeo con un ciclo de moldeo totalmente automático para reducir los tiempos de ciclo.

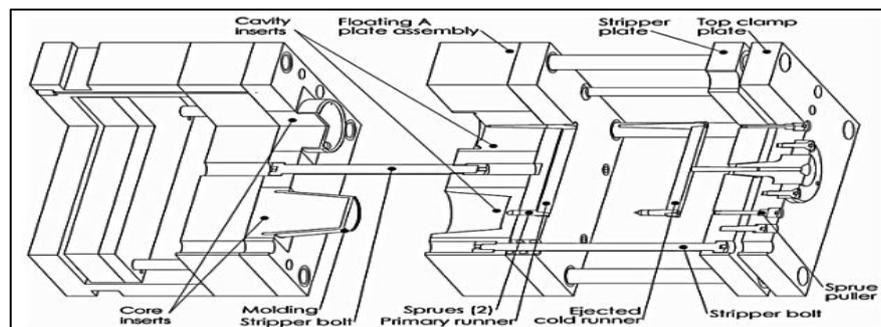


Figura 1.5. Sección de un molde de tres placas abierta.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

Moldes de colada caliente: En este tipo de molde, el material que se encuentra en el sistema de alimentación se mantiene caliente y listo para el próximo ciclo. Moldes de canal caliente proporcionan los beneficios de moldes de tres placas sin sus desventajas, sin embargo, dan lugar a otras cuestiones. El término "canal caliente" se utiliza ya que el sistema de alimentación se mantiene en un estado fundido a través de todo el ciclo de moldeo. Como resultado, el canal caliente no consume material de la masa fundida en el moldeo a las cavidades. El sistema de canal caliente incluye un manguito de bebedero caliente, un colector caliente, dos boquillas calientes corredor, así como calentadores, cableado y otros componentes relacionados para la calefacción. El sistema de canal caliente está cuidadosamente diseñado para minimizar la transferencia de calor entre el sistema de canal caliente y el molde que rodea a través del uso de los espacios de aire y el área de contacto mínimo. Como tal sistema, el canal caliente puede facilitar el moldeo de piezas más delgadas con tiempos de ciclo más rápidos que sea de dos o tres moldes de placa de la placa, evitando al mismo tiempo la chatarra asociada con canales fríos.

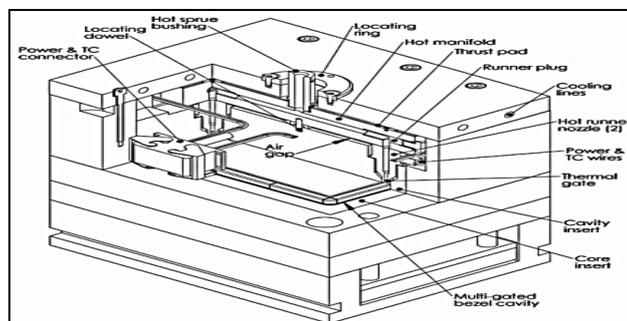


Figura 1.6. Sección de molde de canal caliente.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

1.3.5 Tipos de materiales que se pueden utilizar para un molde.

AISI P20:

De todos estos metales, AISI P20 es el más común debido a su combinación favorable de propiedades. Este acero se utiliza en muchas aplicaciones de moldeo, el costo de fabricación es menor.

El acero AISI P20 pre-templado es de uso general para la fabricación de moldes. Utilizado para el maquinado y electro-erosionado de moldes de plástico y componentes para la fundición de zinc, Provee excelente pulibilidad y buen texturizado.

Aplicaciones típicas:

- Moldeo por Compresión.
- Porta Moldes y Piezas de Apoyo.
- Piezas para Construcción de Maquinaria y moldes para Inyección de Plástico.
- Herramientas para Fundición a Presión de Zinc.
- Moldeo en Dos Fases.

Maquinabilidad y rectificabilidad:

La maquinabilidad y rectificabilidad en estado recocido es aproximadamente un 80% de un acero tipo W1 (1% C).

Propiedades físicas:

Módulo de elasticidad: 207 GPa. $30 \cdot 10^6$ psi.

Densidad: 7860 Kg/m³. 0.284 lb/in³.

Conductividad térmica: 42 W/m °K. 24 BTU/ hr ft °F.

Composición química %promedio:

C: 0.3 **Si:** 0.5 **Mn:** 0.75 **Cr:** 1.7 **Mo:** 0.4

Aluminio:**Alta conductividad térmica:**

La conductividad térmica es cuatro veces superior a la del Acero lo que permite una mejora de las cadencias en el trabajo del caucho o de los plásticos con una economía de energía y tiempo de fabricación.

Mecanización:

Las altas velocidades de corte reducen los tiempos del mecanizado y se obtienen superficies de excelente calidad.

Facilidad de manejo:

El peso específico del Aluminio es de 61% inferior al del Acero, o sea, 1/3 de su peso, lo que facilita su manipulación.

Resistencia a la corrosión:

Es resistente a todos los plásticos comúnmente empleados y por ello no necesita ningún tratamiento de superficie cromado o niquelado, aunque si lo permite.

Aplicaciones mecánicas:

Las elevadas resistencias, contribuyen a una larga vida de los útiles y moldes. Gracias a las características mecánicas tan elevadas. La flexión del Aluminio es tres veces superior a la del Acero.

Acero H13:

El acero H13 provee un buen balance de tenacidad, alta resistencia a la formación de grietas causadas por el choque térmico y resistencia al revenido, junto con resistencia al desgaste moderada. De temple al aire, es utilizado en la mayoría de las aplicaciones a durezas de 44-52 HRC.

Las temperaturas nominales de revenido del acero H13 son bastante altas (>540°C ó 1000°F), lo cual permite que mantenga su dureza de temple y su resistencia al ser utilizado a temperaturas elevadas.

Las herramientas fabricadas con el acero H13 pueden ser usadas a temperaturas de hasta aprox. 540°C (1000°F) con exposiciones breves de hasta 595°C (1100°F), siendo ideal para dados de forja, herramental para extruido en caliente y moldes de fundición a presión.

Aplicaciones típicas:

- Dados de Extrusión para Aleaciones Ligeras.
- Camisas (Liners) para Extrusión.
- Herramientas para Fundición a Presión.
- Punzones y Matrices para Prensar.
- Cuchillas para Corte en Caliente.
- Moldes para Plástico.
- Mandriles.
- Pernos Eyectores.
- Dados de Forja.

Maquinabilidad y rectificabilidad:

La maquinabilidad y rectificabilidad en estado recocido es aproximadamente un 70% de un acero tipo W1 (1% C).

Propiedades físicas:

Módulo de elasticidad: 207 GPa. $30 \cdot 10^6$ psi.

Densidad: 7750 Kg/m³. 0.280 lb/in³.

Conductividad térmica: 26 W/m °K. 15 BTU/ hr ft °F.

Composición química %promedio:

C: 0.4 **Si:** 1 **V:** 0.95 **Cr:** 5.2 **Mo:** 1.3

1.3.6 Tipos de polipropilenos que pueden utilizarse para moldeo de la pieza.

Polipropileno:

El Polipropileno es un termoplástico que es obtenido por la polimerización del propileno, subproducto gaseoso de la refinación del petróleo, en presencia de un catalizador, bajo un cuidadoso control de temperatura y presión.

El Polipropileno se puede clasificar en tres tipos: homopolímero, copolímero rándom y copolímero de alto impacto, los cuales pueden ser modificados y adaptados para determinados usos, a través de múltiples técnicas de aditivación.

Al polipropileno se le conoce con las siglas PP. Es un plástico muy duro y resistente, es opaco y con gran resistencia al calor pues se ablanda a una temperatura más elevada de los 150 °C). Es muy resistente a los golpes aunque tiene poca densidad y se puede doblar muy fácilmente, resistiendo múltiples doblados por lo que es empleado como material de bisagras. También resiste muy bien los productos corrosivos.

Estructuralmente es un polímero vinílico, similar al polietileno, sólo que uno de los carbonos de la unidad monomérica tiene unido un grupo metilo El polipropileno, pertenece al grupo de los termoplásticos, es una cadena larga de polímero, hecha del monómero de propileno. Después de la exposición del propileno al calor y a la presión con un catalizador activo metálico, el monómero de propileno se combina para formar una cadena larga de polímero, llamada "propileno".

Características:

- Optima relación Costo / Beneficio.
- Versatilidad: Compatible con la mayoría de técnicas de procesamiento y usado en aplicaciones como, industria automotriz, textiles, tuberías, etc.
- Buena procesabilidad: Es el material plástico de menor peso específico (0,9 g/cm³), lo que implica que se requiere de una menor cantidad para la obtención de un producto terminado.
- Barrera al vapor de agua: Evita el traspaso de humedad, lo cual puede ser utilizado para la protección de diversos alimentos.
- Buenas propiedades organolépticas, químicas, de resistencia y transparencia.

Rango de productos:

El rango de productos comprende homopolímeros, copolímeros bloque y copolímeros rándom.

Homopolímeros: Los homopolímeros son altamente isotácticos y por ende muy cristalinos. Los artículos producidos con estos materiales presentan alta rigidez, dureza y resistencia a la deformación por calor.

Copolímeros de Impacto: Los copolímeros de impacto son copolímeros en bloque de etileno-propileno que muestran una alta resistencia al impacto tanto a temperatura ambiente como a bajas temperaturas. El rango de resistencia al impacto se extiende con materiales que poseen un alto contenido de goma y una alta resistencia al impacto a muy bajas temperaturas.

Copolímeros Rándom: Poseen un menor grado de cristalinidad que los homopolímeros, por lo que presentan un rango de fundido más amplio, mayor transparencia y son más resistentes al impacto a temperatura ambiente.

Polipropileno grado inyección: El polipropileno es una composición de 80% homopolímero y 20% copolímero rándom, esta composición nos da como características las siguientes:

- Claridad: Un copolímero aleatorio, exhibe una excelente claridad cuando se moldea en moldes pulidos.
- Impacto: Produce piezas moldeadas con mensurable mejora de la incidencia en comparación con las piezas moldeadas a partir de homopolímeros de polipropileno.
- Aplicaciones recomendadas: Se recomienda para los dispositivos de inyección médicos y materiales desechables, envases de alimentos y artículos para el hogar claras especialidad.
- Procesamiento: Procesos de resina en equipos de moldeo por inyección convencional con temperaturas de fusión de 390-450 °F (200 - 232 °C).

Propiedades Físicas:

- Densidad (g/cm³): 0,9.
- Índice de Oxígeno Límite (%): 18.
- Índice Refractivo: 1,49.
- Resistencia a la Radiación: Aceptable.
- Resistencia a los Ultra-violetas: Mala.

Propiedades Mecánicas:

- Alargamiento a la Rotura (%): 150-300, para Biax film >50.
- Coeficiente de Fricción: 0,1-0,3.
- Dureza – Rockwell: 80-100.
- Módulo de Tracción (GPa): 0,9-1,5, para Biax film 2,2-4,2.
- Resistencia a la Abrasión - ASTM D1044 (mg/1000 ciclos): 13-16.
- Resistencia a la Tracción (MPa): 25-40, para Biax film 130-300.
- Resistencia al Impacto Izod (J/m): 20-100.

Propiedades Térmicas:

- Calor Específico (J/K*kg): 1700-1900.
- Coeficiente de Expansión Térmica ($*10^{-6}K^{-1}$): 100-180.
- Conductividad Térmica a 23 °C (W/m*K): 0,1-0,22.
- Temperatura de Deflexión en Caliente - 0.45MPa (°C): 100-105.
- Temperatura de Deflexión en Caliente - 1.8MPa (°C): 60-65.
- Temperatura Máxima de Utilización (°C): 90-120.
- Temperatura Mínima de Utilización (°C): -10 a -60.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

2.1 Selección de la tecnología.

Para tener una acertada selección de la tecnología o tipo de molde a utilizar en un proceso de inyección, se debe realizar una comparación de funcionamientos para determinar los puntos clave para la selección adecuada.

La elección del sistema de alimentación tiene un papel fundamental en el diseño del molde, la adquisición de materiales y la fabricación de moldes, montaje y procesos de prueba. Desde la perspectiva de la máquina de moldeo, la elección del sistema de alimentación determina en gran medida el costo de compra, la productividad de moldeo, y el costo de operación del molde. Se muestra a continuación la Tabla 1 con los datos a considerar en el sistema.

Flexibilidad de apertura: Capacidad de abrir el molde para la fácil expulsión de la pieza de plástico.

Consumo de materiales: Cantidad de desperdicio de material (colados) que se producen en el molde en cada inyección.

Tiempos de ciclo: Tiempo que se debe utilizar en cada inyección de material.

Inversión inicial: Cantidad inicial de dinero a invertir para la adquisición del molde.

Tiempo de puesta en marcha: Tiempo que se debe utilizar para poner a producir la máquina inyectora.

Costos de mantenimiento: Cantidad monetaria que se debe utilizar para realizar el mantenimiento correspondiente del molde.

Tabla 1. Comparación de Sistemas.

Medida de rendimiento	dos platos	tres platos	colada caliente
Flexibilidad de apertura	pobre	excelente	excelente
consumo de materiales	bueno	pobre	excelente
Los tiempos de ciclo	bueno	pobre	excelente
Inversión inicial	excelente	bueno	pobre
Los tiempos de puesta en marcha	excelente	bueno	pobre
Costo de mantenimiento	excelente	bueno	pobre

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007

Se procede a realizar una nueva tabla con una ponderación numérica para realizar la selección del molde a utilizarse, considerando que los puntos más importantes para la selección del molde son los tiempos de producción y costos:

- Flexibilidad de apertura: 10%
- Consumo de materiales: 15%
- Tiempos de ciclo: 20%
- Inversión inicial: 20%
- Tiempo de puesta en marcha: 15%
- Costos de mantenimiento: 20%

Tabla 2. Matriz de decisión para el tipo de molde.

Medida de rendimiento	dos platos	tres platos	colada caliente
Flexibilidad de apertura	0	0,1	0,1
consumo de materiales	0,05	0	0,15
Los tiempos de ciclo	0,05	0	0,2
Inversión inicial	0,2	0,1	0
Los tiempos de puesta en marcha	0,15	0,075	0
Costo de mantenimiento	0,2	0,1	0
Total	0,65	0,375	0,45

Fuente: Autor, 2015

Con los resultados obtenidos en la Tabla 2 se procede a realizar el procedimiento de diseño para un molde de dos placas.

2.2 Selección del polímero a utilizar para la pieza.

El polímero seleccionado será el polipropileno, para lo cual se realizará la selección del tipo de polipropileno que se va a utilizar para el proceso. De los cuales se tienen los 3 tipos a continuación:

- Homopolímero.
- Copolímero random.
- Polipropileno grado inyección.

Los factores considerados para la realización de la matriz son los siguientes:

Claridad: Excelente claridad para moldeo con pulidos.

Impacto: Capacidad de resistir grandes impactos.

Temperatura: Alto punto de fusión.

Densidad: Cantidad de material que se necesita para el producto.

Tabla 3. Tabla de comparación de polímeros.

Medida de rendimiento	Homopolímero	Cop random	PP grado iny.
Claridad	alto	medio	alto
Temperatura	alto	medio	alto
Densidad	alto	medio	alto
Impacto	medio	alto	alto

Fuente: Autor, 2015

Considerando los factores seleccionados, se procede a darle una ponderación a cada uno de los factores, dándole una mayor valoración a los factores más relevantes a considerarse en un proceso de diseño de un molde de inyección:

Claridad: 30%

Impacto: 25%

Temperatura: 20%

Densidad: 25%

Tabla 4. Matriz de decisión de polímeros.

Medida de rendimiento	Homopolimero	Cop rándom	PP grado iny.
Claridad	0,3	0,15	0,3
Temperatura	0,25	0,1	0,25
Densidad	0,2	0,125	0,2
Impacto	0,125	0,25	0,25
Total	0,875	0,625	1

Fuente: Autor, 2015

2.3 Procedimiento esquemático del proceso de diseño.

A continuación se presenta un diagrama de flujo que nos mostrará cual será el proceso de diseño que se va a emplear para este proyecto.

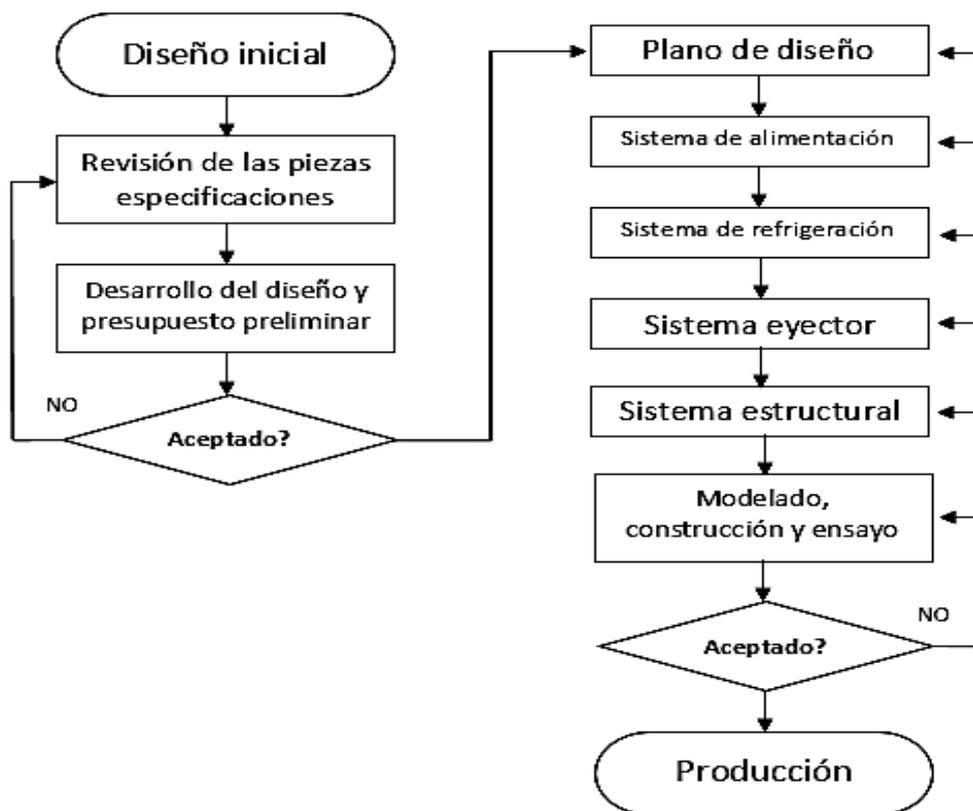


Figura 2.1. Diagrama de flujo del proceso de diseño.

Fuente: Autor, 2015

2.4 Diseño para el moldeo por inyección.

Una revisión detallada del diseño de la pieza de plástico debe llevarse a cabo antes del diseño y la fabricación del molde de inyección. La revisión del diseño debe considerar los fundamentos del diseño de piezas de plástico, así como otras cuestiones relacionadas específicamente con el diseño del molde. Las cuáles serán detalladas a continuación:

2.4.1 Espesor uniforme de la pared.

Los espesores de pared variable se deben evitar debido a razones relacionadas con el costo y la calidad. La cuestión fundamental es que las secciones de paredes gruesas y finas se enfriarán a ritmos diferentes, secciones más gruesas tardarán más en enfriar que las secciones delgadas. Cuando eyectado, piezas con espesor de pared variable exhibirán más altas temperaturas cerca de las secciones gruesas y temperaturas más bajas cerca de las secciones delgadas. Estas diferencias de temperatura y la contracción diferencial asociado pueden dar lugar a la distorsión geométrica de la parte significativa dado el alto coeficiente de expansión térmica de los plásticos. Diferencias extremas en espesores de pared se deben evitar, si es posible, ya que vacíos internos se pueden formar en la parte interna debido a la contracción excesiva en secciones gruesas, incluso con el embalaje extendido y tiempos de enfriamiento.

La Figura 2.2 proporciona una progresión de diseños de moldes con diferentes espesores a través de la pieza. El peor diseño de la pieza, se muestra a la izquierda, tiene la masa fundida que fluye de una sección delgada a una sección de espesor con una transición brusca. Este diseño puede conducir a molduras con acabado superficial pobre debido a chorro de la masa fundida de la sección delgada en la sección gruesa. El diseño puede ser mejorado mediante la inversión de la dirección del flujo de masa fundida, ya que la sección más gruesa es poco probable que se solidifique antes de empacar la sección más delgada. El diseño puede ser mejorado aún más por la transición gradual de la sección gruesa a la sección delgada. Una solución estándar es aumentar el espesor nominal de la pieza moldeada a fin de eliminar la necesidad de secciones gruesas en las áreas locales. La decisión de aumentar el grosor de la pared eliminará muchas cuestiones relacionadas con la calidad de la pieza, pero puede llevar a un consumo excesivo de material y tiempos de enfriamiento extendido.

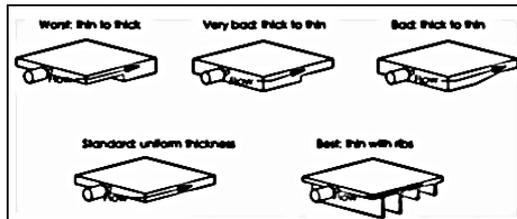


Figura 2.2. Diseños de espesores de pared.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007

2.4.2 Diseño de rejillas.

Un diseño de rejillas se muestra en la Figura 9. En este diseño, el espesor de la base es 70% del espesor de pared de la pieza y la altura es cuatro veces el espesor de pared de la pieza. Las rejillas están espaciadas a diez veces el espesor de pared de la pieza. Análisis de este diseño indica que tiene una rigidez equivalente a la parte que es 30% más grueso, pero no tiene costillas. Sin embargo, la parte del 30% más gruesa consumirá alrededor del 15% más de material y tienen un tiempo de ciclo más largo del 70% de la parte más delgada.

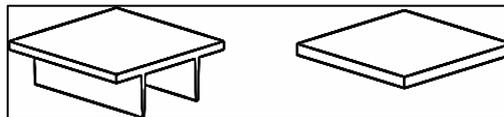


Figura 2.3. Diseño eficaz de rejilla.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering. 2007

2.4.3 Diseño de esquinas.

Las esquinas agudas a menudo se especifican en el diseño del producto para maximizar el volumen interior del componente, facilitar el acoplamiento entre los componentes, o por razones estéticas. Sin embargo, las esquinas agudas en productos moldeados deben ser evitadas por muchas razones relacionadas con el rendimiento del producto, diseño de moldes y moldeo por inyección:

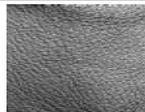
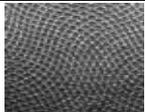
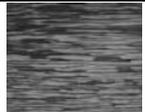
- En relación con el rendimiento del producto, esquinas afiladas se traducirá en una concentración de tensiones que pueden causar muchos (y especialmente frágiles) materiales a fallar bajo carga. Por otra parte, una caja con esquinas agudas y laterales altas no puede tener la rigidez torsional de una caja redondeada con los lados más cortos.
- Las esquinas afiladas pueden ser muy difíciles de producir, requiriendo el uso de procesos de mecanizado especiales o el uso de múltiples herramientas de corte de tamaño decreciente.

- Las esquinas afiladas restringen en gran medida el flujo de calor desde la masa fundida de polímero a la inserción de núcleo, al tiempo que facilita la transferencia de calor a la cavidad de inserción (fuera de la pieza).

2.4.4 Acabado superficial y Texturas.

El texturizado añade significativamente al costo del molde. Para aplicar una textura, superficies de molde primero se deben acabar típicamente para SPI clase B para texturas superficiales (en la que la profundidad de textura es del orden de unas pocas micras) o clase C para texturas rugosas. A continuación se muestra en la tabla 5 diferentes ejemplos de acabados superficiales que se le puede dar a la pieza.

Tabla 5. Ejemplos de texturas.

Textura	imagen	profundidad de textura	SPI final
arena		50 µm	B
cuero		125 µm	C
red		150 µm	C
grano de madera		250 µm	D

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007

2.5 Dimensionamiento de la pieza a fabricar.

Para realizar el respectivo análisis de costos del molde de inyección, es necesario conocer la geometría de la pieza a fabricar, datos que son mostrados en el plano que se encuentra en anexos y sus bocetos en las figuras 2.4 y 2.5.

Para efecto de cálculos, por la complejidad de la pieza se procedió a realizar un aproximado en los valores de las dimensiones, se determina las siguientes variables y sus valores:

$$V_{pieza} = \text{volumen de la pieza} = (50 \cdot 50 \cdot 5) + 8500 + 200 = 21200 \text{ mm}^3$$

$$L_{pieza} = \text{Longitud de la pieza} = 50 \text{ mm}$$

$$W_{pieza} = \text{Ancho de la pieza} = 50 \text{ mm}$$

$$H_{pieza} = \text{Altura de la pieza} = 5 \text{ mm}$$

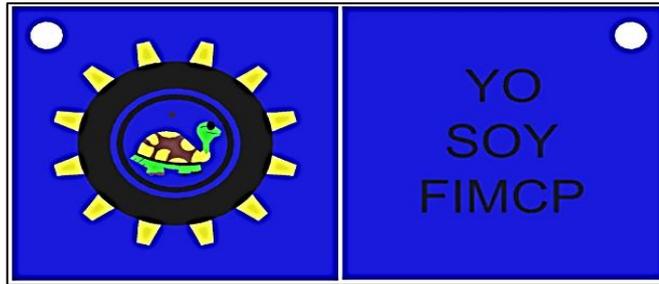


Figura 2.4. Diseño 2D de la pieza.

Fuente: Autor, 2015

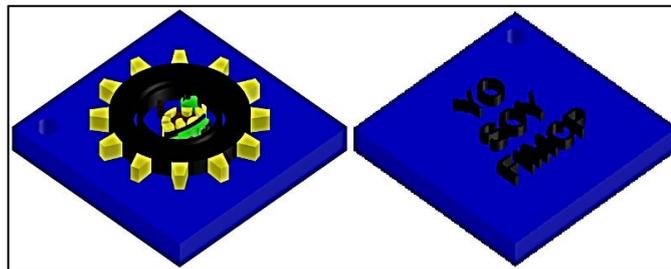


Figura 2.5. Diseño 3D de la pieza.

Fuente: Autor, 2015

2.6 Diseño del sistema de enfriamiento.

El sistema de refrigeración es muy importante para la economía y el funcionamiento del molde diseñado, y sin embargo, sigue siendo una de las más bajo sistemas de ingeniería de moldes de inyección.

Los sistemas incorrectamente diseñados resultan en dos resultados malos. En primer lugar, los tiempos de ciclo son mucho más largos que los deseados. En segundo lugar, los gradientes de temperatura importantes causan la contracción diferencial y la deformación de las molduras. Para funcionar con eficacia, los sistemas de refrigeración deben ser cuidadosamente diseñados para gestionar el flujo de calor en todo el molde sin incurrir en costos o complejidad excesiva. Para poder obtener un diseño idóneo, se debe cumplir con los siguientes objetivos:

2.6.1 Objetivos a cumplir.

- Maximizar la cantidad de calor a transferir.
- Mantener uniforme la temperatura en la pared.
- Minimizar costos del molde.
- Minimizar volumen y complejidad.
- Minimizar la fatiga y la corrosión.
- Facilitar el uso del molde y su mantenimiento.

2.6.2 Proceso de diseño del sistema de enfriamiento.

Dado que hay múltiples objetivos en el diseño del sistema de refrigeración, no es probable que cada objetivo se optimiza simultáneamente. El objetivo es que el diseñador del molde para llegar a un buen compromiso, de manera que el enfriamiento rápido y uniforme se consiguen de una manera rentable.

2.6.2.1 Calcular el tiempo de enfriamiento requerido.

El tiempo de enfriamiento se define como la cantidad de tiempo necesario después se llena el molde para el plástico para ser suficientemente rígido para expulsar. Puesto que hay muy poco flujo de la masa fundida (y muy poco de convección del calor) después de que el molde está lleno, la transferencia de calor entre el plástico y el molde se rige por la ecuación de conducción de calor transitoria:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} ; \quad \alpha = \frac{k}{\rho * C_p}$$

$$\text{Reemplazando se tiene como fórmula final: } t_c = \frac{D^2}{23.1 * \alpha} \ln \left(1.6 \frac{T_{\text{plast}} - T_{\text{ref}}}{T_{\text{exp}} - T_{\text{ref}}} \right)$$

Donde:

α = Coeficiente de difusividad térmica del polímero.

k = Coeficiente de conductividad térmica del polímero.

ρ = Densidad del polímero.

C_p = Calor específico del polímero.

T_{plast} = Temperatura de plastificación.

T_{ref} = Temperatura del refrigerante (Agua).

T_{exp} = Temperatura de expulsión de la pieza.

D = Diámetro de la tubería.

t_c = Tiempo de enfriamiento.

Resolviendo:

$$\alpha = \frac{k}{\rho * C_p} = \frac{0.1 \text{ W/mK}}{898 \text{ Kg/m}^3 * 1670 \text{ J/KgK}} = 6.67 * 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$t_c = \frac{D^2}{23.1 * \alpha} \ln \left(1.6 \frac{T_{\text{plast}} - T_{\text{ref}}}{T_{\text{exp}} - T_{\text{ref}}} \right) = \frac{0.00476^2}{23.1 * 6.67 * 10^{-8}} \ln \left(1.6 \frac{270 - 10}{110 - 10} \right) = 21 \text{ seg}$$

2.6.2.2 Evaluación del calor requerido a transferir.

Una vez que se conoce el tiempo de enfriamiento, la velocidad de transferencia de calor o "potencia de refrigeración" requerida del sistema de alimentación se puede calcular. La cantidad total de calor al ser removido por el sistema de refrigeración, es:

$$Q_{\text{mold}} = m_{\text{mold}} * C_p * (T_{\text{plast}} - T_{\text{exp}})$$
$$\dot{Q}_{\text{enf}} = \frac{Q_{\text{mold}}}{t_c} \qquad \dot{Q}_{\text{linea}} = \frac{\dot{Q}_{\text{enf}}}{\eta_{\text{linea}}}$$

Donde:

Q_{mold} = Calor removido.

m_{mold} = Masa del polímero.

\dot{Q}_{enf} = Rapidez de transferencia de calor del sistema.

\dot{Q}_{linea} = Rapidez de transferencia de calor por tubería.

η_{linea} = Número de Tuberías.

Resolviendo:

$$Q_{\text{mold}} = \left(4 * 21200 * 10^{-9} \text{m}^3 * 898 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) * 1670 \frac{\text{J}}{\text{KgK}} * (270 - 110) \text{K} = 20347.4 \text{ J}$$

$$\dot{Q}_{\text{enf}} = \frac{Q_{\text{mold}}}{t_c} = \frac{20347 \text{ J}}{21 \text{ seg}} = 969 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{\text{linea}} = \frac{\dot{Q}_{\text{enf}}}{\eta_{\text{linea}}} = \frac{969}{4} = 242.25 \text{ W}$$

Se considera 4 líneas debido a que son dos líneas de entrada y dos líneas de salida por lo tanto la potencia requerida sería de solo las dos líneas de entrada resultando **484.5 W**

2.6.2.3 Caudal de agua del refrigerante.

Para determinar el flujo de agua se procede a resolver la siguiente ecuación:

$$\dot{V}_{\text{ref}} = \frac{\dot{Q}_{\text{linea}}}{\rho_{\text{ref}} * C_{\text{Pref}} * \Delta T_{\text{ref}}}$$

Donde:

\dot{V}_{ref} = Flujo volumétrico del refrigerante.

ρ_{ref} = Densidad del refrigerante

C_{Pref} = Calor específico del refrigerante a 10 °C.

ΔT_{ref} = variación de temperatura del refrigerante.

Resolviendo:

$$\dot{V}_{\text{ref}} = \frac{\dot{Q}_{\text{linea}}}{\rho_{\text{ref}} * C_{\text{Pref}} * \Delta T_{\text{ref}}} = \frac{242.25 \text{ W}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 4192 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}} * (12 - 10)\text{K}} = 2.9 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Como se conoce que son 4 líneas de agua que pasaran entonces el flujo total será:

$$\dot{V}_{\text{ref}}^{\text{total}} = 4 * \dot{V}_{\text{ref}} = 4 * 2.9 * 10^{-5} = 1.16 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

2.6.2.4 Determinación del diámetro de los ductos de enfriamiento.

Para garantizar la adecuada transferencia de calor desde el molde de acero al refrigerante, se desea un flujo turbulento en el refrigerante. Si el diámetro de la línea de enfriamiento es demasiado grande, entonces la velocidad lineal del agua puede no ser suficiente para garantizar el flujo turbulento. Para asegurar un flujo turbulento, el número de Reynolds, Re, debe ser mayor que 4000. Por lo tanto se plantea la siguiente ecuación:

$$\text{Re} = \frac{4 * \rho_{\text{ref}} * \dot{V}_{\text{ref}}}{\pi * \mu_{\text{ref}} * D} > 4000$$

Despejando D nos queda:

$$D_{\text{max}} = \frac{4 * \rho_{\text{ref}} * \dot{V}_{\text{ref}}}{\pi * \mu_{\text{ref}} * \text{Re}} = \frac{4 * \rho_{\text{ref}} * \dot{V}_{\text{ref}}}{\pi * \mu_{\text{ref}} * 4000}$$

Donde:

D_{max} = Diámetro máximo de la tubería.

Re = Número de Reynolds.

μ_{ref} = Coeficiente de viscosidad del agua.

Resolviendo:

$$D_{\text{max}} = \frac{4 * \rho_{\text{ref}} * \dot{V}_{\text{ref}}}{\pi * \mu_{\text{ref}} * 4000} = \frac{4 * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 2.9 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{\pi * 0.001 \text{Pa.s} * 4000} = 9.23 \text{mm}$$

La caída de presión para el agua a través de una línea de enfriamiento puede estimarse a partir de flujo de la tubería como:

$$\Delta P_{\text{linea}} = \frac{\rho_{\text{ref}} * L_{\text{linea}} * \dot{V}_{\text{ref}}^2}{10\pi * D^5}$$

Despejando D nos queda:

$$D_{\text{min}} = \sqrt[5]{\frac{\rho_{\text{ref}} * L_{\text{linea}} * \dot{V}_{\text{ref}}^2}{10\pi * \Delta P_{\text{linea}}}}$$

Donde:

D_{\min} = Diámetro mínimo de la tubería.

$L_{\text{línea}}$ = Longitud de la tubería.

$\Delta P_{\text{línea}}$ = Caída de presión en la tubería.

Resolviendo:

$$D_{\min} = \sqrt[5]{\frac{\rho_{\text{ref}} * L_{\text{línea}} * \dot{V}_{\text{ref}}^2}{10\pi * \Delta P_{\text{línea}}}} = \sqrt[5]{\frac{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.3 * \left(2.9 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}\right)^2}{10\pi * 100 * 10^3 \text{Pa}}} = 2.4 \text{ mm}$$

Combinando el requisito de la turbulencia y la caída de presión, el rango permitido de refrigeración diámetros de línea para el molde es:

$$9.23 \text{ mm} < D < 2.4 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta el rango de medidas obtenidas, se procede a seleccionar el diámetro idóneo de la siguiente tabla:

Tabla 6. Especificaciones de tubos.

Rosca de tubo normal	Diámetro del tubo (mm)
1/16	4,76
1/8	6,35
1/4	9,53
3/8	11,1
1/2	15,9

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.6.3 Diseño del sistema de enfriamiento.

Hay diferentes diseños de sistemas que se utilizan en la práctica. Mientras que muchos moldes utilizan líneas rectas, tales diseños a menudo no son óptimas. En cambio, el diseñador del molde debe esforzarse por lograr tasas uniformes y altas de enfriamiento a través de toda la superficie de la cavidad.

2.6.3.1 Líneas de enfriamiento en redes.

Frente a las conexiones de línea de ocho de refrigeración, se puede utilizar mangueras cortas para recorrer las líneas de enfriamiento como se muestra en la Figura 2.6. Esta configuración tiene dos problemas. En primer lugar, la resistencia al flujo a través de la longitud combinada de todas las líneas de enfriamiento puede ser extremadamente alta, reduciendo las velocidades de flujo de refrigerante. En segundo lugar, la temperatura del refrigerante del molde puede aumentar a lo largo de la longitud del circuito de refrigeración.

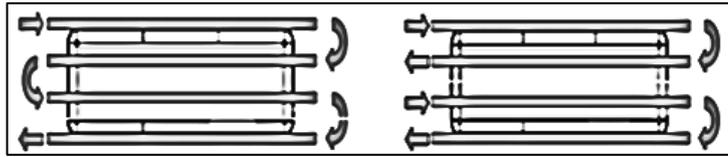


Figura 2.6. Trazado de líneas en serie y en paralelo.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.6.3.2 Insertos de enfriamiento.

En este caso, un molino extremo de bola se encamina alrededor de la parte inferior de la pieza, después de lo cual se perforan las líneas de conexión a un lado del molde. Las líneas de refrigeración de esta manera pueden seguir de cerca los contornos de la pieza moldeada, incluso para superficies curvas. La ubicación de la entrada y la salida de refrigerante han sido seleccionadas para equilibrar la caída de presión entre los circuitos.

A pesar de que el diseño de inserción de refrigeración se muestra en la Figura 2.7 proporciona refrigeración excepcional, presenta problemas potenciales de fuga. En este diseño, una ranura se ha proporcionado y equipado con una junta. Cuando fijada firmemente a la placa de soporte, la junta será evitar fugas fuera del molde. Sin embargo, las fugas se deben esperar en cualquier expulsor situado interno para el área rodeada por la junta.

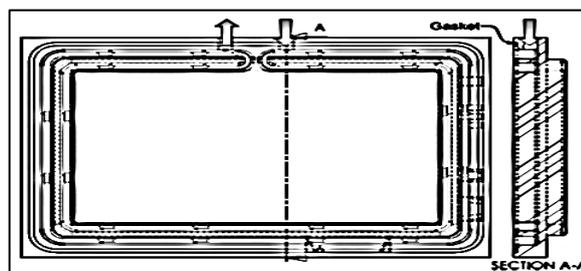


Figura 2.7. Inserto central de bisel con enfriamiento fresado.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.6.3.3 Enfriamiento de conformación.

Una nueva tecnología de fabricación de moldes es la sinterización selectiva por láser (SLS). Uno de los beneficios de SLS es la capacidad de colocar directamente las líneas de enfriamiento en cualquier ubicación que los insertos de núcleo y cavidad están siendo selectivamente sinterizado láser. Las líneas de enfriamiento helicoidales se pueden hacer conforme a las superficies de la cavidad para mejorar las tasas de transferencia de calor y la uniformidad.

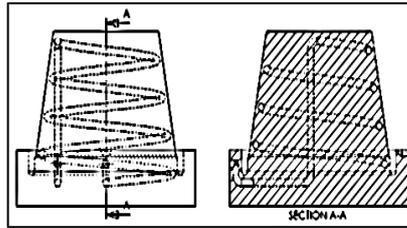


Figura 2.8. Inserto de núcleo con las líneas enfriamiento de conformación.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.6.3.4 Insertos de alta conductividad.

Otro enfoque para reducir los gradientes de temperatura es utilizar materiales de inserción altamente conductores, tales como Cu940 o Al QC7, por porciones o todo el inserto de núcleo. Puesto que estos materiales tienen mucha más alta conductividad térmica que el acero, su uso en ciertas situaciones tenderá a reducir la variación a lo largo de núcleos.

2.6.3.5 Enfriamiento de núcleos delgados.

Se desea proporcionar un canal de refrigeración a lo largo del eje del núcleo para conducir el calor desde la superficie del núcleo y luego convección el calor hacia abajo el centro del núcleo. Canales de refrigeración más grandes en el centro del núcleo generalmente permiten mayores velocidades de flujo de refrigerante y mayores tasas de transferencia de calor. Canales de refrigeración más grandes, sin embargo, requieren la eliminación de más volumen en el interior del núcleo y una disminución de la integridad estructural del núcleo. Para equilibrar estas dos cuestiones, los diferentes componentes de refrigeración se han desarrollado para su uso en diferentes rangos de diámetros de núcleo. La Tabla 7 enumera algunas de las diversas opciones.

Tabla 7. Opciones de enfriamiento del núcleo Delgado.

Sistema	Diámetro de núcleo	Diámetro del agujero	Velocidad de enfriamiento
Inserto de enfriamiento	> 50 mm	> 25 mm	muy alto
Deflector	12-75 mm	6-25 mm	muy alto
Burbuja	6-30 mm	3-12 mm	alto
Tubo de calor	5-20 mm	3-12 mm	medio
Pin de conducción	< 5 mm	N/A	bajo

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.6.3.6 Selección de la tecnología a utilizarse en el sistema.

Debido a las condiciones de diseño se selecciona las líneas de enfriamiento en paralelo de 4 líneas, 2 de entrada y 2 de salida.

2.7 Diseño dimensional del molde.

El objetivo de la etapa de diseño de la disposición del molde es desarrollar las dimensiones físicas de los insertos de molde y para permitir la adquisición de estos materiales. La selección del material del molde es importante, ya que las propiedades de los materiales determinan el tiempo de fabricación del molde y su costo, así como el desempeño estructural y térmico del molde.

Para desarrollar el diseño del molde, la dirección de apertura del molde y la ubicación del plano de separación, se deben determinar primero. Se eligen la longitud, ancho y altura de insertos de núcleo (de existir) y la cavidad. Después, se selecciona una base de molde y los insertos se colocan en tan simple y compacta como sea posible.

2.7.1 Determinación de la dirección de apertura del molde.

El molde se abre generalmente en una dirección normal al plano de separación desde la platina de movimiento de la máquina de moldeo es guiado por barras de unión o rieles para abrir en una dirección normal a la platina como se ve en la Figura 2.9. En consecuencia, guías de deslizamiento y / o dispositivos de enclavamiento de molde están casi siempre situados en el plano de separación para guiar la apertura del molde en una dirección normal al plano de separación. Hay dos factores que gobiernan el sentido de apertura de molde:

- La cavidad del molde se debe colocar de tal manera que no ejerza una tensión indebida en el molde de inyección. La cavidad del molde se coloca típicamente con su área más grande paralelo al plano de separación. Esta disposición permite que las placas de molde, ya que se celebran en compresión bajo el tonelaje de cierre, para resistir la fuerza ejercida por el plástico sobre las superficies de la cavidad.
- La cavidad del molde se debe colocar de tal manera que la pieza moldeada puede ser expulsada del molde.

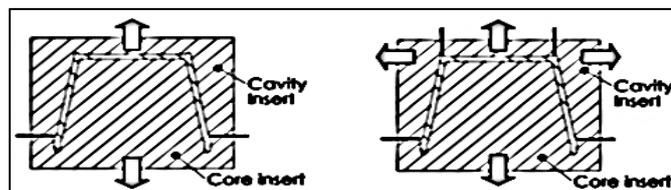


Figura 2.9. Apertura axial y radial del molde.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.7.2 Dimensión del largo de la placa.

En primer lugar, el núcleo y el inserto de la cavidad deben tener suficiente altura por encima y por debajo de la pieza moldeada para aprobar una línea de enfriamiento de manera segura.

Diámetros de tubería de refrigeración suelen oscilar entre 4,76 mm (3/16") para los moldes más pequeños y 15,88 mm (5/8") para moldes grandes. En general, los grandes insertos con líneas de refrigeración más grandes proporcionan una refrigeración más rápida y uniforme. La dimensión mínima del largo entre la pieza moldeada y la superficie superior o inferior de la inserción es típicamente tres veces el diámetro de la tubería de refrigeración para evitar concentradores de esfuerzos.

En segundo lugar, el inserto de núcleo y la cavidad debe tener un largo relacionado con el largo de la cavidad disponible y placas de núcleo de inserción de retención (las placas "B" y "A"). Estas placas están comúnmente disponibles en 1/2" incrementos en unidades inglesas, y en incrementos de 10 mm en unidades métricas. Debe tenerse en cuenta que el largo de la pieza de inserción de núcleo no es su largo total, sino más bien la dimensión del largo desde la superficie posterior al plano de separación.

Resolviendo:

$$L_{\text{placa}} = 2(3 * D + L_{\text{cav}}) = 2(3 * 4.76 + 55) = 138.56 \text{ mm}$$

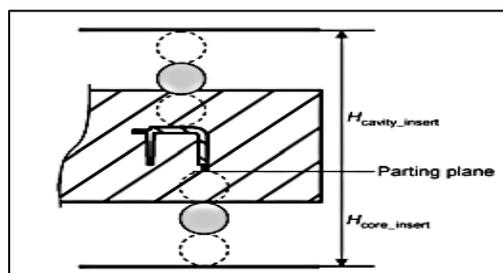


Figura 2.10. Dibujo esquemático del largo de la placa.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.7.3 Dimensiones de altura y ancho de la placa.

Las dimensiones de altura y ancho se determinan de manera similar por dos requisitos:

En primer lugar, si se necesita una línea de enfriamiento alrededor del exterior de la cavidad del molde, los insertos deben ser de un tamaño lo suficientemente grande como para dar cabida a una línea tal enfriamiento.

En segundo lugar, las dimensiones de ancho y altura de los insertos deben proporcionar paredes laterales, también conocidos como "mejilla", que son lo suficientemente gruesa como para soportar la carga lateral de la presión de fusión ejercida sobre las paredes laterales de la cavidad del molde.

Resolviendo:

$$W_{\text{placa}} = 2(3 * D + W_{\text{cav}}) = 2(3 * 4.76 + 55) = 138.56 \text{ mm}$$

$$H_{\text{placa}} = 2(H_{\text{cav}}) = 2(10) = 20 \text{ mm}$$

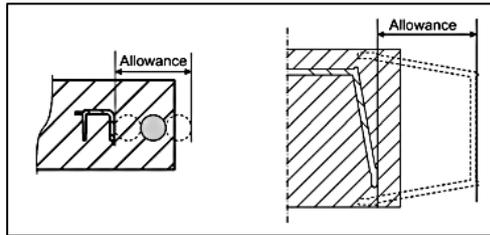


Figura 2.11. Asignación de altura y ancho de la placa.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.7.4 Selección del molde base.

Para determinar el tamaño adecuado, el diseñador debe primero organizar las cavidades del molde y asignar los espacios para los sistemas de refrigeración y alimentación. Posteriormente, el diseñador debe seleccionar un tamaño estándar y verificar la idoneidad con la máquina de moldeo de la máquina de moldeo.

2.7.4.1 Diseño de cavidades.

Si un molde de una sola cavidad está siendo diseñado, la cavidad se encuentra normalmente en el centro del molde, aunque los requisitos de compuerta pueden requerir la colocación de la cavidad del molde fuera del centro. Para moldes de cavidades múltiples, hay esencialmente tres diseños fundamentales:

- Las cavidades se colocan a lo largo de una línea.
- Las cavidades se colocan en una rejilla.
- Las cavidades se colocan alrededor de un círculo.

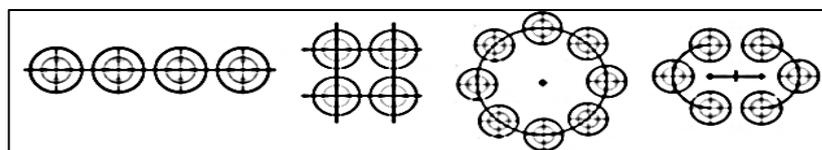


Figura 2.12. Diseño de cavidades en línea, rejilla, circular, híbrido.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.7.4.2 Dimensionamiento del molde base.

El tamaño de la base de molde está determinada principalmente por el área requerida para acomodar el diseño cavidad diseñada.

Debido a que el molde tendrá **4 cavidades en forma de rejilla**, su dimensionamiento estará en función del mismo.

2.7.5 Selección del material del molde.

Como parte del proceso se debe seleccionar los materiales del molde entre los diferentes tipos de metales. Así como hay muchos plásticos diferentes adecuados para moldeo por inyección, hay muchos metales ferrosos y no ferrosos que son adecuados para su uso en moldes de inyección. En esta sección, se discutirán importantes propiedades y compensaciones de materiales de molde.

Para lo cual se realizará una matriz de decisión para seleccionar el material más idóneo para la elaboración del molde. Teniendo en cuenta los siguientes materiales:

- Acero AISI P20.
- Aluminio.
- Acero endurecido H13.

Los factores considerados para la realización de la matriz son los siguientes:

Baja inversión inicial: Costos de adquisición del material.

Coeficiente de conductividad térmica: Capacidad del material para transferir calor.

Calidad de texturizado: Propiedad del material para tener un buen acabado.

Bajos costos de mecanizado: Costos por mecanizado del molde base.

Resistencias a altas temperatura: Punto alto de fusión del material.

Tabla 8. Tabla de comparación de materiales.

Medida de rendimiento	AISI P20	Aluminio	Acero H13
Baja inversión inicial	alto	bajo	medio
Coeficiente de conductividad térmica	medio	alto	medio
Calidad de texturizado	alto	bajo	medio
Bajos costos de mecanizado	medio	alto	medio
Resistencias a altas temperatura	alto	medio	alto

Fuente: Autor, 2015.

Considerando los factores seleccionados, se procede a darle una ponderación:

- Baja inversión inicial: 15%
- Coeficiente de conductividad térmica: 15%
- Calidad de texturizado: 20%
- Bajos costos de mecanizado: 25%
- Resistencias a altas temperatura: 25%

Tabla 9. Matriz de decisión de materiales.

Medida de rendimiento	AISI P20	Aluminio	Acero H13
Baja inversión inicial	0,15	0	0,075
Coeficiente de conductividad térmica	0,075	0,15	0,075
Calidad de texturizado	0,2	0	0,1
Bajos costos de mecanizado	0,125	0,25	0,125
Resistencias a altas temperatura	0,25	0,125	0,25
Total	0,8	0,525	0,625

Fuente: Autor, 2015.

Con los resultados obtenidos se procede a seleccionar el Acero AISI P20.

2.8 Análisis y Diseño de la cavidad de relleno.

Para una pieza moldeada que se produce, la masa fundida de polímero debe ser capaz de llenar completamente la cavidad del molde. En consecuencia, el espesor de pared de la pieza moldeada y las ubicaciones de compuerta deben especificarse de manera que la masa fundida es capaz de atravesar desde las puertas hasta el borde de la cavidad.

2.8.1 Objetivos de relleno de la cavidad.

2.8.1.1 Llenado completo de cavidades del molde.

El diseño de la pieza y el molde debe ser desarrollado de tal manera que la cavidad del molde pueda ser completamente ocupado por la masa fundida de polímero a presiones de fusión viables. Por esta razón, el análisis de llenado de la cavidad del molde se debe realizar para verificar el espesor parte de pared para un material dado, y ayudar en las condiciones de selección y procesamiento de la puerta.

Máquinas de moldeo modernos típicamente pueden suministrar presiones de inyección de aproximadamente 200 MPa (30.000 psi). Sin embargo, una presión de fusión más baja se debe suponer para el llenado de la cavidad para permitir:

- Un tonelaje de cierre inferior requerida.
- Caída de presión razonable en el sistema de alimentación.
- Un factor de seguridad de los errores en las hipótesis.

2.8.1.2 Evitar el llenado irregular o sobre-embalaje.

Durante el llenado, el plástico tenderá a fluir radialmente en la cavidad desde el punto donde se inyecta. En general, el molde debe ser diseñado de tal manera que llega a la masa fundida de polímero de los bordes de la cavidad del molde más alejado de la puerta en aproximadamente el mismo tiempo. Incluso este tipo de llenado permite más uniformidad y presiones de fusión más bajas como se ve en la Figura 2.13. Los defectos resultantes pueden incluir:

- Las presiones excesivas de llenado de la cavidad necesarias para llenar el molde, tonelaje de cierre excesivo, y el parpadeo.
- Incapacidad para llenar la cavidad del molde (tiro corto).
- Alta tensión y la deformación residual.
- Fractura, chorro, y otros defectos estéticos asociados a los cambios en la velocidad de fusión durante el llenado del molde.

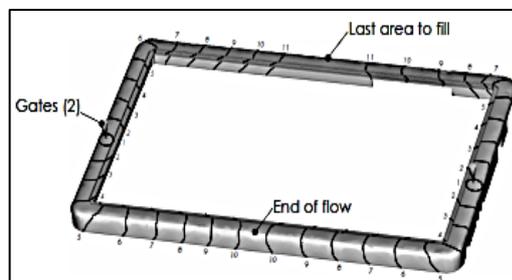


Figura 2.13. Flujo de material en circulación.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.8.1.3 Controlar el flujo de fusión.

Incluso cuando el molde se llena de manera uniforme, el análisis llenando la cavidad se puede utilizar para maximizar la calidad de la pieza. El análisis de llenado de la cavidad se puede realizar para predecir la última zona para llenar de manera que se proporcionan orificios de ventilación y / o espigas de expulsión para el gas desplazado para salir del molde. Para plásticos anisótropos (tales como materiales rellenos de vidrio), análisis de relleno de la cavidad y el diseño se puede realizar para controlar la dirección del flujo para efectuar el moldeo en la orientación, la fuerza o la contracción.

2.8.2 Viscosidad del flujo.

2.8.2.1 Tensión de corte, velocidad de cizallamiento, y la viscosidad.

Considerar el flujo entre una placa móvil y una placa estacionaria como se muestra en la Figura 2.14. Suponiendo que el flujo está completamente desarrollado y no desliza en las paredes, considerar las siguientes ecuaciones:

$$\dot{\gamma} = \frac{dv}{dz} = \frac{v}{h} ; \quad \tau = \eta \dot{\gamma} ; \quad F = \tau * A$$

Donde:

v= velocidad lineal del fluido.

h= espacio entre placas.

η = Viscosidad.

$\dot{\gamma}$ = Velocidad de cizallamiento.

τ = Esfuerzo cortante.

Resolviendo:

$$\tau = \eta \dot{\gamma} = 100 \text{ Pa} * \text{s} * 10^3 \text{ s}^{-1} = 100 \text{ KPa.}$$

$$F = 100 \text{ KPa} * (0.05 * 0.05) = 0.25 \text{ KN}$$

Tabla 10. Rango de velocidades de cizallamiento.

Proceso	Velocidad de cizallamiento (s^{-1})
Sedimentación	$10^{-6} - 10^{-4}$
Moldeo por compresión	$10^0 - 10$
Calandrado	$10^1 - 10^2$
Flujo por tubos	$10^0 - 10^3$
Extrusión	$10^2 - 10^3$
Inyección	$> 10^3$

Fuente: M. Beltrán y A. Marcilla. Tecnología de polímeros, 2014.

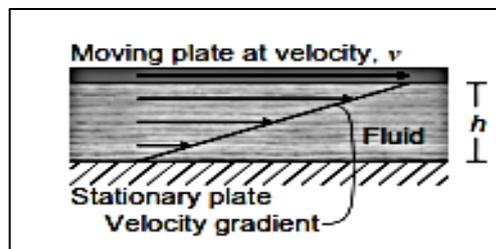


Figura 2.14. Flujo entre dos placas paralelas.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.8.2.2 Caída de presión.

La caída de presión causada por el flujo de la masa fundida de polímero en un canal puede ser analizado teniendo en cuenta la ecuación de movimiento. Para un flujo constante, la suma de las fuerzas debe ser igual a cero.

Se tiene como ecuación de la variación de presión como:

$$\frac{dP}{dL} = \frac{2\tau}{H} \quad ; \quad \Delta P = \frac{dP}{dL} * L$$

Resolviendo:

$$\frac{dP}{dL} = \frac{2\tau}{H} = \frac{2 * 100\text{KPa}}{0.01 \text{ m}} = 20 \frac{\text{MPa}}{\text{m}}$$

$$\Delta P = \frac{dP}{dL} * L = 20\text{MPa} * 0.05 = 1 \text{ MPa}$$

2.8.3 Análisis y diseño de la cavidad de relleno.

2.8.3.1 Estimación de las condiciones de transformación.

Se recomienda que los diseñadores de moldes asuman una temperatura de fusión en la mitad del rango de la temperatura de fusión recomendada por el fabricante del polímero, ya que esto proporciona al operador cierta libertad para ajustar las temperaturas arriba o hacia abajo a los problemas de moldeo correctas o reducir el tiempo de ciclo.

El índice de fluidez verdadera no se conoce hasta después de que el molde está hecho y puesto en marcha. El caudal mínimo es típicamente limitado por la solidificación prematura de la masa fundida en la cavidad del molde que se traduce en un tiro corto.

Para un material newtoniano, la velocidad recomendada es:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{5(T_{\text{plast}} - T_{\text{pared}})k}{3\mu}}$$

Resolviendo:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{5(T_{\text{plast}} - T_{\text{pared}})k}{3\mu}} = \sqrt{\frac{5 * (270 - 10) * 0.1}{3 * 10^2}} = 0.658 \text{ m/seg}$$

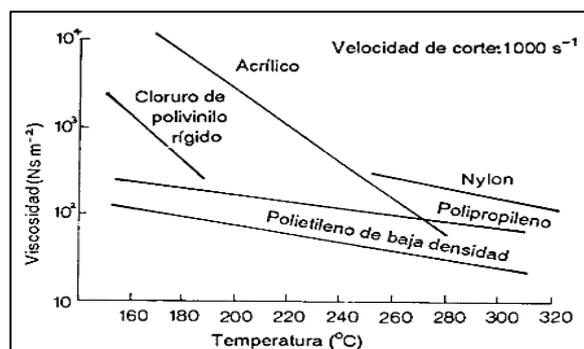


Figura 2.15. Efecto de la temperatura sobre la viscosidad.

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion6.PLASTICOS.ReologiaFundidos.pdf>. 2015

2.8.3.2 Estimación de la presión de llenado.

Para estimar la presión requerida para llenar un molde, el diseñador debe conocer la distancia total que se requiere el flujo de viajar para llenar el molde. Para predecir la presión de llenado en productos complejos, es necesario dividir la geometría en una serie de segmentos simples. El flujo en cada segmento se puede analizar por separado utilizando los modelos newtonianos o la ley de potencias relativas caída de presión a flujos en el segmento.

$$\Delta P = \frac{2k_n L}{H} * \left[\frac{2\bar{v} \left(1 + \frac{1}{n}\right)}{H} \right]^n$$

Donde:

n = Índice de la ley de potencia (para pp $n=1/3$).

k_n = Índice de consistencia del polímero = $1 * 10^4 \text{ Pa} * \text{s}^n$

Resolviendo:

$$\Delta P = \frac{2k_n L}{H} * \left[\frac{2\bar{v} \left(1 + \frac{1}{n}\right)}{H} \right]^n = \frac{2 * 1 * 10^4 * 0.05}{0.01} * \left[\frac{2 * 0.658 * \left(1 + \frac{1}{1/3}\right)}{0.01} \right]^{1/3} = 0.8 \text{ MPa.}$$

2.8.3.3 Estimación del tonelaje de cierre.

Se define como la cantidad de fuerza, generalmente medido en unidades de toneladas métricas de kilo Newton, que se requiere para mantener el molde cerrado durante el funcionamiento. El tonelaje de cierre, se puede calcular como la integral de la presión de fusión que actúa sobre el área proyectada de las cavidades del molde:

$$F_{\text{cierre}} = \int P(A) \cos \theta (A) dA$$

Donde:

F_{cierre} = Fuerza de cierre del molde.

$P(A)$ = Presión de fusión en el molde.

$\cos \theta$ = Ángulo entre la dirección normal a la superficie de cavidad del molde y la dirección de apertura del molde.

A = Área proyectada de la cavidad.

Resolviendo el integral, considerando el ángulo de apertura es cero, queda:

$$F_{\text{cierre}} = P_{\text{cav}} * A_{\text{cav}} = 1 \text{ MPa} * 4(0.055 * 0.055) = 12.1 \text{ KN} = 1.23 \text{ ton}$$

2.8.3.4 Predicción de patrones de llenado.

Los patrones se pueden predecir utilizando la técnica de análisis plana laico, y son útiles para entender el comportamiento de la masa fundida en el llenado del molde, la localización de las puertas, la identificación de los lugares de la línea de punto, y ayudar en otros aspectos de diseño de moldes.

Para predecir los patrones de llenado, los lados del recipiente se "cortan" en las esquinas y las paredes laterales doblados para hacer un piso plano. La Figura 2.16 muestra un esquema de como se muestra el flujo de material.

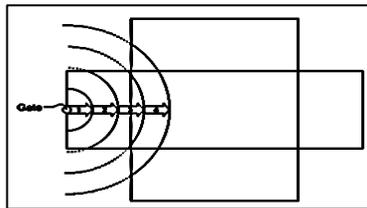


Figura 2.16. Dirección de flujo del material plastificado.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.8.3.5 Diseño de Líderes de flujo.

El análisis de flujo newtoniano se utilizará para rediseñar el espesor de la pared del recipiente para resolver el problema del flujo de seguimiento. Para eliminar la caída de presión a través de la línea central debe ser igual a la caída de presión en todo el perímetro:

$$\Delta P_{\text{línea centro}} = \Delta P_{\text{pared lateral}}$$

Esta condición se asegurará de que el flujo atraviesa a través de la línea central, al mismo tiempo que el flujo llega a los rincones más alejados de las paredes laterales adyacentes a eliminar el fenómeno carrera de seguimiento. A partir de la geometría de la pieza, se calculan las longitudes de flujo a través de la línea central y alrededor de las paredes laterales.

La caída de presión a través de la línea central y alrededor de las paredes laterales pueden ser evaluados como:

$$\frac{12 * \mu_{\text{línea centro}} * L_{\text{línea centro}} * \bar{v}_{\text{línea centro}}}{H_{\text{línea centro}}^2} = \frac{12 * \mu_{\text{pared lateral}} * L_{\text{pared lateral}} * \bar{v}_{\text{pared lateral}}}{H_{\text{pared lateral}}^2}$$

Las velocidades de fusión en secciones de diferentes secciones no serán iguales. De hecho, se desea que la velocidad del perímetro sea:

$$\bar{v}_{\text{pared lateral}} = \bar{v}_{\text{línea centro}} * \frac{L_{\text{pared lateral}}}{L_{\text{línea centro}}}$$

Esta condición hará que la masa fundida para llegar a la esquina más alejada de la pared lateral al mismo tiempo que alcanza el lado opuesto de la cavidad a lo largo de la línea central. Sustituyendo esta relación y resolviendo para el espesor de las paredes laterales, nos queda:

$$H_{\text{pared lateral}} = H * \frac{L_{\text{pared lateral}}}{L_{\text{línea centro}}} \sqrt{\frac{\mu_{\text{pared lateral}}}{\mu_{\text{línea centro}}}}$$

Resolviendo:

Suponiendo que la viscosidad del polímero no cambia, se tiene lo siguiente:

$$H_{\text{pared lateral}} = H * \frac{L_{\text{pared lateral}}}{L_{\text{línea centro}}} = 0.01 * \frac{0.055}{0.055} = 0.01\text{m}$$

Debido a la geometría de la pieza a fabricarse, las alturas no cambian.

2.9 Diseño del sistema de alimentación.

El propósito del sistema de alimentación es el de transmitir la masa fundida de plástico de la máquina de moldeo a las cavidades del molde. El diseño de sistemas de alimentación puede variar desde muy simple a muy complejo. El aumento de la inversión en el diseño del sistema de alimentación tiende a prever el tiempo de ciclo reducido y menos desperdicio de material cuando se utiliza el molde.

2.9.1 Objetivos a cumplir en el diseño del sistema de alimentación.

- Transmitir el polímero fundido de la máquina a la Cavidades.
- Asegurar la mínima caída de presión.
- Consumo mínimo de material.
- Controlar las velocidades de flujo.

2.9.2 Tipos de sistemas de alimentación.

2.9.2.1 Molde de dos platos.

El polímero fundido fluye por el manguito de bebedero, atravesando de ese modo el espesor de la placa de sujeción superior y una placa. El material fluye entonces a través del plano de separación a través de los corredores y puertas en una o más cavidades del molde. Como se puede ver en la Figura 2.17 la ubicación del manguito del bebedero (sprue bushing).

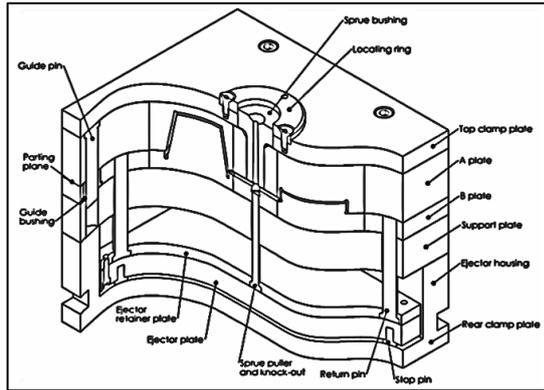


Figura 2.17. Sección isométrica del molde de dos placas.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

Después de que el plástico se haya solidificado, se abre el molde en el plano de separación, que se encuentra entre la A y las placas B. Después de que el molde se ha abierto lo suficiente para quitar las piezas, la placa expulsora es empujada hacia adelante por la máquina de moldeo. La figura 2.18 muestra el moldeo que se produce a partir del diseño del molde de dos platos.

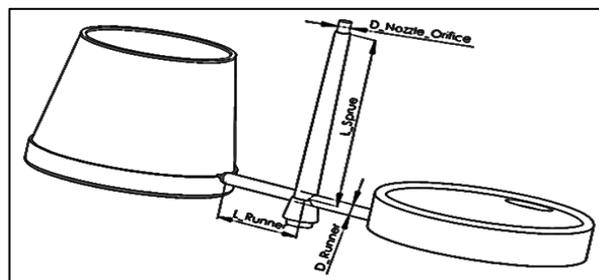


Figura 2.18. Moldeo de dos cavidad con corredores y bebedero (colado).

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

Si se desea tener más cavidades en el molde, se debe diseñar varios caminos de alimentación (primario, secundario, terciario, etc.) para el correcto llenado de las cavidades como se muestral en la Figura 2.19.

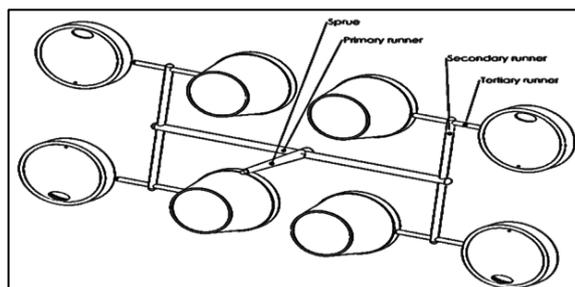


Figura 2.19. Moldeo de ocho cavidad con corredores y bebedero (colado).

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.9.2.2 Molde de tres Platos.

Se componen de tres secciones de molde que se mueven uno respecto al otro, con cada sección consta de una o más placas. La adición de un segundo plano de separación entre la placa A y la parte superior placa de sujeción permite a los corredores que se encuentran por encima de las cavidades del molde, y para atravesar a través de la anchura y la longitud del plano de separación sin interferir con las cavidades del molde. Por esta razón, el molde de tres placas proporciona una mayor libertad con respecto a las ubicaciones de activación periódica y la disposición del sistema de alimentación. Un beneficio es que los moldes de tres placas proporcionan separación automática de las piezas moldeadas a partir del sistema de alimentación como muestra la Figura 2.20.

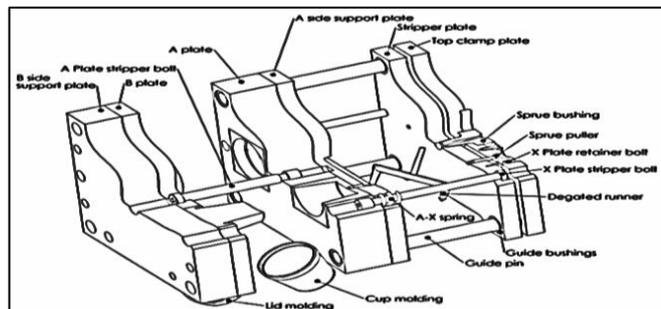


Figura 2.20. Sección isométrica del molde de tres placas.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

Figura 2.21 proporciona una sección a través de un molde de tres placas totalmente abierta sin el sistema eyector o placa de sujeción trasera. Durante el funcionamiento del molde, la velocidad de apertura del molde y la posición debe ser determinada y controlada para lograr un ciclo eficiente y totalmente automático con cuidado.

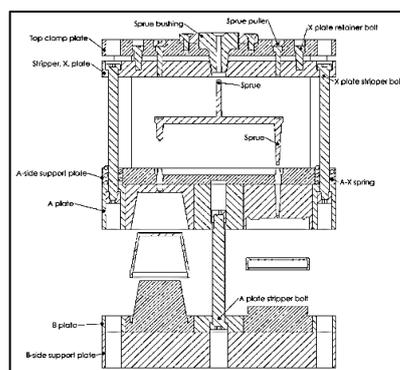


Figura 2.21. Sección isométrica del molde de tres placas.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.9.2.3 Molde de colada caliente.

En los moldes de canal caliente se deben considerar siempre la flexibilidad de apertura, la eficiencia del ciclo, y la eficiencia de los materiales son importantes. En un sistema de canal caliente, el sistema de alimentación está encerrado en un canal de calefacción por lo que el plástico permanece fundido durante el proceso de moldeo.

no es raro que los moldes de canal caliente para funcionar con tiempos de ciclo 20% más rápidos y 20% menos de material de desecho que una de dos placas o tres placa de molde de canal frío convencional. Sin embargo, los moldes de canal caliente no se requiere una inversión inicial mayor que cualquiera de los dos o tres de placa de la placa de moldes, y también requieren controladores y energía para mantener una temperatura de fusión uniforme.

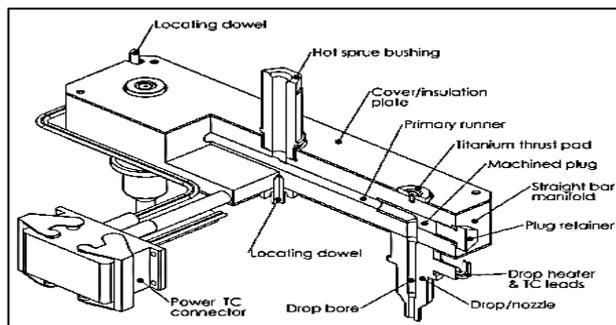


Figura 2.22. Sección isométrica del molde de colada caliente.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

La Figura 2.22 proporciona una sección a través de una vista isométrica de un sistema de canal caliente. Este diseño incluye un casquillo caliente del bebedero, colector, dos gotas o "boquillas", cuatro zonas de control de calefacción, y otros componentes. Durante el funcionamiento, el material de la boquilla de la máquina de moldeo se desplazará hacia abajo el manguito de bebedero caliente al canal de colada primario situado en el colector. La masa fundida a continuación, atraviesa a lo largo de uno o más corredores a las boquillas de canal caliente. La longitud de la boquilla se determina por la distancia desde el colector a la ubicación compuerta de la cavidad del molde.

2.9.3 Análisis del sistema de alimentación.

El diseño de los sistemas de alimentación debe cumplir con las directrices básicas discutidas previamente. En resumen, el sistema de alimentación debe:

- Asegurar una caída de presión mínima, típicamente no mayor que 50% de la presión requerida para llenar las cavidades del molde o 50 MPa.
- Consumir una cantidad mínima de material, típicamente no mayor que 30% del volumen de las cavidades del molde para moldes de colada en frío o 100% del volumen de las cavidades del molde de colada caliente.
- No extender el tiempo de enfriamiento.

La velocidad de la masa fundida se puede conservar en un sistema de canal ramificado, utilizando la siguiente fórmula:

$$D_{\text{descendente}} = \frac{D_{\text{ascendente}}}{\sqrt{\eta_{\text{descendente}}}}$$

Donde:

$D_{\text{descendente}}$ = Diámetro de salida del bebedero.

$D_{\text{ascendente}}$ = Diámetro de entrada del bebedero.

$\eta_{\text{descendente}}$ = Número de ramas.

Resolviendo:

$$D_{\text{descendente}} = \frac{5 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = \mathbf{2.88 \text{ mm}}$$

2.9.3.1 Determinación del tipo de sistema de alimentación.

La Tabla 11 proporciona una comparación de las propiedades de los tipos de sistemas de alimentación común. Dependiendo del tipo de molde que se tiene, se hace la selección del tipo de alimentación.

Tabla 11. Tipos de sistemas de alimentación y sus propiedades.

Tipos de sistemas de alimentación	Inversión inicial	Capacidad moldeadora	Eficiencia del material	Eficiencia del ciclo
Dos platos	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Muy bajo
Tres platos	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
corredor con aislamiento	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Colada caliente	Alto	Moderado	Alto	Alto
molde pila	Muy alto	Alto	Alto	Muy alto

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.9.3.2 Determinación de la distribución del sistema de alimentación.

El sistema de alimentación debe ser diseñado para proporcionar la cantidad necesaria de flujo de fusión a las presiones de fusión propias a cada una de las cavidades. Por esta razón, un número de formatos del sistema de alimentación se han convertido en común, incluyendo series, ramificación, radial, híbrido.

En este caso se utilizara un molde con 4 cavidades, por lo tanto se utilizará un camino de ramificaciones primarias y secundarias como en la Figura 2.23.

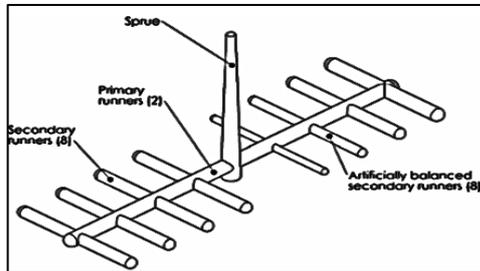


Figura 2.23. Diseño de un sistema de canal en series.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

Dependiendo de la cantidad de figuras a moldearse, los tipos de ramificaciones varían, a continuación se muestran varios diseños en la Figura 2.24.

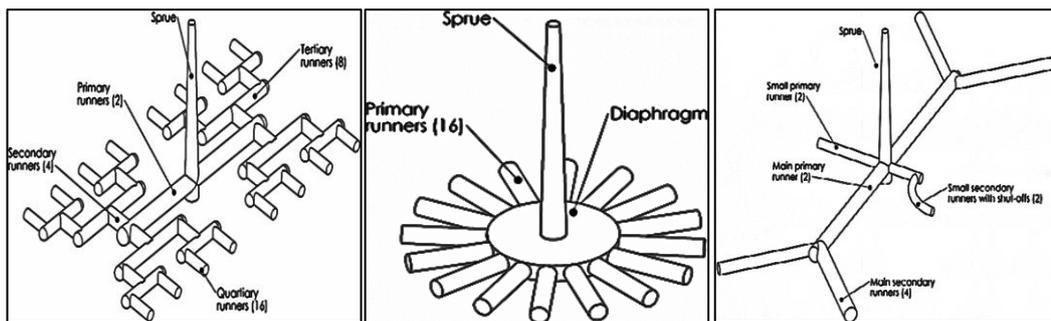


Figura 2.24. Diseño de un sistema de canal ramificado, radial, personalizado.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.9.3.3 Estimación de la caída de presión.

Una vez que el diseño y la longitud del sistema de alimentación se han determinado, los diámetros de cada parte del sistema de alimentación se deben determinar según el análisis. El flujo de masa fundida de polímero a través del sistema de alimentación está en el régimen de flujo laminar. Para comprobar el flujo laminar, el número de Reynolds debe ser inferior a 2.300:

$$Re = \frac{4 * \rho_{plast} * \dot{V}_{plast}}{\pi * \mu_{plast} * D} < 2300$$

La pérdida de carga se puede estimar como:

$$\Delta P = \frac{2k_n L}{R} \left[\frac{\left(3 + \frac{1}{n}\right) * \dot{V}_{plast}}{\pi R^3} \right]^n$$

Donde:

k_n = Índice de consistencia del polímero = $1 * 10^4 \text{ Pa} * \text{s}^n$

Resolviendo:

$$\Delta P_{\text{bebedero}} = \frac{2 * 1 * 10^4 * 0.05}{0.0025} \left[\frac{\left(3 + \frac{1}{3}\right) * 1.3 * 10^{-5}}{\pi 0.0025^3} \right]^{1/3} = 4.66 \text{ MPa}$$

Si se considera que son dos líneas primarias de 25mm de longitud, el flujo de polímero sería el 50% de \dot{V}_{plast} para cada línea, por lo tanto:

$$\Delta P_{\text{lin pri}} = \frac{2 * 1 * 10^4 * 0.025}{1.44 * 10^{-3}} \left[\frac{\left(3 + \frac{1}{3}\right) * 0.65 * 10^{-5}}{\pi (1.44 * 10^{-3})^3} \right]^{1/3} = 5.58 \text{ MPa}$$

Si se considera que son cuatro líneas secundarias de 10mm de longitud, el flujo de polímero sería el 25% de \dot{V}_{plast} para cada línea, por lo tanto:

$$\Delta P_{\text{lin sec}} = \frac{2 * 1 * 10^4 * 0.01}{1.44 * 10^{-3}} \left[\frac{\left(3 + \frac{1}{3}\right) * 0.325 * 10^{-5}}{\pi (1.44 * 10^{-3})^3} \right]^{1/3} = 1.77 \text{ MPa}$$

Para determinar la caída de presión en la boquilla, se tiene lo siguiente:

$$\Delta P_{\text{boq}} = \frac{2 * 1 * 10^4 * 0.10}{2.88 * 10^{-3}} \left[\frac{\left(3 + \frac{1}{3}\right) * 0.65 * 10^{-5}}{\pi (2.88 * 10^{-3})^3} \right]^{1/3} = 5.58 \text{ MPa}$$

Teniendo como la caída de presión total como:

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{bebedero}} + \Delta P_{\text{lin pri}} + \Delta P_{\text{lin sec}} + \Delta P_{\text{boq}}$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 4.46 + 5.58 + 1.77 + 5.58 = 17.4 \text{ MPa}$$

2.9.3.4 Cálculo del volumen de recorrido.

El volumen total del sistema de alimentación, puede calcularse como:

$$V_{\text{total}} = \sum_{j=1}^m N_j * V_j$$

Resolviendo:

$$V_{\text{total}} = 4V_{\text{pieza}} + 4V_{\text{lin sec}} + 2V_{\text{lin pri}} + V_{\text{boq}} + V_{\text{bebedero}}$$
$$V_{\text{total}} = 4(21200 * 10^{-9}) + 4(0.01\pi(1.44 * 10^{-3})^2) + 2(0.025\pi(1.44 * 10^{-3})^2) + (0.1\pi(2.88 * 10^{-3})^2) + (0.05\pi(2.5 * 10^{-3})^2) = \mathbf{1.262 * 10^{-4}m^3}$$

2.9.3.5 Estimación de tiempo de permanencia.

Para diseños de moldes canal caliente, se debe comprobar el tiempo de permanencia de la masa fundida de polímero en el canal caliente para asegurar que el plástico no se degradará. El tiempo de permanencia está directamente relacionada con el número de vueltas necesarias para la vuelta a la masa fundida de polímero en el sistema de canal caliente, define como:

$$\eta_{\text{vueltas}} = \frac{V_{\text{canal cal}}}{V_{\text{cav}}}$$

Si el volumen del canal caliente es grande en comparación con el volumen de las cavidades del molde, a continuación, muchos ciclos de moldeo pueden ser obligados a forzar nuevo material a través del sistema de alimentación.

Un alto número de vueltas también es indeseable para el moldeo de aplicaciones con resinas que tienen tiempos de permanencia cortos admisibles. El tiempo de residencia del material en el sistema de canal caliente es:

$$t_{\text{permanencia}} = (1 + \eta_{\text{vueltas}}) * t_{\text{ciclo}}$$

Este tiempo de permanencia es aproximado ya que el material fluye a través del sistema de canal caliente; el polímero fundido cerca de las paredes y en los puntos muertos del canal caliente puede tener tiempos de residencia más largos de lo previsto por la ecuación. Además, se debe recordar que el material que fluye en el sistema de canal caliente ya ha residido en el barril de la máquina de moldeo para una cantidad significativa de tiempo.

2.10 Diseño de entrada de material.

2.10.1 Objetivos de diseño de entrada de material.

- Conectar el recorrido del material con la cavidad del molde.
- Proporcionar una entrada automática de material.
- Proporcionar estética en la entrada de material a la cavidad.
- Evitar la gota de cizallamiento o presión excesiva.
- Control del paquete de tiempos.

2.10.2 Diseños comunes de entradas.

2.10.2.1 Entrada de bebedero.

El canal de colada proporciona flujo de masa fundida la de un bebedero directamente en la cavidad del molde como se muestra en la Figura 2.25. La entrada de bebedero se utiliza más comúnmente en moldes de cavidades individuales en las que el manguito de bebedero de molde linda directamente la superficie de la cavidad del molde. El propio canal de colada es la interfaz entre la parte inferior del bebedero y la parte superior de la cavidad. Puesto que no tiene longitud, no hay caída de presión asociada con la entrada de bebedero. Dada relativamente grandes dimensiones de la mayoría de los diseños de bebedero, las caídas de presión y velocidades de corte son relativamente bajas, tales que las altas tasas de flujo en la cavidad se pueden lograr.

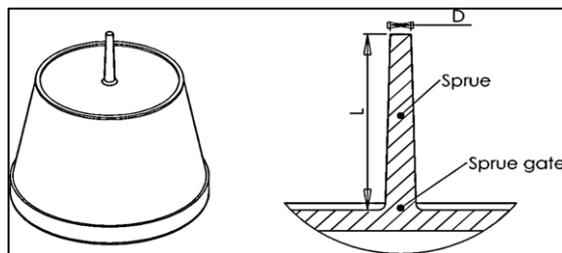


Figura 2.25. Diseño de entrada de bebedero.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.10.2.2 Entrada pin - point.

La entrada de pin-point es un tipo común de puerta se utiliza para conectar un bebedero o corredor de la cavidad del molde a través de una pequeña abertura cilíndrica como se muestra en la Figura 2.26. Se utilizan a menudo con moldes de tres placas con bebederos con forma cónica inversa. También se utilizan en moldes de dos placas para conectar el corredor a las paredes laterales de la cavidad del molde.

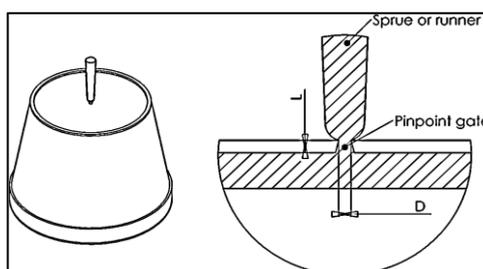


Figura 2.26. Diseño de entrada pin - point.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.10.2.3 Entrada de borde.

La entrada de borde es un tipo común de la puerta se utiliza para conectar un corredor frío hasta el borde de una cavidad de molde como en la Figura 2.27. Se puede seleccionar el espesor, la longitud y valores de anchura de acuerdo con las necesidades de la aplicación. En general, el espesor de la entrada de borde debe ser menor que el espesor de pared de la pieza moldeada, pero puede aproximarse el grosor de la pieza moldeada si las tasas de cizallamiento son una preocupación. La anchura de la puerta debe ser menor que el diámetro del corredor, pero lo suficientemente amplia como para evitar excesivas velocidades de cizallamiento. La longitud de la entrada de borde debe mantenerse a un mínimo, pero lo suficientemente largo para proporcionar la máquina de moldeo para el acceso del operador.

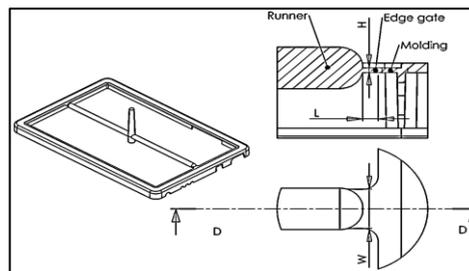


Figura 2.27. Diseño de entrada de borde.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.10.2.4 Entrada de pestaña.

La entrada de pestaña se puede considerar una variante de la entrada de borde, en la que una pestaña se añade de forma permanente a la moldura con el propósito de mejorar la apertura como en la Figura 2.28. Aunque los flujos de la masa fundida desde el corredor en el marco interior delgada de la luneta, que puede causar congelación prematura del flujo y excesiva contracción volumétrica en las secciones más gruesas de los alrededores. Para mejorar el flujo, una pestaña, costilla, u otra característica se añade a la cavidad de molde para el único propósito de apertura. Puede ser muy eficaz con respecto al costo y el rendimiento de moldeo. La clave de su eficacia es establecer posibles áreas de compuerta donde sus restos no afectar la estética o funcionalidad de las molduras resultantes. Una vez establecidas estas zonas de compuerta, el diseñador de molde debe seleccionar cualquier geometría ficha y dimensiones son apropiados para la aplicación.

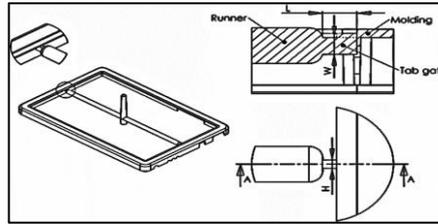


Figura 2.28. Diseño de entrada de pestaña.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.10.2.5 Entrada ventilador.

La entrada ventilador puede ser considerada como entrada de borde, en el que la anchura de la entrada ventilador en la parte de moldeo excede el diámetro del rodete. El diseño se muestra en la Figura 2.29. En este caso, la anchura de la puerta de ventilador ha sido seleccionada para evitar excesivas velocidades de cizallamiento cuando los flujos de la masa fundida en la cavidad a una velocidad de flujo volumétrico alta. Dada la gran anchura de estas entradas, el sistema de alimentación se elimina normalmente cortando potencia.

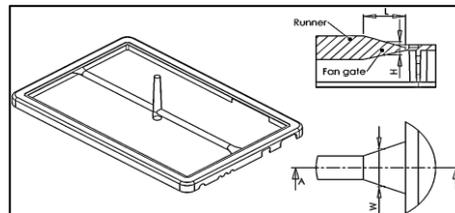


Figura 2.29. Diseño de entrada ventilador.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.10.2.6 Entrada luz/diagrama.

Implica un flujo de fusión a través de una sección delgada. En consecuencia, la entrada de luz consta de una sección circular de espesor adyacente a una sección rectangular delgada como en la Figura 2.30. Durante el moldeo, la masa fundida se procederá desde el corredor en la sección circular. La sección adyacente delgada hará que el flujo de fusión se desacelere, fresco, y potencialmente congelar mientras llena la fusión de la sección de espesor. Una vez que golpea la masa al final de la sección gruesa, la presión de la masa fundida aumentará y forzará el material congelado en la sección delgada a fluir. Dado que la resistencia al flujo a lo largo de la sección gruesa es pequeño comparado con la resistencia al flujo a través de la sección delgada, la entrada proporciona un flujo de fusión lineal a la cavidad a través de su anchura.

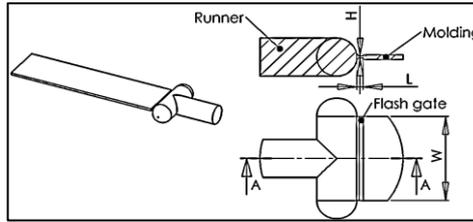


Figura 2.30. Diseño de entrada de luz.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.10.2.7 Entrada de túnel.

La entrada de túnel es un tipo común de entrada que se puede considerar una variante de la entrada punta de alfiler. Su principal ventaja es que la entrada de túnel proporciona para de apertura automática con el accionamiento de un sencillo molde de dos placas. El diseño de una entrada túnel para el moldeo tapa se muestra en la Figura 2.31. En comparación con la entrada de punta de alfiler, los cambios parecen ser cosmético con la adición de algunas vueltas y se estrecha. Estas diferencias son insignificantes con respecto al flujo de la masa fundida de plástico, por lo que las dimensiones de la puerta del túnel se deben determinar cómo se discutió previamente para proporcionar velocidades de cizallamiento razonables y caídas de presión.

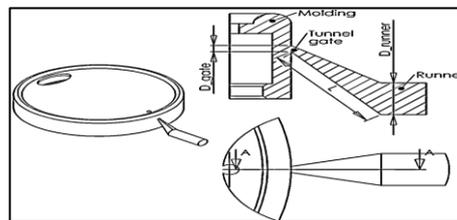


Figura 2.31. Diseño de entrada de túnel.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.10.2.8 Entrada térmica.

Las entrada térmicas en canales calientes también deben proporcionar un tapón solidificado que impide que la masa fundida de plástico en el canal caliente fluya fuera de la entrada cuando se abre el molde y el plástico solidificado cerca de la entrada se elimina con la moldura. Uno tipo común de entrada utilizadas en canales calientes es la entrada punta de alfiler como en la Figura 2.32. En este diseño, un calentador altamente conductor se inserta en la boquilla cerca de la entrada. El propósito del calentador es para transmitir el calor desde la boquilla hacia la entrada y mantener fundida el plástico.

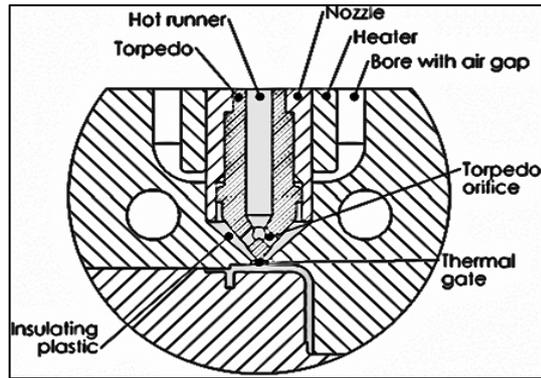


Figura 2.32. Diseño de entrada térmica.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.10.2.9 Entrada de válvula.

Se basan en una capa solidificada de plástico para evitar fugas, y esta capa solidificada puede no ser suficientes en una variedad de circunstancias. Para resolver las limitaciones de la entrada térmica, se han desarrollado entradas accionadas mecánicamente la válvula. Uno de estos diseños se muestra en la Figura 2.33. Durante el funcionamiento, el pasador de válvula se retrae para proporcionar acceso a la cavidad del molde. Después de la cavidad se llena y lleno, la espiga de válvula se hace avanzar para sellar la entrada.

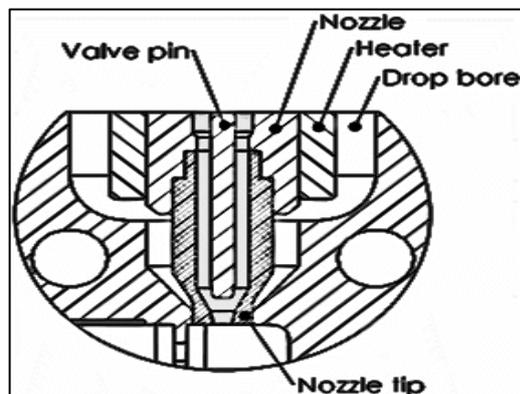


Figura 2.33. Diseño de entrada de válvula.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.10.3 Diseño del proceso de apertura de puerta.

2.10.3.1 Determinar el tipo de puerta.

Para facilitar la selección puerta, la Tabla 12 se presenta un resumen de los tipos y propiedades de puertas comunes, las cuales se tomarán como referencia para una correcta selección de la puerta para el molde:

Tabla 12. Tipos y propiedades de entrada.

Tipo de puerta	Tipo de colada	Modo de apertura	Velocidad de cizallamiento	Flujo resultante
Bebedero	Frío	Manual	Moderado	Radial
Pin - point	Frío	Automático	Alto	Radial
Borde	Frío	Manual	Moderado	Radial
Pestaña	Frío	Manual	Moderado	Radial
Luz/diagrama	Frío	Manual	Moderado	Lineal
Ventilador	Frío	Manual	Bajo	Lineal
Túnel	Frío	Automático	Alto	Radial
Térmico pin	Caliente	Automático	Alto	Radial
Térmico bebedero	Caliente	Automático	Moderado	Radial
valvula	Caliente	Automático	Moderado	Radial

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.11 Diseño para el desfogue de gases.

2.11.1 Objetivos de diseño para el desfogue de gases.

- Liberar el aire comprimido.
- Insertar la masa de plástico.
- Minimizar el mantenimiento.

2.11.2 Análisis del desfogue de gases.

2.11.2.1 Estimación del desplazamiento de aire.

La cantidad de aire desplazado será aproximadamente igual al volumen del plástico inyectado. El término "aproximadamente" se utiliza aquí para indicar que el aire se expandirá un poco cuando fue contactado por la masa fundida de plástico caliente. Sin embargo, el aire caliente también se enfriará un poco a medida que fluye más allá de la superficie del molde. Por estas razones, el análisis aquí asumirá que la tasa de flujo volumétrico del aire será igual a la tasa de flujo volumétrico de la masa fundida.

2.11.2.2 Identificación del número y ubicación de los respiraderos.

En general, existen tres tipos diferentes de lugares donde es necesaria la ventilación. El primer tipo de respiradero se requiere donde converge la masa fundida en un borde del plano de separación del molde u otra superficie de cierre. El segundo tipo de ventilación se requiere que dos masas fundidas convergen en forma de punto o línea de soldadura. El tercer tipo de ventilación es requerido donde converge la masa fundida en un bolsillo en el molde.

2.11.2.3 Especificación de las dimensiones del respiradero.

Se puede estimar el flujo de aire a través de cada ventilación como el flujo volumétrico de aire total dividido por el número de orificios de ventilación. Sin embargo, no se conoce la ubicación exacta del final de llenado. Como tal, es posible que gran parte del flujo de aire puede favorecer de manera desproporcionada a cualquiera de las cuatro posiciones en cada lado de la pieza. Un enfoque más conservador es asumir que el flujo del aire local sale a través de cada ventilación disponible.

La caída de presión de un fluido newtoniano en un canal rectangular es:

$$\Delta P_{\text{aire}} = \frac{12 * \mu_{\text{aire}} * \dot{V}_{\text{aire}} * L}{W * h_{\text{vent}}^3}$$

Despejando h se tiene:

$$h_{\text{vent}}^{\text{min}} = \sqrt[3]{\frac{12 * \mu_{\text{aire}} * \dot{V}_{\text{aire}} * L}{W * \Delta P_{\text{aire}}}}$$

Resolviendo:

$$h_{\text{vent}}^{\text{min}} = \sqrt[3]{\frac{12 * 1.8 * 10^{-5} * 1.3 * 10^{-5} * 0.055}{0.01 * 0.1 * 10^6}} = 5.36 * 10^{-5} \text{m} = \mathbf{0.05\text{mm}}$$

2.11.3 Diseño del respiradero.

2.11.3.1 Respiradero en plano de separación.

Estos respiraderos se proporcionan comúnmente como canales muy finos directamente en el extremo de flujo. Muchos moldes se fabrican con rejillas de ventilación en el plano de separación que emanan desde el borde de la línea de separación hacia el exterior a un "alivio" más gruesa de ventilación o respiradero "canal". La Figura 2.34 ofrece un diseño de sistema de ventilación para el bisel, en el que dos rejillas de ventilación se ponen en las superficies interiores y exteriores de la cavidad.

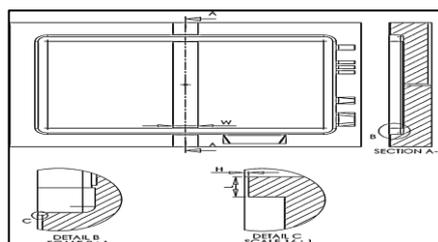


Figura 2.34. Diseño de respiradero en plano de separación.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.11.3.2 Orificios de ventilación alrededor de pines eyectores.

En primer lugar, el accionamiento del eyector sirve para al menos parcialmente claro que el canal de ventilación entre el pasador y el núcleo. En segundo lugar, los expulsores son de uso común y bien entendido. Desde un espacio libre necesario especificar alrededor del pasador para proporcionar un ajuste deslizante de todos modos.

La Figura 2.35 proporciona algunos detalles de diseño típicos de ventilación utilizando espigas de expulsión. Detalle B muestra una hoja de expulsión y un pasador de expulsión que se ha asignado espacio libre para ventilación.

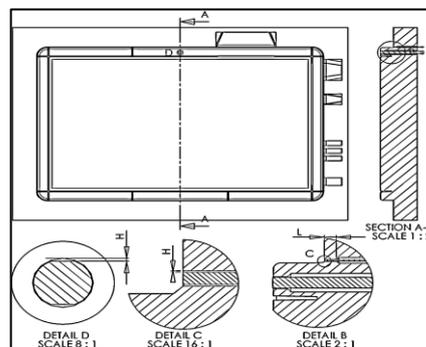


Figura 2.35. Diseño de respiradero alrededor de pines eyectores.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.11.3.3 Respiradero de bolsillo.

La Figura 2.36 muestra un diseño en el que una caja rectangular se ha mecanizado en la pieza principal, en la que un inserto de ventilación se ha colocado. Como se muestra en el detalle A, el respiradero solamente abarca toda la anchura de la nervadura, donde se espera que el aire atrapado. Puesto que no hay pasador de expulsión, no hay necesidad de una transición suave entre la abertura y el canal de ventilación.

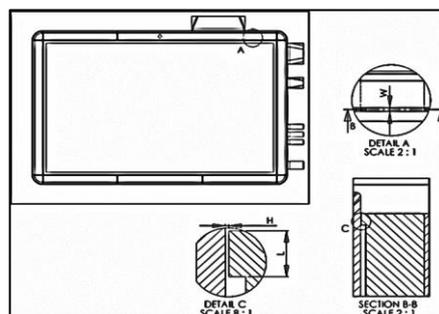


Figura 2.36. Diseño de Respiradero de bolsillo.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering. 2007

2.12 Contracciones y curvados.

La contracción de piezas de plástico moldeadas se rige principalmente por la contracción térmica del plástico, la compresibilidad del plástico a presiones de embalaje, y a un grado muy pequeño por la expansión térmica del metal del molde. Antes de moldeo, las dimensiones de la cavidad del molde pueden variar ligeramente de las dimensiones mecanizadas, dado que el molde puede estar a una temperatura del refrigerante por encima de la temperatura ambiente. La expansión térmica de la cavidad del molde, indicado por las líneas de trazos, se puede calcular como el molde de coeficiente de metal de expansión térmica multiplicado por la diferencia de temperatura entre el refrigerante molde y la temperatura ambiente. Para un inserto de molde P20, el coeficiente de expansión térmica es $12.8 * 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Tras la eyección, la mayoría de las tensiones desarrolladas en el plástico son liberados, y el moldeo de plástico se encoge instantáneamente. El enfriamiento adicional después del molde permite que el moldeo se equilibre a temperatura ambiente y la relajación adicional de cualquier tensión residual.

Esta reducción relativa de la longitud de la pieza de la dimensión del molde diseñado se conoce como la contracción, s :

$$s = 1 - \frac{L_{\text{mold}}}{L_{\text{cav}}}$$

Para determinar la longitud, ancho y altura de la cavidad con un máximo de 0.75% de contracción, se tiene el siguiente despeje:

$$L_{\text{cav}} = \frac{L_{\text{mold}}}{(1 - s)}; \quad H_{\text{cav}} = \frac{H_{\text{mold}}}{(1 - s)}; \quad W_{\text{cav}} = \frac{W_{\text{mold}}}{(1 - s)}$$

Resolviendo:

$$L_{\text{cav}} = \frac{0.05}{1 - 0.0075} = \mathbf{0.0503 \text{ m}}$$

$$W_{\text{cav}} = \frac{0.05}{1 - 0.0075} = \mathbf{0.0503 \text{ m}}$$

$$H_{\text{cav}} = \frac{0.01}{1 - 0.0075} = \mathbf{0.01007 \text{ m}}$$

Dependiendo de las condiciones de diseño que exija cumplir la norma, el porcentaje de contracción puede variar, debido a las propiedades mecánicas que puede presentar el polímero a utilizarse en el proceso de inyección.

2.12.1 Análisis de contracción.

2.12.1.1 Condiciones del Proceso de Estimación.

El primer paso en la predicción de la contracción es estimar la presión y la temperatura de la masa fundida de polímero a partir de la geometría del molde y ajuste de la máquina. Puesto que la presión y la temperatura exacta no se conocen de antemano, se puede asumir que la temperatura de fusión es igual a la temperatura media recomendada desde el proveedor del material. La presión de fusión es más difícil de predecir ya que el moldeador ajustará las presiones de llenado y envasado para hacer frente a una variedad de necesidades (incluyendo contracción). Sin embargo, una práctica común es que la presión de compresión se establece en 80% de la presión requerida para el llenado.

2.12.1.2 Recomendaciones al final de la contracción.

La realidad es que la contracción exacta no se conocerá antes de que el molde se ha diseñado, construido y probado. Los objetivos a cumplir son:

- Proporcionar un molde mecanizado con un valor de contracción que puede ser operado bajo una gama de condiciones de proceso para llevar las dimensiones de la pieza dentro de la especificación.
- Proporcionar un molde que se mecaniza "acero de forma segura" de tal manera que el molde se puede alterar fácilmente si es necesario para que la parte dentro de las especificaciones.
- Proporcionar un valor de contracción que está cerca de la contracción real del material.

2.12.1.3 Diseño del molde "acero seguro".

Debido a que la tasa de contracción exacta se desconoce, una práctica común para los diseñadores de moldes es diseñar y construir el molde de manera que es "acero de forma segura". En este contexto, "seguro de acero" significa que los insertos de núcleo y cavidad están deliberadamente diseñados para que puedan ser ampliados por arranque de metal molde existente si se encuentran las dimensiones del producto a ser insuficiente. Mediante el diseño de la cavidad más pequeña y más grande que el núcleo requerida por el comportamiento de contracción, el diseñador está proporcionando reserva de metal que se pueden mecanizar para afinar las dimensiones del molde.

2.12.1.4 Dependencia de Procesamiento.

El efecto de varias condiciones de procesamiento críticos en la contracción se muestra en la Figura 2.37. Las variables primarias, como se esperaba, están relacionados con la presión y la temperatura de la masa fundida en la cavidad. Tanto el tiempo de embalaje y de refrigeración son importantes. La temperatura del refrigerante tiene un efecto ligeramente mayor que la temperatura del cilindro, debido a que controla más directamente la temperatura del moldeo después de la expulsión.

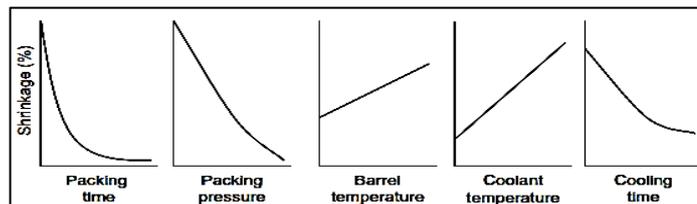


Figura 2.37. Efecto de las condiciones de procesamiento sobre la contracción.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.12.1.5 Efectos de relleno.

Los rellenos se pueden utilizar para influir en la cantidad de contracción que un material presenta. Los rellenos más comunes son mica, perlas de vidrio, fibra de vidrio, carbono negro, y caucho. La densidad y el coeficiente de expansión térmica de estos materiales se proporcionan en la Tabla 13.

Tabla 13. Densidad y CET para rellenos comunes.

Relleno	Densidad (Kg/m ³)	Coefficiente de Exp. Ter. (* 10 ⁻⁶ °C ⁻¹)	Anisotropía significativa
Carbono negro	2000	0,5	no
Cristal	2600	3	no
Fibra de vidrio	2600	3	si
Mica en polvo	2800	10	no
Caucho	1500	80	no

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.12.2 Deformaciones.

2.12.2.1 Fuentes de las deformaciones.

La causa más simple de contracción diferencial puede ser un gradiente de temperatura a través del espesor de la pared de la moldura. Este fenómeno se muestra en la Figura 2.38. Cualquier diferencia de temperatura a través del espesor de las piezas moldeadas se traduce directamente a diferentes tasas de contracción a través del espesor.

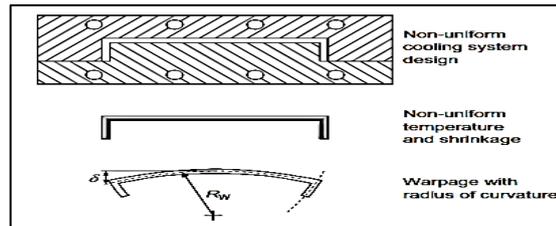


Figura 2.38. Deformación debido al diferencial de contracción a través de espesor.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

A partir de la estática, el radio de curvatura R_{def} de la moldura causada por la deformación puede calcularse según la ecuación:

$$R_{def} = \frac{2 * h}{(s_{núcleo} - s_{cav})}$$

Donde:

s_{cav} = Porcentaje de deformación de la cavidad.

$s_{núcleo}$ = Porcentaje de deformación del núcleo = 0.

Resolviendo:

$$R_{def} = \frac{2 * 0.01}{(0.0075)} = 2.66 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta el radio de curvatura, el máximo de deflexión plano en los bordes de la moldura, δ , puede estimarse como aproximadamente:

$$\delta = W * \sin\left(\frac{W}{R_{def}}\right)$$

Resolviendo:

$$\delta = 0.05 * \sin\left(\frac{0.05}{2.66}\right) = 1.66 * 10^{-5} \text{ m} = 0.016 \text{ mm}$$

2.12.2.2 Estrategias para evitar la deformación.

- Mantener la presión de cavidad uniforme mediante el diseño de un sistema de alimentación balanceada con baja resistencia al flujo.
- Maximizar la uniformidad de la temperatura de superficie del molde.
- Facilitar la presión de fusión y uniformidad de la temperatura en el moldeo.
- Llenado rápido de la cavidad para reducir el enfriamiento en la superficie.
- Aumento de la presión de embalaje para reducir la contracción del material.
- Utilizando diferentes temperaturas de refrigerante en diferentes lados del molde o en diferentes porciones del molde para controlar deliberadamente la distribución de temperatura y la contracción.

- Tratando de diferentes tipos de materiales y sistemas de relleno con diversos comportamientos de contracción para encontrar un rendimiento satisfactorio.
- Mantener homogeneidad de la materia prima.

2.13 Diseño del sistema eyector.

El sistema de eyección es responsable de quitar la parte moldeada del molde después se abre el molde. La complejidad del sistema de eyección puede variar ampliamente dependiendo de los requisitos de la aplicación de moldeo. Muchas cuestiones deben ser consideradas como la necesidad de múltiples ejes de actuación, magnitud y distribución de fuerzas de expulsión, y otros.

El conjunto expulsor (consistente en la placa expulsora, placa de retención de expulsión, devolución de pasadores, espigas de expulsión, retenedor de pines, y otros componentes) se encuentra entre la placa trasera de sujeción, placa de soporte, y los carriles como se muestra en la Figura 2.39.

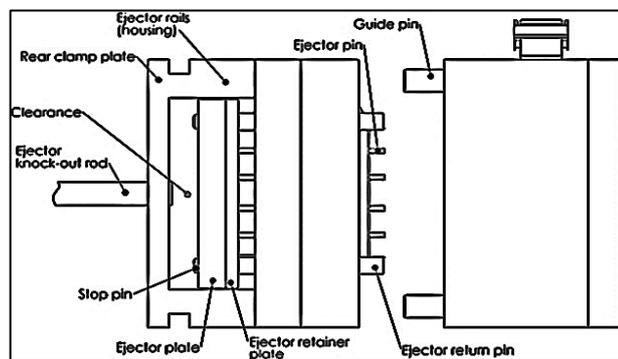


Figura 2.39. Vista lateral del molde con eyectores accionados.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.13.1 Objetivos del diseño del sistema eyector.

- Permitir la apertura del molde.
- Transmitir la fuerza para expulsar la pieza moldeada.
- Minimizar la distorsión de las piezas moldeadas.
- Accionar el funcionamiento de forma rápida y fiable.
- Minimizar la interferencia de refrigeración.
- Minimizar el impacto en las superficies de las piezas moldeadas.
- Minimizar la complejidad del molde y su costo.

2.13.2 Proceso de diseño del sistema eyector.

2.13.2.1 Identificar las superficies de separación del molde.

La geometría del producto y la orientación en el molde determina el número y la ubicación de superficies de separación del molde. Si el molde tiene cortes pequeños o requisitos especiales, entonces puede ser necesario sólo una superficie de separación. Sin embargo, si el molde tiene cortes pequeños internos o externos, a continuación, superficies de separación adicionales pueden ser necesarias junto con los componentes de eyección asociados para accionar la cavidad de deslizamiento.

2.13.2.2 Determinación de las fuerzas de eyección.

La fuerza de eyección F_{eye} requerida para retirar una pieza moldeada a partir de un núcleo de molde es una función de la fuerza normal entre la superficie de la pieza moldeada y la superficie del molde, F_{normal} junto con el ángulo de inclinación lateral asociada, ϕ , y el coeficiente de fricción estática, μ_s entre la pieza moldeada y la pieza de inserción de núcleo. Para estimar la fuerza de expulsión, la fuerza de rozamiento, $F_{fricción}$ se calcula como:

$$F_{fricción} = \mu_s * F_{normal}$$

La fuerza de eyección se calcula entonces como el componente de la fuerza de fricción que es normal a la superficie de separación:

$$F_{eye} = \cos \phi * F_{fricción} = \cos \phi * \mu_s * F_{normal}$$

La fuerza normal que actúa entre la pieza moldeada y la cavidad es impulsada por las tensiones de tracción internas en el plástico. La fuerza normal se calcula como la integral de los esfuerzos de tracción residuales, σ , en la pieza moldeada tomada a través del área efectiva de la pieza moldeada:

$$F_{normal} = \oint \sigma(x, y, z) dA_{eff}$$

Donde:

$$\sigma = E * \varepsilon \quad \varepsilon = \alpha * (T_{exp} - T_{eye})$$

Dando como resultado:

$$F_{normal} = \sigma * A_{eff}$$
$$F_{eye} = \cos \phi * \mu_s * E * \alpha * (T_{exp} - T_{eye}) * A_{eff}$$

Dónde:

α = Coeficiente de expansión térmica.

E= Módulo de tracción del polipropileno.

Resolviendo:

$$F_{eye} = \cos 0^\circ * 0.25 * 1 * 10^9 * 100 * 10^{-6} * (270 - 110) * (0.05 * 0.05 + 4(0.003 * 0.05))$$

$$F_{eye} = 12.4 \text{KN}$$

2.13.2.3 Determinar el área y perímetro del eyector.

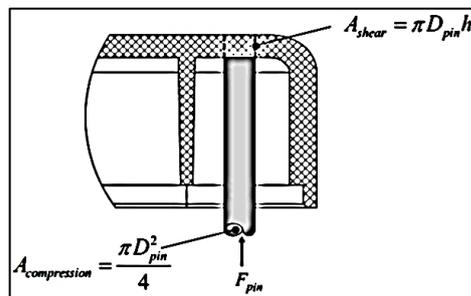


Figura 2.40. Esfuerzos de compresión y de cizallamiento en pin de expulsión.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

Cuando el pasador es accionado con el sistema de eyección, una fuerza de reacción F_{pin} desarrollará entre el pasador y la pieza moldeada antes de que se expulsa la pieza. El esfuerzo de compresión sobre el pin, σ , es la fuerza sobre el pin dividido por el área del pin, resultando:

$$\sigma_{eye} = \frac{F_{eye}}{A_{comp}} = \frac{4 * F_{eye}}{\pi D_{eye}^2}; \quad A_{comp} = \frac{F_{eye}}{\sigma_{eye}}; \quad A_{comp} = n * A_{eye}; \quad A_{eye} = \frac{A_{comp}}{n}$$

Para evitar la fatiga y/o pandeo de los componentes del sistema de eyección, los niveles de esfuerzo de compresión deben mantenerse por debajo de un nivel crítico. Esta tensión crítica, σ , depende del material y el tratamiento de los eyectores.

La mayoría de los pines de expulsión y las mangas están hechos de materiales endurecidos, con tensiones de límite de fatiga del orden de 800 MPa. Sin embargo, puede suponer una tensión límite de fatiga inferior de 450 MPa para P20.

$$A_{eye} > \frac{F_{eye}}{\sigma_{fatiga}}$$

Resolviendo:

$$A_{\text{comp}} > \frac{F_{\text{eye}}}{\sigma_{\text{fatiga}}} > \frac{12400 \text{ N}}{450 * 10^6 \text{ Pa}} > 2.75 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$D_{\text{eye}}^{\text{min}} > \sqrt{\frac{4 * F_{\text{eye}}}{\pi * \sigma_{\text{fatiga}}}} > \sqrt{\frac{4 * A_{\text{eye}}}{\pi}} > \sqrt{\frac{4 * \frac{A_{\text{comp}}}{n}}{\pi}} > \sqrt{\frac{4 * \frac{2.75 * 10^{-5}}{5}}{\pi}} > 2.65 * 10^{-3} \text{ m}$$

Para calcular el perímetro del eyector se tiene la siguiente ecuación:

$$\Omega_{\text{eye}} > \frac{2 * F_{\text{eye}}}{\sigma_{\text{fatiga plast}} * h} > \frac{2 * 12400}{40 * 10^6 * 0.0015} > 0.41 \text{ m}$$

2.13.2.4 Especificación del tipo, número y tamaño de los eyectores.

El diseñador molde debe considerar diferentes diseños con un número variable y tamaños de eyectores. Hay ventajas y desventajas de tener una gran cantidad de pequeños pines de expulsión en comparación con tener menos pero más grandes expulsores. Con respecto a los costos de herramientas y operación, se prefiere un menor número de grandes pernos expulsores. Hay dos razones principales. En primer lugar, un menor número de eyectores requiere un menor número de componentes del molde y características a mecanizar. Por esta razón, el molde es menos caro de fabricar y mantener. Mientras tanto, el mayor tamaño de los expulsores tenderá a tener tensiones de compresión muy bajas y por lo tanto ser menos susceptibles a pandeo.

2.13.2.5 Diseño de eyectores.

Considerando las dimensiones calculadas de los eyectores, se tiene una variedad de diseños de eyectores para poder seleccionar el más adecuado, dependiendo del tipo de característica que se desea tener.

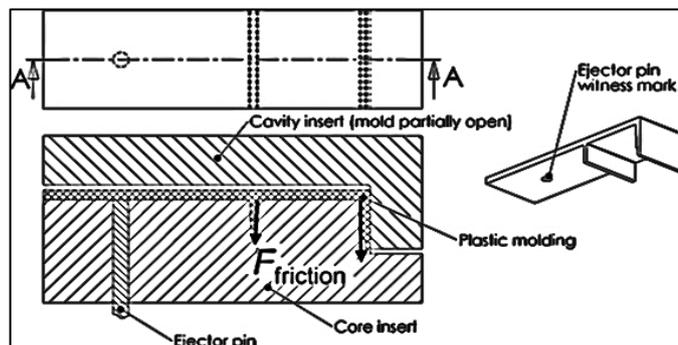


Figura 2.41. Pin de expulsión alejado de la cavidad.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

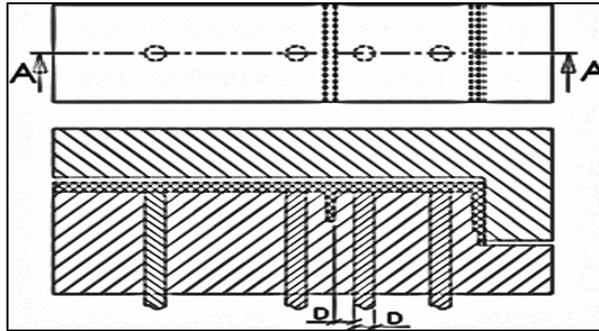


Figura 2.42. Pines situado cerca de las paredes laterales de la cavidad.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

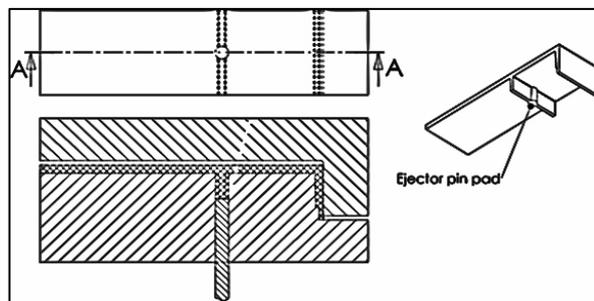


Figura 2.43. Pines situado debajo de las pistas de expulsión.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

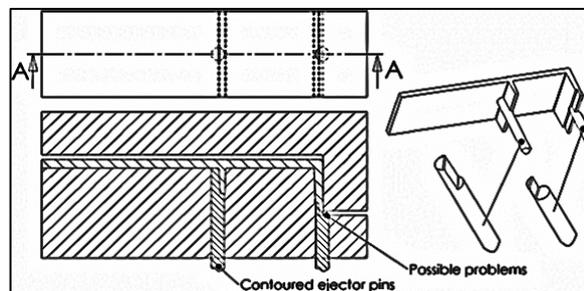


Figura 2.44. Pines torneados situados en las paredes laterales.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.13.3 Análisis y diseño del pin del sistema eyector.

2.13.3.1 Cuchillas del eyector.

El detalle de la hoja de expulsión, se muestra en la Figura 2.45, es muy similar al previamente discutido para espigas de expulsión. Los espacios libres deberán indicar el apoyo y el núcleo de inserciones para permitir la libre actuación de la hoja de expulsión, con el acoplamiento que suministra entre la sección rectangular de la hoja de expulsión y las superficies fuertemente acopladas en el inserto de núcleo.

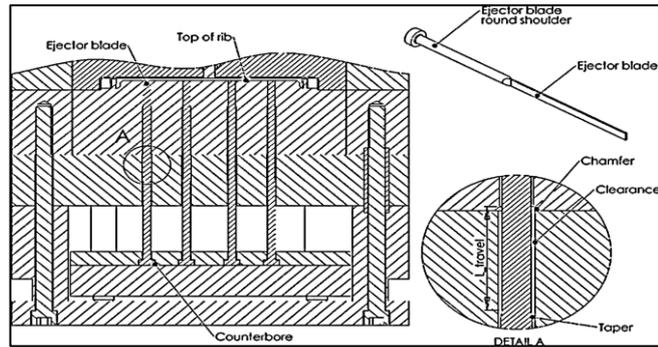


Figura 2.45. Diseño de una cuchilla del eyector.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

El esfuerzo de compresión en las hojas de eyector y la tensión de cizallamiento impuesta sobre el moldeo por las cuchillas expulsoras por lo general no limitan el diseño de las palas del eyector. Sin embargo, el pandeo puede ser una preocupación, por esta razón, el espesor de la hoja de expulsión se debe establecer en todo el espesor de la costilla. La ecuación se define como:

$$I = \frac{1}{12} W_{pin} H^3_{pin}$$

$$F_{hoja} < F_{pandeo} = \frac{1}{12} * \frac{\pi^2 * E_{pin} * W_{pin} * H^3_{pin}}{(0.7 * L_{pin})^2}$$

Despejando L tenemos:

$$L_{pin} < \left(\frac{1.7 * E_{pin} * W_{pin} * H^3_{pin}}{F_{hoja}} \right)^{1/2}$$

Resolviendo:

$$L_{pin} < \left(\frac{1.7 * 207 * 10^9 * 0.002 * 0.0015^3}{12400} \right)^{1/2} < \mathbf{0.014m}$$

2.13.3.2 Manguito del eyector.

La función de un manguito eyector es similar a la de una hoja de expulsión, en tanto que se utilizan típicamente para empujar en una sección vertical de la pieza moldeada. El diseño del manguito eyector varía significativamente, sin embargo, ya que es un cilindro hueco que se desliza a lo largo de un pasador de núcleo fijo para proporcionar una fuerza de eyección en la superficie inferior de un jefe de moldeo.

Un diseño típico conjunto de manguito eyector se proporciona en la Figura 2.46.

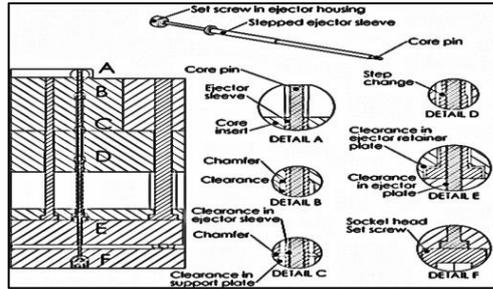


Figura 2.46. Diseño de un manguito de eyector.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.13.3.3 Placas desmoldeadoras.

La función de una placa desmoldeadora es similar a la de un manguito eyector, en tanto que se utilizan típicamente para empujar sobre una periferia de la pieza moldeada. El diseño de un molde con una placa desmoldeadora se muestra en la Figura 2.47. En este diseño, la placa separadora sustituye a la placa B y se hace flotar entre la placa A y la placa de apoyo.

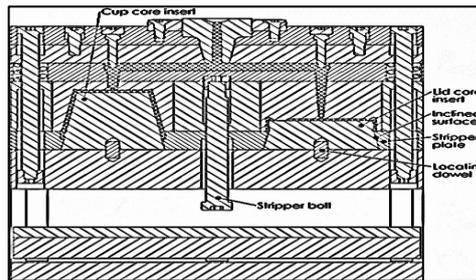


Figura 2.47. Diseño de una placa desmoldeadora.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.13.3.4 Deformación elástica alrededor de las entalladuras.

Si la cantidad de tensión causada por eyección está dentro del límite elástico del material, entonces tales entalladuras pueden ser moldeados y expulsadas del molde sin preocupaciones especiales de forma fiable. De hecho, placas extractoras son ideales para tales eyecciones ya que proporcionan fuerzas de expulsión muy uniformes que son casi en línea con la fuerza de fricción entre la moldura y el núcleo.

La deformación, ε , causada por una entalladura durante la eyección puede estimarse como la deflexión, δ , que se requiere que la parte que someterse a dividido por la distancia, L , a través de la cual se aplica la deformación:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}; \quad \sigma = E\varepsilon; \quad F_{\text{normal}} = \sigma * A_{\text{eff}}; \quad F_{\text{eye}} = \cos \theta * \mu_s * E * \frac{\delta}{L} * A_{\text{eff}}$$

Resolviendo:

$$F_{eye} = \cos 0^\circ * 0.25 * 207 * 10^9 * \frac{0.5}{14} * 2.4 * 10^{-9} = 4.43N$$

2.14 Diseño del sistema estructural.

Moldes de inyección están sometidos a altos niveles de presión de la masa fundida de polímero. Cuando esta presión se integra a través de las superficies de las cavidades del molde, las fuerzas que dan como resultado típicamente van desde decenas a miles de toneladas. El diseño estructural del molde debe ser lo suficientemente robusta como para no sólo resistir estas fuerzas, sino también a hacerlo mientras la producción de alta calidad de los productos moldeados.

Para desarrollar un diseño estructural robusto, el diseñador debe entender las relaciones entre las presiones, las fuerzas y tensiones en un molde. La Figura 2.48 muestra el flujo típico de las tensiones a través del molde, placas y barras de unión.

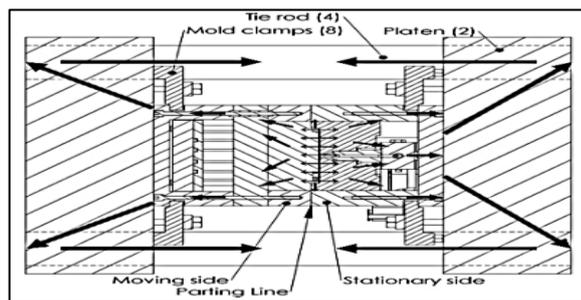


Figura 2.48. Flujo de tensiones durante el moldeo.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.14.1 Objetivos del Diseño Estructural Sistema.

- Minimizar el esfuerzo.
- Reducir al mínimo la desviación.
- Reducir al mínimo costo.

2.14.2 Análisis y Diseño de Placas.

2.14.2.1 Placa de compresión.

Las fuerzas de compresión debido a la sujeción del molde tenderán a provocar tensiones de compresión uniformes a través de las placas. El esfuerzo de compresión, σ , se define como la fuerza, F , por unidad de área de comprimido:

$$\sigma = \frac{F}{A_{comp}} = \frac{12.1 * 10^3 N}{(0.2 * 0.2)m^2} = 302.5KPa$$

La deformación ε , es igual a la tensión dividida por el módulo de elasticidad, E:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{302.5 * 10^3 \text{ Pa}}{207 * 10^9 \text{ Pa}} = 1.46 * 10^{-6}$$

La cantidad de deflexión, δ , es igual a la tensión multiplicada por la longitud que existe:

$$\delta_{\text{comp}} = \varepsilon L = 1.46 * 10^{-6} * 0.4 = 0.584 * 10^{-6} \text{ m}$$

2.14.2.2 Pilares de apoyo.

Un diseño típico se proporciona en la Figura 2.49. En este diseño, un espacio libre se proporciona a través de la placa expulsora y la placa de retención de expulsión. El pilar de apoyo se encuentra usando una clavija que se acopla el centro del pilar de soporte a un agujero está en la placa de sujeción trasera. Desde la placa de soporte está fijado a la placa de fijación trasera con tornillos de cabeza hueca, el pilar de soporte está asegurado al conjunto del molde.

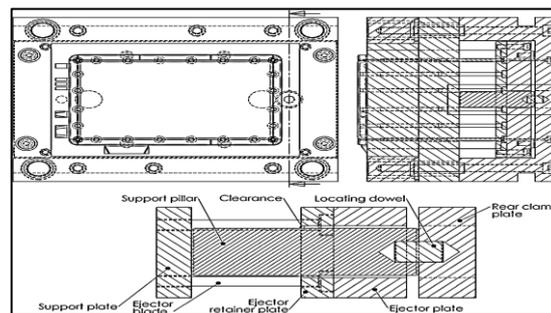


Figura 2.49. Diseño típico del molde con el pilar de apoyo.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

El número, la ubicación y el tamaño de los pilares de apoyo deben ser analizados. Una de las complejidades del análisis es que los pilares de soporte son miembros estructurales de diámetro finito y rigidez. Para estimar la deformación total de la placa, la superposición debe ser utilizada para agregar la deformación debido a la compresión y flexión. Se muestra en la Figura 2.50.

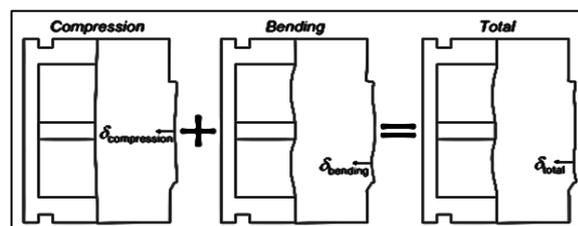


Figura 2.50. Superposición de compresión y flexión.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007

Para realizar el análisis, las fuerzas a través del molde deben ser convertidos a un conjunto de casos de carga, como se muestra en la Figura 2.51.

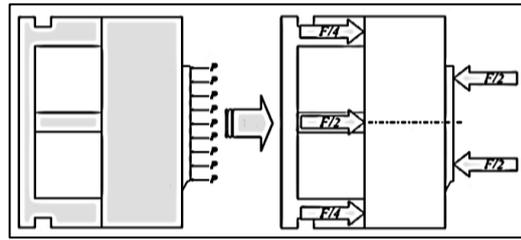


Figura 2.51. Distribución de cargas de compresión y flexión.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.14.2.3 Enclavamientos.

El diseñador del molde podría aumentar la anchura de la mejilla para reducir la deformación pared lateral. Sin embargo, este enfoque añade tamaño y costo significativo al molde. Otra alternativa es utilizar enclavamientos en el plano de separación cerca de los bordes del molde para transferir parte de la carga de flexión de la mitad fija del molde a la media móvil del molde.

Moldes rectangulares de enclavamientos se muestran en la Figura 2.52. Ambos tipos de enclavamientos deben ser colocados en el plano de separación y tan cerca de las cavidades de molde como sea posible.

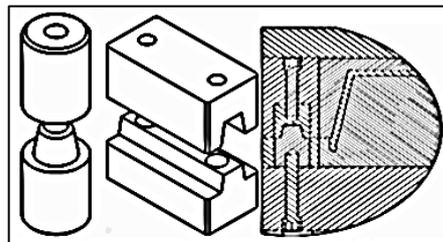


Figura 2.52. Enclavamientos rectangulares y redondos.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

Conociendo que el esfuerzo límite del hacer es de 300 MPa. Para calcular el esfuerzo cortante se tiene:

$$\tau_{\text{enclavamiento}} = \frac{F_{\text{lateral}}}{A_{\text{enclavamiento}}}$$

$$F_{\text{lateral}} = \frac{1}{2} * P_{\text{plast}} * \phi_{\text{enclavamiento}} * H_{\text{cav}}$$

Resolviendo:

$$F_{\text{lateral}} = \frac{1}{2} * 0.8 * 10^6 * 0.019 * 0.01 = 76\text{N}$$

$$\tau_{\text{enclavamiento}} = \frac{76}{\pi \left(\frac{0.019^2}{4} \right)} = 268 \text{KPa}$$

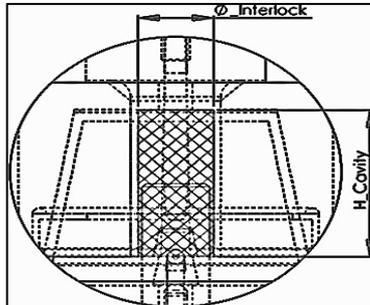


Figura 2.53. Vista proyectada de enclavamiento y la cavidad.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.14.2.4 Concentradores de esfuerzos.

En placas de molde, las concentraciones de tensiones se producirán siempre que el material se ha eliminado entre la cavidad del molde y las placas de soporte. Las concentraciones de tensión son comunes en los moldes de inyección debido a la instalación de tuberías de agua y agujeros de expulsión. A medida que el agujero se mueve más lejos de la cavidad del molde, la concentración de tensión se reduce. Un modelo del factor de concentración de tensiones, K, se ajusta a los datos, dando la siguiente fórmula:

$$K = 3.1 + 0.75 * \left(\frac{\varnothing_{\text{agujero}}}{H_{\text{agujero}}} \right)^{2.29}$$

Resolviendo:

$$K = 3.1 + 0.75 * \left(\frac{2.65 * 10^{-3}}{1.5 * 10^{-3}} \right)^{2.29} = 5.86$$

2.14.3 Sujetadores.

El diseño del molde debe incluir también elementos de fijación para sujetar rígidamente los múltiples componentes del molde. Existen tres tipos:

2.14.3.1 Adaptador.

La interferencia se ajusta a ocurrir cuando el componente macho tiene una dimensión nominal que es mayor que la dimensión nominal del componente hembra, como se muestra en la figura 2.54 para un inserto de núcleo y una placa de retención.

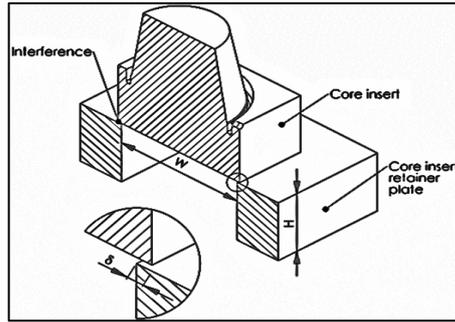


Figura 2.54. Localización de interferencias para los adaptadores.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

Los ajustes aquí analizados, los miembros rectangulares con anchura, W, y la longitud, L, se modelan como un miembro circular con diámetro aparente, D, calculado como:

$$D = \sqrt{W * L}$$

El límite de tolerancia, λ , en una dimensión dada se calcula según la fórmula:

$$\lambda = 0.001 * C * D^{1/3}$$

2.14.3.2 Tornillos de cabeza hueca.

Los tornillos Allen son los más utilizados para los moldes de inyección. La razón principal es que los tornillos de cabeza hueca han sido cuidadosamente diseñados de tal manera que la fuerza de la cabeza, los hilos, y el perno coincidan tal como se muestra en la Figura 2.55.

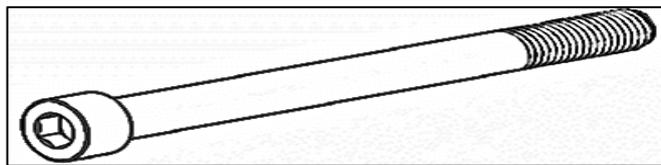


Figura 2.55. Tornillos Allen.

Fuente: David Kazmer. Injection Mold Design Engineering, 2007.

Para el cálculo respectivo se utiliza la siguiente fórmula:

$$F_{\text{tensión}} = \sigma_{\text{último}} * \frac{\pi D_{\text{hilo}}^2}{4}$$

$$F_{\text{tornillo}} = M_{\text{mold}} * \eta_g * g * \frac{L_{\text{COG}}}{L_{\text{tornillo}}}$$

Donde:

L_{COG} = Distancia entre el plato y el centro de gravedad del molde (ver apéndice A).

η_g = Número de gravedades que puede ser ejercida sobre el molde= 10.

Resolviendo:

$$F_{\text{tornillo}} = 35.7 * 10 * 9.8 * \frac{0.2}{0.1} = 7 \text{ KN}$$

$$D_{\text{tornillo}} = \sqrt{\frac{4 * F_{\text{tornillo}}}{\pi * \sigma_{\text{último}}}} = \sqrt{\frac{4 * 7 * 10^3}{\pi * 800 * 10^6}} = 3.33 \text{ mm} = \text{M4}$$

Si se considera un factor de seguridad de 1.5 nos da un perno allen **M6**

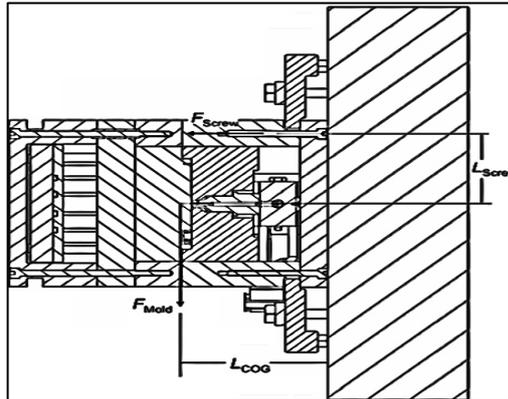


Figura 2.56. Diagrama de distribución de los tornillos Allen.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

2.14.3.3 Pasadores.

En este diseño, los agujeros concéntricos se proporcionan en las superficies coplanares de las dos placas. A continuación, espiga se acopla con los dos agujeros para localizar los dos componentes a lo largo del eje de la espiga. Variaciones de fabricación en los agujeros 'ubicación, diámetro y redondez limitan la capacidad para localizar con precisión los dos componentes uno con respecto al otro.

Las formulas a utilizarse son las mismas que para los adaptadores.

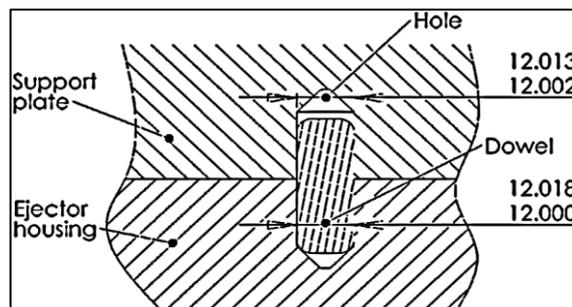


Figura 2.54. Diseño de espiga de localización típica.

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Selección del tipo de molde.

Considerando los datos obtenidos en la matriz de decisión, se considera diseñar un molde de dos platos de colada fría, con una apertura axial de los platos. Para el acabado superficial de las cavidades, se seleccionó la textura tipo arena, es decir una profundidad de textura de 50 μm .

Dicho molde será construido con un acero P20 como material del molde base, material que fue seleccionado a través de una matriz de decisión desarrollada en el capítulo 2.

3.1.1 Normas para diseño de moldes de inyección.

Se utilizan las normas para tener en cuenta cuales son los estándares y parámetros de diseño para la fabricación de un molde de inyección de plástico.

Las normas a utilizarse son las normas DIN (Deutsches Institut Fur Normung) el cual es el organismo nacional de normalización de Alemania.

Para diseño de moldes se utilizar la norma DIN E 16750 "Moldes de inyección para materiales plásticos". Para los demás componentes se podrá observar en la tabla 14 las normas correspondientes para cada uno de ellos:

Tabla 14. Normas DIN para moldes de inyección.

Elemento	Norma
Expulsores con cabeza cilíndrica	DIN 1530-1
Pilares de apoyo	DIN 16709
Bebedero	DIN 16752-1
Pilares guías	DIN 9825-1
Pernos	DIN 6325

Fuente: <http://infostore.saiglobal.com/store/Details.aspx?ProductID=562753&timerOff=1&refs=1#refs>, 2005.

3.2 Selección del tipo de polímero.

Considerando los datos obtenidos en la matriz de decisión, se considera utilizar un polipropileno grado inyección para la elaboración del llavero a inyectarse. Dicho llavero deberá cumplir una norma de calidad que certifique que el producto cumple con los requerimientos establecidos cuya dependencia radica en el tipo de material que se ha utilizado en este caso el polipropileno grado inyección.

3.2.1 Normas para diseño de llaveros de polipropileno.

Debido a que la pieza inyectada es un llavero, se lo debe considerar como un juguete al momento de buscar una norma de calidad.

Se utilizará una norma estándar Europea EN 71-1, la cual es emitida por el CEN (Comité Europeo de Normalización) y se utilizará para determinar los parámetros de resistencia mecánica que debe cumplir la pieza inyectada, además se utilizara como referencia las siguientes normas:

EN ISO 868, plásticos y ebonita “Determinación de la dureza de penetración por medio de un durómetro (dureza Shore)” (2003).

EN ISO 4287, especificaciones de productos geométrico (GPS) textura superficial: Método de Perfil “Términos, definiciones y parámetros de textura superficial” (1997).

ISO 4593, Plásticos: Películas y láminas “Determinación del espesor de barrido mecánico”.

3.3 Estimación de costos del molde.

3.3.1 Controladores de costos para piezas moldeadas.

Hay tres controladores principales del costo de una pieza moldeada:

- El costo del molde y su mantenimiento.
- Los costos de los materiales.
- El costo de procesamiento.

Es importante señalar que estos costos no incluyen los costos indirectos, tales como los gastos generales o beneficios. Sin embargo, esos costos indirectos pueden ser explicados a través del ajuste de tarifas por hora y otros costos.

3.3.2 Efecto por la cantidad de producción.

Por lo general, hay un equilibrio entre la inversión inicial y los ahorros relacionados con los costos del procesamiento y materiales por pieza. Se tiene en cuenta los datos proporcionados en la Tabla 15 para un de moldeo con las cantidades de producción de 50.000 y 5.000.000 piezas. Como se ha indicado, la cantidad menor de producción puede ser satisfecha con un molde de dos cavidades, molde de canal frío. En comparación, el diseño para la cantidad más alta de producción utiliza un sistema de canal caliente permitiendo que el moldeo de 32 cavidades con un tiempo de ciclo inferior y un menor consumo de material.

Tabla 15. Datos de costos de cantidades bajas y altas de producción.

Cantidad de producción	50000	500000
Número de cavidades	2	32
Sistema de canal	canal frío	canal caliente
Costo del molde	\$ 10.000	\$ 250.000
Tiempo de ciclo	30 s	20 s
Tiempo efectivo de ciclo/parte	15 s	0,6 s
Costos de proceso/parte	\$ 0,40	\$ 0,04
Costo del molde/parte	\$ 0,20	\$ 0,05
Costo del material/parte	\$ 0,15	\$ 0,12
Costo total/parte	\$ 0,75	\$ 0,21

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

3.3.3 Análisis del punto de equilibrio.

El análisis del punto de equilibrio se debe aplicar para asegurar el diseño de un molde apropiado. Considere el caso anterior para los dos moldes descritos en la Tabla 6. Es útil tener en cuenta los costos totales incurridos para producir una cantidad dada. Los costos totales, C_{total} se pueden calcular como:

$$C_{total} = C_{fijo} + \eta_{total} \cdot C_{marginal}$$

Dónde:

C_{fijo} = costo total del molde y su mantenimiento.

η_{total} = cantidad total de producción a través de la vida del molde.

$C_{marginal}$ = costo total de la resina, la máquina, el trabajo y la energía en función de cada parte.

Debido a que el molde a diseñar es de canal frío de dos tapas la fórmula sería la siguiente:

$$C_{total}^{canal\ frío} = C_{fijo}^{canal\ frío} + \eta_{total} \cdot C_{marginal}^{canal\ frío}$$

$$C_{total}^{canal\ caliente} = C_{fijo}^{canal\ caliente} + \eta_{total} \cdot C_{marginal}^{canal\ caliente}$$

Igualando las ecuaciones y despejando la cantidad de producción se tiene:

$$\eta_{total} = \frac{C_{fijo}^{canal\ caliente} - C_{fijo}^{canal\ frío}}{C_{marginal}^{canal\ frío} - C_{marginal}^{canal\ caliente}} = \frac{250000 - 10000}{0.55 - 0.16} = \mathbf{615000\ partes}$$

$$C_{total}^{canal\ frío} = 10000 + 615000 \cdot 0.55 = \$ 348250$$

$$C_{total}^{canal\ caliente} = 250000 + 615000 \cdot 0.16 = \$ 348400$$

Lo cual se puede interpretar que, los costos totales de producir 615000 partes (accesorios), son de 348250 dólares, utilizando un molde de colada fría, y 348400 dólares si son producidos con un molde de colada caliente.

3.3.4 Estimación de costos del molde.

El siguiente método de estimación de costos fue desarrollado para incluir los efectos principales del diseño parte y el proceso de moldeo mientras que es relativamente fácil de usar.

Para determinar el costo total de producir un molde se debe utilizar la ecuación:

$$C_{\text{total molde}} = C_{\text{cavidades}} + C_{\text{base molde}} + C_{\text{person}}$$

Dónde:

$C_{\text{total molde}}$ = costo total del molde.

$C_{\text{cavidades}}$ = costo por total de cavidades.

$C_{\text{base molde}}$ = costo del molde sin cavidades.

C_{person} = costo personalizado (mantenimiento).

Resolviendo:

$C_{\text{person}} = \$ 5400$ por año.

$$C_{\text{total molde}} = 449.28 + 1017.4 + 5400 = \$ \mathbf{6866.68}$$

3.3.5 Estimación de costos por cavidad.

El costo de los insertos de núcleo y cavidad suele ser el más grande del costo total del molde. La razón de su gasto es que tienen que contener todos los detalles geométricos de la pieza moldeada, estar hecho de materiales muy duros, y se termina con un alto grado de precisión y calidad.

Para poder determinar el costo que se debe invertir para el mecanizado de cada cavidad se debe emplear la siguiente ecuación:

$$C_{\text{cavidades}} = (C_{\text{cav}} * \eta_{\text{cav}}) * f_{\text{desc cav}}$$

Dónde:

$C_{\text{cavidades}}$ = costo total de las cavidades.

η_{cav} = número de cavidades.

$f_{\text{desc cav}}$ = factor de descuento de la cavidad.

Tabla 16. Valores de factores de descuento.

Número de cavidades	Factor de descuento
1	1
2	0,85
4	0,72
8	0,61
16 ó más	0,52

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

Resolviendo:

$$C_{\text{cavidades}} = (156 * 4) * 0.72 = \$ \mathbf{449.28}$$

3.3.6 Costos de conjunto de cavidades.

Para poder obtener el costo por cavidades se procede a utilizar la siguiente ecuación:

$$C_{cav} = C_{mat\ cav} + C_{mec\ cav} + C_{acab\ cav}$$

Dónde:

$C_{mat\ cav}$ = costo por material retirado de la cavidad.

$C_{mec\ cav}$ = costo por mecanizado de la cavidad.

$C_{acab\ cav}$ = costo de acabado superficial de la cavidad.

Resolviendo:

$$C_{cav} = 5 + 116 + 35 = \$ 156$$

3.3.7 Costos de materiales por cavidad.

Primero se necesita encontrar los valores de las dimensiones de la cavidad:

$$L_{cav} = L_{pieza} + \max[0.1 * L_{pieza}, H_{pieza}]$$

$$W_{cav} = W_{pieza} + \max[0.1 * W_{pieza}, H_{pieza}]$$

$$H_{cav} = \max[0.057, 2H_{pieza}]$$

Para poder obtener el costo de materiales por cavidades, entendiéndose por el material removido por el mecanizado del molde para formar la cavidad, se procede a utilizar la siguiente ecuación:

$$V_{mat\ cav} = L_{cav} * W_{cav} * H_{cav}$$

Dónde:

$V_{mat\ cav}$ = volumen del material removido para formar la cavidad.

L_{cav} = longitud de la cavidad.

W_{cav} = ancho de la cavidad.

H_{cav} = altura de la cavidad.

$$C_{mat\ cav} = V_{mat\ cav} * \rho_{mat\ cav} * \kappa_{mat\ cav}$$

Dónde:

$\rho_{mat\ cav}$ = densidad del material.

$\kappa_{mat\ cav}$ = costo del material por kilogramo.

Resolviendo:

$$\rho_{mat\ cav} = 7860 \text{ Kg/m}^3$$

$$\kappa_{mat\ cav} = 21 \$/\text{Kg}$$

$$L_{cav} = 50 + \max[0.1 * 50, 5] = \mathbf{55 \text{ mm}}$$

$$W_{cav} = 50 + \max[0.1 * 50, 5] = \mathbf{55 \text{ mm}}$$

$$H_{cav} = \max[0.057, 2 * 5 = 10] = \mathbf{10 \text{ mm}}$$

$$V_{mat \text{ cav}} = 55 \text{ mm} * 55 \text{ mm} * 10 \text{ mm} = \mathbf{30250 \text{ mm}^3}$$

$$C_{mat \text{ cav}} = 30250 * 10^{-9} \text{ m}^3 * 7860 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 21 \frac{\$}{\text{Kg}} = \mathbf{\$5}$$

3.3.8 Costos de mecanizado de la cavidad.

Los costos de mecanizado están en función de muchas variables como:

- El volumen y la complejidad geométrica de la pieza a moldear.
- Las propiedades del material del núcleo y la cavidad inserciones.
- Los procesos de mecanizado.
- El costo de mano de obra.
- La calidad de los insertos (cuchillas).

Para determinar los costos de mecanizado se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_{mec \text{ cav}} = t_{mec \text{ cav}} * R_{mec \text{ cav}}$$

Dónde:

$t_{mec \text{ cav}}$ = tiempo de mecanizado de la cavidad.

$R_{mec \text{ cav}}$ = tasa de trabajo de mecanizado (velocidad de corte).

Debido a la complejidad que presenta la pieza, el tiempo de mecanizado estaría afectado por varios factores, resultando la siguiente ecuación:

$$t_{mec \text{ cav}} = \left(\frac{t_{vol \text{ cav}} + t_{area \text{ cav}}}{f_{ef \text{ mec}}} \right) * f_{comp \text{ cav}} * f_{mec}$$

Dónde:

$$t_{vol \text{ cav}} = \frac{V_{mat \text{ cav}}}{R_{mec \text{ vol}}} \qquad t_{area \text{ cav}} = \frac{A_{mat \text{ cav}}}{R_{mec \text{ area}}}$$

Resolviendo:

$$t_{area \text{ cav}} = \frac{(4 * 55 * 10 + 2 * 55 * 55 + \pi 15^2 + 3\pi * 30) * 10^{-6}}{0.0170 \text{ m}^2/\text{h}} = \mathbf{0.54 \text{ h}}$$

$$t_{vol \text{ cav}} = \frac{30250 * 10^{-9} \text{ m}^3}{0.0007 \text{ m}^3/\text{h}} = \mathbf{0.04 \text{ h}}$$

$$t_{mec \text{ cav}} = \left(\frac{0.04 + 0.54}{0.95} \right) * 1.9 * 4 = \mathbf{4.64 \text{ h}}$$

$$C_{mec \text{ cav}} = 4.64 \text{ h} * 25 \frac{\$}{\text{h}} = \mathbf{\$ 116}$$

Tabla 17. Valores de factores de complejidad por diseño.

Diseño de la pieza	Factor de complejidad
	1,02
	1,9
	2,5
	3,1

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

Tabla 18. Valores de factores de mecanizado.

Proceso de mecanizado	Factor de mecanizado
torneado	0,5
perforación	0,5
fresado	1
pulido	4
acabado textura	4

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

3.3.9 Costos de acabados superficiales de las cavidades.

Para poder obtener el costo de acabados superficiales por cavidades, se procede a utilizar la siguiente ecuación:

$$C_{\text{acab cav}} = t_{\text{acab cav}} * R_{\text{tasa acab}}$$

$$t_{\text{acab cav}} = \sum_i \frac{A_{\text{pieza}}^i}{R_{\text{acab cav}}^i}$$

Dónde:

$C_{\text{acab cav}}$ = costos de acabado superficial de la cavidad.

$t_{\text{acab cav}}$ = tiempo de mecanizado del acabado de la cavidad.

$R_{\text{acab cav}}$ = velocidad de avance del acabado.

$R_{\text{tasa acab}}$ = costo de mecanizado por hora.

Resolviendo:

$$t_{\text{acab cav}} = \frac{(4 * 50 * 5 + 2 * 50 * 50 + \pi 15^2 + 3\pi * 30) * 10^{-6} \text{m}^2}{0.005 \text{m}^2/\text{h}} = 1.39 \text{ h}$$

$$C_{\text{acab cav}} = 1.39 \text{h} * 25 \text{ \$/h} = \$ 35$$

3.3.10 Estimación de costos del molde base.

Un molde base es considerado un molde en blanco que está listo para ser mecanizado, para lo cual para conocer cuáles son los costos de este molde en blanco se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$C_{\text{mold base}} = 830 + M_{\text{mold}} * k_{\text{mold}}$$

Dónde:

$C_{\text{mold base}}$ = costo del molde base.

M_{mold} = masa del molde.

k_{mold} = costo de la masa del molde por Kg.

$$M_{\text{mold}} = 1330 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} * L_{\text{mold}} * W_{\text{mold}} + 17200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * L_{\text{mold}} * W_{\text{mold}} * H_{\text{mold}}$$

$$L_{\text{mold}} = L_{\text{cav}} * \eta_{\text{long cav}} * 1.33$$

$$W_{\text{mold}} = W_{\text{cav}} * \eta_{\text{ancho cav}} * 1.33$$

$$H_{\text{mold}} = 0.189 + 2H_{\text{cav}}$$

$$\eta_{\text{ancho cav}} = \eta_{\text{long cav}} = \text{ceiling}(\sqrt{\eta_{\text{cav}}})$$

Resolviendo:

$$L_{\text{mold}} = 55\text{mm} * 2 * 1.33 = \mathbf{146.3 \text{ mm}}$$

$$W_{\text{mold}} = 55\text{mm} * 2 * 1.33 = \mathbf{146.3 \text{ mm}}$$

$$H_{\text{mold}} = 0.189 + 2 * 10 = \mathbf{20.19 \text{ mm}}$$

$$\eta_{\text{ancho cav}} = \eta_{\text{long cav}} = \text{ceiling}(\sqrt{4}) = \mathbf{2}$$

$$M_{\text{mold}} = 1330 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} * 0.146\text{m} * 0.146\text{m} + 17200 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.146\text{m} * 0.146\text{m} * 0.02\text{m} = \mathbf{35.7\text{Kg}}$$

$$C_{\text{mold base}} = \$ 830 + 35.7\text{Kg} * 5.25 \text{ \$/Kg} = \$ \mathbf{1017.4}$$

3.3.11 Estimación de costos de la pieza.

Para conocer cuáles son los costos de la pieza, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$C_{\text{pieza}} = \frac{C_{\text{molde/pieza}} + C_{\text{material/pieza}} + C_{\text{proceso/pieza}}}{\eta}$$

Dónde:

C_{pieza} = costo de la pieza.

$C_{\text{molde/pieza}}$ = costo de los gastos de mantenimiento del molde por pieza.

$C_{\text{material/pieza}}$ = costo del material por pieza.

$C_{\text{proceso/pieza}}$ = costo del proceso por pieza.

η = rendimiento del molde.

Resolviendo:

$$C_{\text{molde/pieza}} = \$ 0.02$$

$$C_{\text{material/pieza}} = \$ 0.047$$

$$C_{\text{proceso/pieza}} = \$ 0.10$$

$$\eta = 0.95.$$

$$C_{\text{pieza}} = \frac{\$0.02 + \$0.047 + \$0.10}{0.95} = \$ 0.17$$

3.3.12 Costo de los gastos de mantenimiento del molde por pieza.

Para conocer cuáles son los costos de los gastos de mantenimiento de la pieza, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$C_{\text{molde/pieza}} = \frac{C_{\text{total molde}}}{\eta_{\text{total}}} * f_{\text{mantenimiento}}$$

Dónde:

$f_{\text{mantenimiento}}$ = factor de mantenimiento del molde.

Para estimar el valor, se debe considerar los siguientes factores:

- Mantenimiento preventivo después de cada ciclo de moldeo.
- Inspecciones y reparaciones menores en forma intermitente.
- Mantenimiento programado del molde general sobre una base trimestral o semestral.
- Reconstrucción del molde cuando sea necesario.

Resolviendo:

$$C_{\text{molde/pieza}} = \frac{6866.68}{615000} * 2 = \$ 0.02$$

Tabla 19. Valores de factores de mantenimiento.

Material del molde	Baja viscosidad plástica	Alta viscosidad plástica
Molde suave, aluminio o acero dulce	3	10
Molde de acero estándar, acero P20	2	5
Superficie endurecido, acero H13	2	2

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

3.3.13 Costo del material por pieza.

El costo del material por pieza se puede estimar como:

$$C_{\text{material/pieza}} = V_{\text{pieza}} * \rho_{\text{plast}} * k_{\text{plast}} * f_{\text{scrap}}$$

Dónde:

ρ_{plast} = densidad del plástico (polipropileno grado inyección).

k_{plast} = costo del moldeo del plástico por kg.

$f_{\text{desperdicio}}$ = porcentaje de scrap.

Tabla 20. Valores de factores de desperdicio.

Tipo de diseño de alimentación	Factor de desperdicio (SCRAP)
canal frío	1,25
canal frío con triturado	1,08
canal caliente corto	1,05
canal caliente largo	1,02

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

Resolviendo:

$$\rho_{\text{plast}} = 898 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$k_{\text{plast}} = 2 \text{ \$/kg}$$

$$f_{\text{desperdicio}} = 1.25$$

$$C_{\text{material/pieza}} = 21200 * 10^{-9} \text{m}^3 * 898 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 2 \text{ \$/kg} * 1.25 = \$ \mathbf{0.047}$$

3.3.14 Costo del proceso por pieza.

El costo del proceso por pieza se puede estimar como:

$$C_{\text{proceso/pieza}} = \frac{t_{\text{ciclo}}}{\eta_{\text{cav}}} * \frac{R_{\text{maq mold}}}{3600 \text{ s/h}}$$

Dónde:

t_{ciclo} = tiempo de ciclo.

$R_{\text{maq mold}}$ = costo por hora de producción de la pieza.

Resolviendo:

$$t_{\text{ciclo}} = 30 \text{ s.}$$

$$R_{\text{maq mold}} = 50 \text{ \$/h}$$

$$C_{\text{proceso/pieza}} = \frac{30 \text{ s}}{4} * \frac{50 \text{ \$/h}}{3600 \text{ s/h}} = \$ \mathbf{0.10}$$

3.3.15 Rendimiento del proceso.

Para determinar el rendimiento del proceso se procede a sacar la información de la siguiente tabla:

Tabla 21. Tabla de rendimientos.

Número total de ciclos de moldeo	Baja calidad de la pieza	Alta calidad de la pieza
~10000	0,95	0,90
~100000	0,98	0,95
~1000000	0,99	0,98

Fuente: David Kazmer. Injection mold design engineering, 2007.

Resolviendo:

Con los datos obtenidos anteriormente, resulta un factor de rendimiento de **0.95**.

3.4 Selección del tipo de sistema de enfriamiento.

Con los datos obtenidos en el capítulo anterior, se pudo determinar que el tiempo que se necesita mantener el molde cerrado para enfriar la pieza es de 21 segundos, tiempo que debe estar circulando el refrigerante (agua helada) por los ductos.

Para el sistema de ductos se ha seleccionado un sistema en paralelo cuyo diámetro es de 4.76 mm y consta con 4 líneas, capaces de extraer 20347.4 Jouls de calor. Para lo cual se necesitará una bomba que pueda ejercer una potencia mínima de 484.5 W que permita circular la cantidad necesaria de agua.

3.5 Dimensiones del molde.

Para poder determinar las dimensiones del molde, se debe tener en cuenta las medidas de las piezas a inyectarse, el número de piezas a inyectarse y las dimensiones y distribución de los canales de enfriamiento, dando como resultado dimensiones de (138.56X138.56X20)mm para la placa donde irán mecanizadas las cavidades.

3.6 Fuerza de cierre.

Se determina la fuerza de cierre, con la finalidad de conocer cuál es la fuerza necesaria para mantener cerrado el molde sin que se derrame el material inyectado y afecte a la presión de empaquetamiento. Se determinó una fuerza de cierre de 1.23 toneladas métricas, es decir esta es la fuerza que debe ejercer el sistema hidráulico de la maquina inyectora sobre la placa móvil.

3.7 Sistema de alimentación.

Para diseñar sistema de alimentación se debe conocer las dimensiones del bebedero las cuales serán $D_{\text{ascendente}} = 5\text{mm}$ y $D_{\text{descendente}} = 2.88\text{mm}$, y longitud debe ser la misma de la mitad del molde. La distribución será con 1 canal primario y 2 canales secundarios ramificados que permitan el llenado de 4 cavidades.

3.8 Diseño de desfogue de gases.

En el molde de inyección se debe incluir desfogaderos que permitan retirar el aire que queda dentro de las cavidades, para lo cual se ubicarán en cada una de las cavidades con un diámetro de 0.05 mm.

3.9 Diseño de eyectores.

Mediante los cálculos realizados, se determinó que se colocarán 4 pines eyectores que se desplazaran 14 mm al momento de expulsar las piezas de plástico inyectadas, con una longitud de manguito de 72.5 mm. El diámetro de contacto será de 1.33 mm y el área de contacto será la mitad del área de la circunferencia. El diseño se muestra en el plano n: 13.

3.10 Simulación del llenado de las cavidades del molde.

La realización de la simulación de llenado es muy importante para poder determinar el punto de inyección de la cavidad, con la finalidad de que el llenado de la cavidad sea uniforme y no presente fallas en el llenado.

3.10.1 Simulación en Moldflow.

El software Simulation Moldflow proporciona herramientas para el diseño de moldes de inyección, el diseño de piezas de plástico y el proceso de diseño de moldeo por inyección de plástico. Simulation Moldflow se utiliza para evitar posibles defectos de fabricación y crear excelentes productos en menos tiempo. Este software se utiliza para simular el proceso de inyección del accesorio, y conocer como irá fluyendo el material dentro del molde y llenando los espacios hasta formar el accesorio y poder visualizar cuales son los puntos de inyección del material, a su vez identificar si existe algún espacio del accesorio donde haya alguna interferencia que impida que fluya el material, en las siguientes figuras se muestran el proceso de llenado de las cavidades para un codo de PP de 1/2".

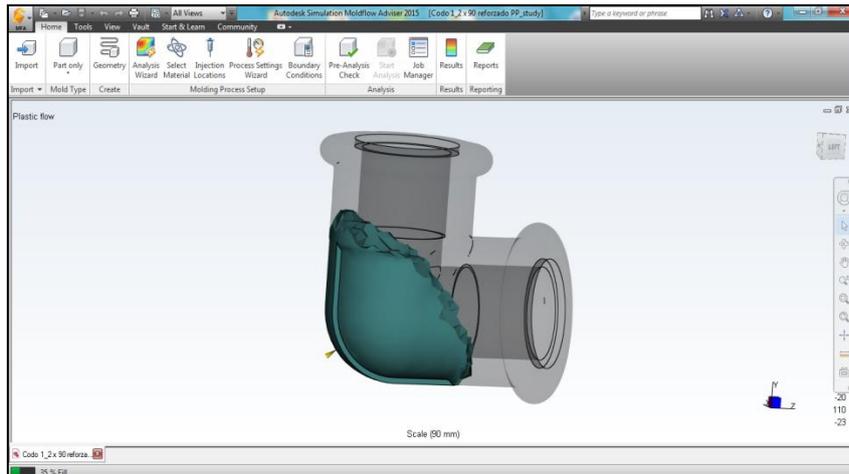


Figura 3.1. Simulación 1 de inyección.

Fuente: Autor, 2016

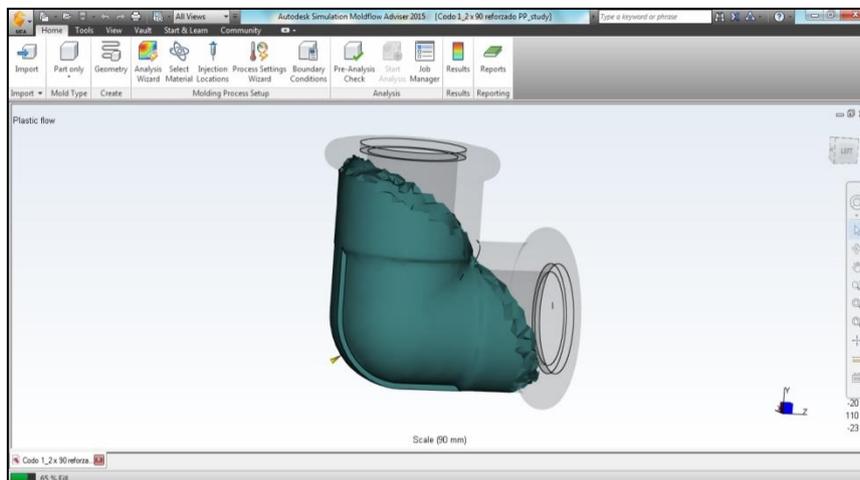


Figura 3.2. Simulación 2 de inyección.

Fuente: Autor, 2016

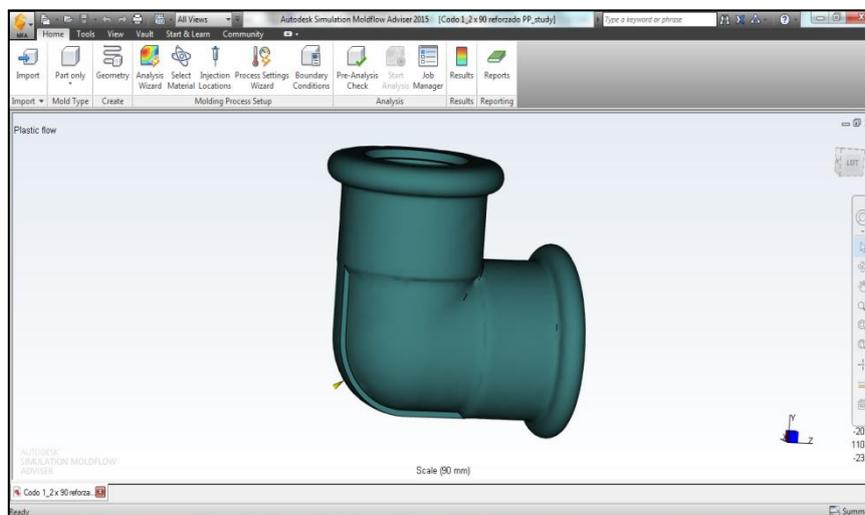


Figura 3.3. Simulación 3 de inyección.

Fuente: Autor, 2016

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Conclusiones.

Se pudo establecer un esquema de diseño que nos permite diseñar un molde para inyección de plástico de dos platos; con la finalidad de que este procedimiento se pueda implementar en el país. Hoy en día en el país, no se cuenta con empresas que se dediquen a diseñar y construir moldes para diferentes tipos de piezas de plástico, provocando altos costos en la importación para las empresas del plástico.

Se pudo establecer un proceso de diseño para un molde de dos platos con apertura axial, el cual realizado el análisis del tipo de material del molde base, se determinó que el material debe ser un AISI P20, debido a que este material tiene costos menores con respecto al resto de materiales que se pueden utilizar.

Para el caso de estudio, se pudo determinar que para moldes relativamente pequeños, se tiene canales de enfriamiento de diámetro mínimo de 4.76 mm con una distribución en paralelo aumentando la eficiencia del sistema.

Los pines eyectores deben ser los adecuados de tal forma que al funcionar no sufra deflexión y pueda trabajar con normalidad, es decir moverse la longitud indicada para vencer la fuerza de fricción entre la pieza y la cavidad del molde.

Para poder mecanizar las cavidades, tomando en consideración que el polímero al solidificarse se comprime afectando de esta forma la geometría de la pieza, se debe considerar el porcentaje de deformación que se desea obtener (establecido por la norma de calidad de la pieza), de esta forma incrementar las medidas de las cavidades y obtener una pieza cuya geometría este dentro del rango permitido. Para el acabado superficial se debe seleccionar dependiendo los requerimiento del diseño de la pieza, el cual, cada tipo de textura está dado por una profundidad de electroerosionado de la cavidad, para este caso se seleccionó la textura tipo madera con una profundidad de 50 μm y 4 cavidades por cada ciclo.

Para determinar los canales de alimentación, se debe tener en cuenta la cantidad de cavidades a llenar por ciclo y la geometría de la pieza, de esta forma poder obtener una distribución homogénea para el llenado de todas las cavidades.

4.2. Recomendaciones.

Para obtener un buen diseño y producción de un molde para inyección de plástico se debe tomar las siguientes recomendaciones:

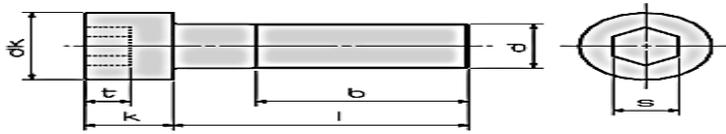
- Colocar la cantidad necesaria de desfogaderos para evitar la acumulación de gases que dañen el proceso de inyección.
- Verificar las normas de calidad que debe cumplir la pieza inyectada para poder realizar el mecanizado de las cavidades de tal forma que el producto final pueda cumplir con las normas establecidas.
- Si se desea producir piezas de plásticos de dimensiones muy pequeñas, se recomienda diseñar un molde con un gran número de cavidades de tal forma que permita ser viable la producción de dicha pieza de plástico.
- El esquema de diseño establecido es para un molde de dos platos, si se desea diseñar un molde de 3 platos, se recomienda realizar otros análisis adicionales a los ya propuestos.
- Una vez construido el molde, verificar que los tiempos de enfriamientos son los adecuados de tal forma que las zonas de enfriamiento sean correctos y no afecte a las propiedades mecánicas de la pieza inyectada.
- Cuando el molde este en producción, tomar en consideración el tonelaje de cierre que se necesita para que no haya problemas en la puesta en marcha de la máquina inyectora.
- Realizar un análisis previo de la materia prima que se utilizará en el proceso, con la finalidad de conocer con certeza la formula química del polímero, en el caso de que exista algún problema en la inyección del polímero.
- Realizar un mantenimiento del molde antes y después de la puesta en marcha, para evitar cualquier daño que se pueda ocasionar, tanto en el molde como en la producción de la pieza de plástico.
- Verificar en la maquina inyectora los rangos de temperatura de plastificación del polímero con la finalidad de evitar fallas en el producto final.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ing. David O. Kazmer (2007). "Injection Mold Design Engineering", Stanford University - EEUU. Hanser Gardner Publications.
- [2] Ing. Arévalo Nelson (2013). "Manual de inyección de plástico", Mexichem "PLASTIGAMA". Guayaquil – Ecuador.
- [3] Ing. Sarango Carlos (2014). "Manual de inyección de plástico", Mexichem "PLASTIGAMA". Guayaquil – Ecuador.
- [4] Julio César Sabogal. (2015). "Diseño de la Refrigeración en Moldes de Inyección". 2015, de metalactual Sitio web:
http://www.metalactual.com/revista/27/procesos_moldes.pdf
- [5] Mayro Morán. (2013). "Normas de materiales para la fabricación de moldes". 2015, de prezi Sitio web: <https://prezi.com/l2sjtw-miype/normas-de-materiales-para-la-fabricacion-de-moldes-dados-y/>
- [6] Vaxa Software. (2015). "Coeficientes de dilatación térmica lineal (a 20 °C)". 2015, de VaxaSoftware Sitio web: http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/coefidilat.pdf
- [7] R.P. Chhabra & J.F. Richardson. (1999). "Fluidos no newtonianos". 2015, de Butterworth-Heinemann Sitio web:
http://www.ing.unlp.edu.ar/dquimica/paginas/catedras/iofq809/apuntes/Fluidos%20no%20newtonianos_R1.pdf
- [8] Vaxa Software. (2015). "Calor específico del agua entre 0 °C y 100 °C". 2015, de VaxaSoftware Sitio web: http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/caloresph2o.pdf
- [9] Goodfellow. (2008). "Polipropileno". 2015, de goodfellow Sitio web:
<http://www.goodfellow.com/S/Polipropileno.html>

APÉNDICE A

Dimensiones Tornillo Allen DIN 912



Métrica (d)	Longitud rosca (b)	Diámetro cabeza		Altura cabeza		Ancho llave			Profundidad (t min.)
		(dk max.)	(dk min.)	(k max.)	(k min.)	(s Nom.)	(s min.)	(s max.)	
M 3	18,0	5,5	5,32	3,0	2,86	2,5	2,52	2,58	1,3
M 4	20,0	7,0	6,78	4,0	3,82	3,0	3,02	3,08	2,0
M 5	22,0	8,5	8,28	5,0	4,82	4,0	4,02	4,095	2,5
M 6	24,0	10,0	9,78	6,0	5,7	5,0	5,02	5,14	3,0
M 8	28,0	13,0	12,73	8,0	7,64	6,0	6,025	6,14	3,5
M 10	32,0	16,0	15,73	10,0	9,64	8,0	8,025	8,175	4,0
M 12	36,0	18,0	17,73	12,0	11,57	10,0	10,025	10,175	5,0
M 14	40,0	21,0	20,67	14,0	13,57	12,0	12,032	12,212	6,0
M 16	44,0	24,0	23,67	16,0	15,57	14,0	14,032	14,212	7,0
M 20	52,0	30,0	29,67	20,0	19,48	17,0	17,05	17,23	8,0
M 24	60,0	36,0	35,61	24,0	23,48	19,0	19,065	19,275	10,0
M 27	66,0	40,0	39,61	27,0	26,48	19,0	19,065	19,275	12,0
M 30	72,0	45,0	44,61	30,0	29,48	22,0	22,065	22,275	13,5

Fuente: <http://www.valvias.com/prontuario-rosca-tornillo-allen-din-912.php>. 2007

APÉNDICE B

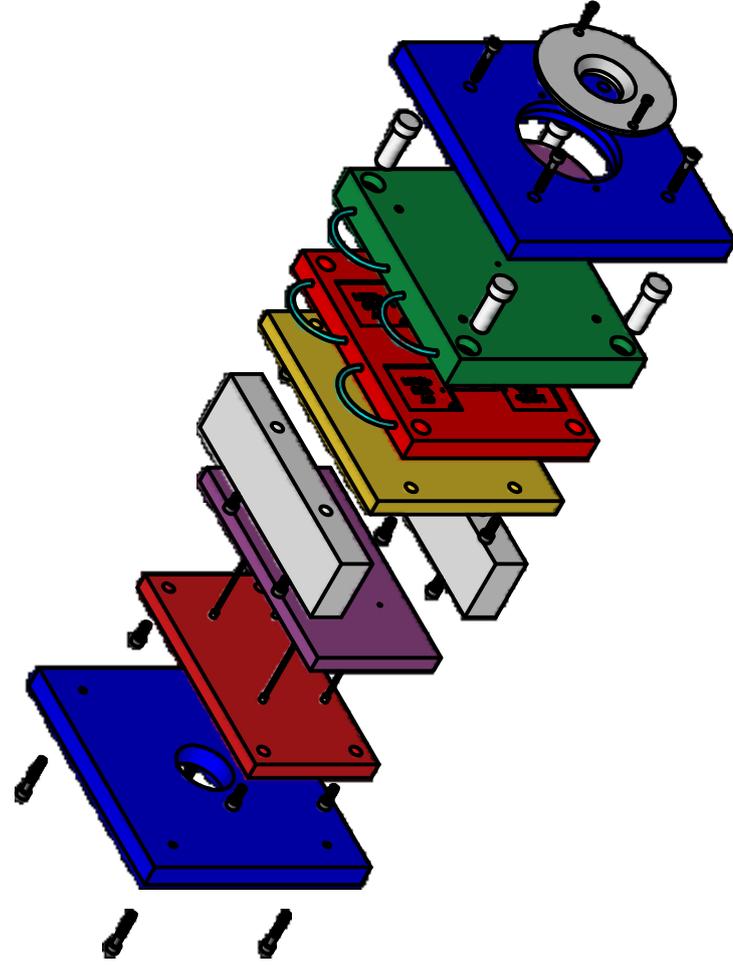
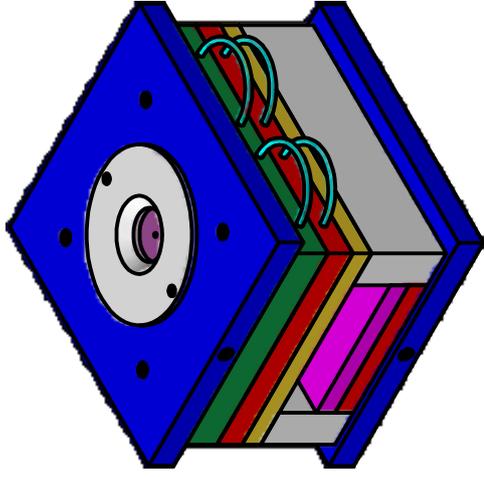
K100 Disco centrador Materiales : 1.1730 / 640 N/mm²

Selección: K100/60 x 8 -> 19,58 EURO (EUR)

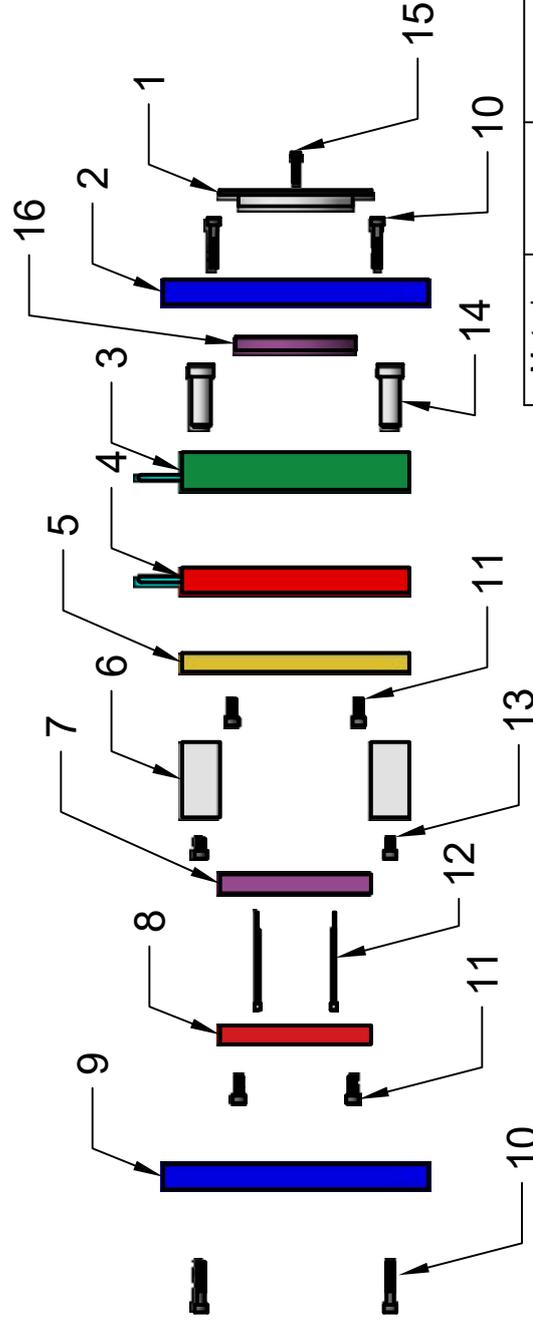
ID	Número	EURO [EUR]	d1 [mm]	h1 [mm]	d2 [mm]	t1 [mm]	h2_ [mm]	Typ
22	K100/110 x 16,5	28,01	110	16,5	36	8,5	12,5	3
23	K100/120 x 8	22,77	120	8	36	0	4	3
24	K100/120 x 11	24,48	120	11	36	3	7	3
25	K100/120 x 12	25,13	120	12	36	0	4	3
26	K100/120 x 13	25,77	120	13	36	5	9	3
27	K100/120 x 15	27,47	120	15	36	7	11	3
28	K100/120 x 16,5	28,86	120	16,5	36	8,5	12,5	3
29	K100/125 x 8	23,52	125	8	36	0	4	3

Fuente: http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/7._Trabajo_2:_Molde_completo_3D_-_1405_7109_-_
 (18/6/2012). 2012

PLANOS ESQUEMÁTICOS



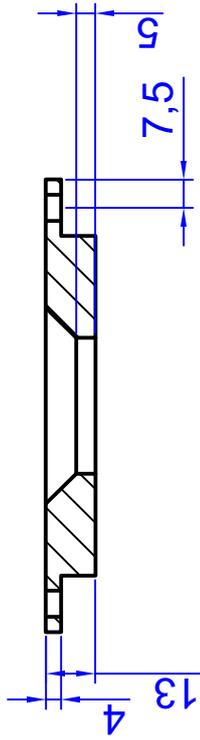
No	NOMBRES
1	Disco centrador
2	Placa de fijación 1
3	Placa A
4	Placa B
5	Placa intermedia
6	Bloques montantes
7	Placa eyectora 2
8	Placa eyectora 1
9	Placa de fijación 2
10	Pernos allen M6(1)
11	Pernos allen M6(2)
12	Pines eyectores
13	Pernos allen M6(3)
14	Pilares de apoyo
15	Pernos allen M4
16	Placa centradora



Materia Integradora	Fecha:	Dibujado por:	Hermes Francisco Sarango Bustos
	08/02/2016	Aprobado por:	
No:	1		
Molde para inyección de plástico de dos platos y 4 cavidades			



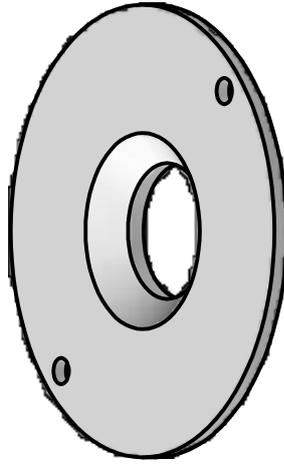
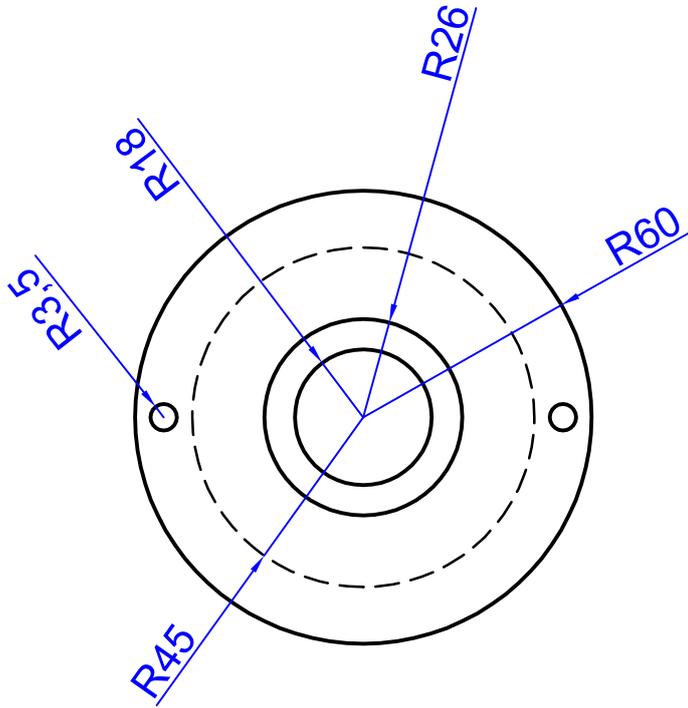
A-A



A

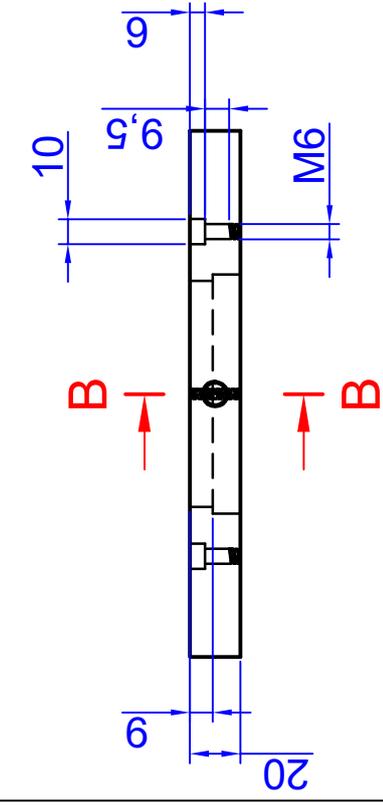
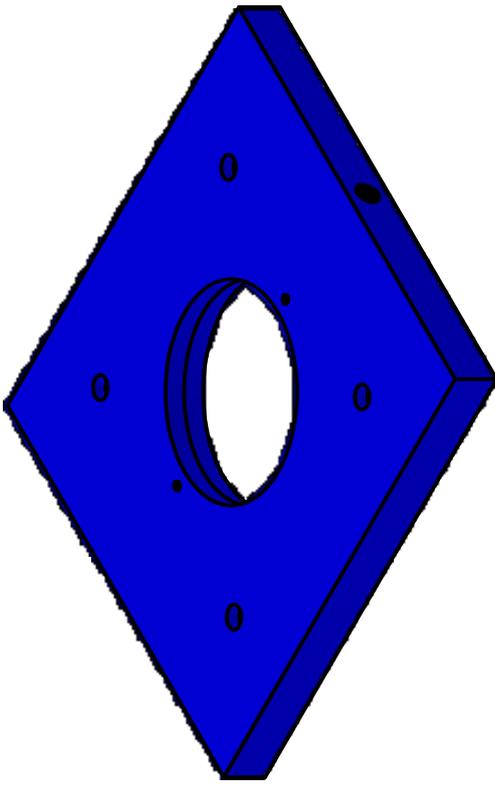
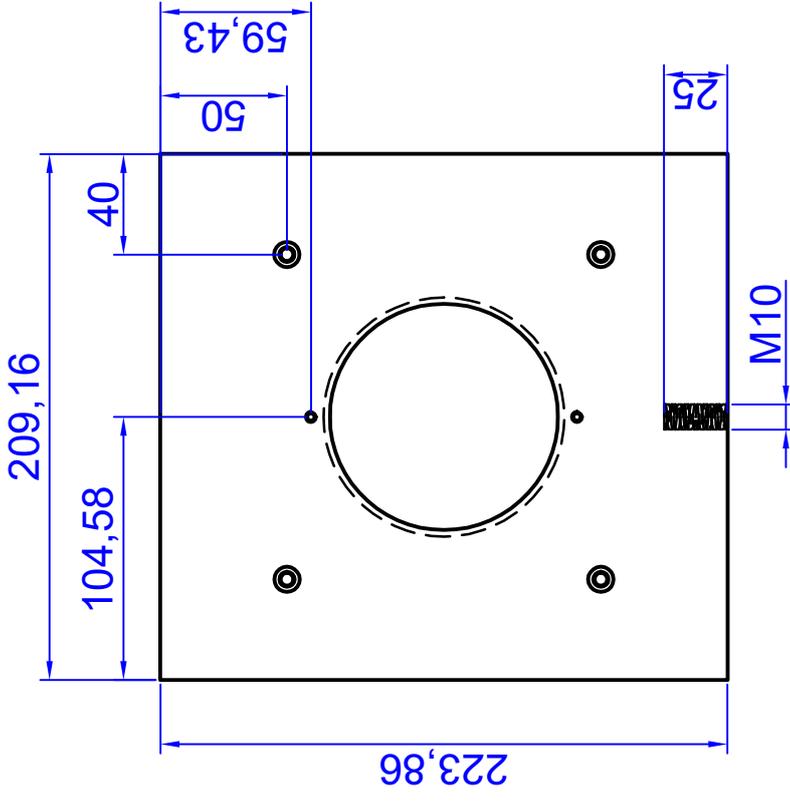


A

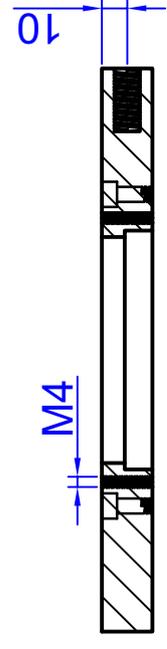


Unidad:	mm	Fecha:	08/02/2016	Dibujado por:	Hermes Francisco Sarango Bustos
Nº:	2	Aprobado por:	Amaya J.L Ph.D./Rigall A. Ph.D.		
Disco Centrador					

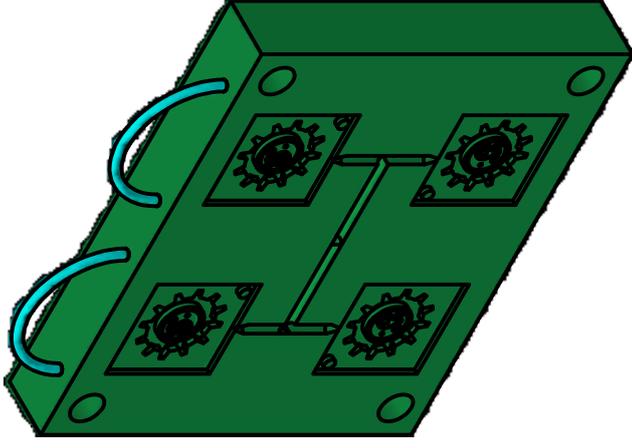
Unidad: mm	Fecha:	Dibujado por:	Hermes Francisco Sarango Bustos
	08/02/2016	Aprobado por:	Amaya J.L. Ph.D./Rigall A. Ph.D.
No:	3		
Placa de fijación 1			



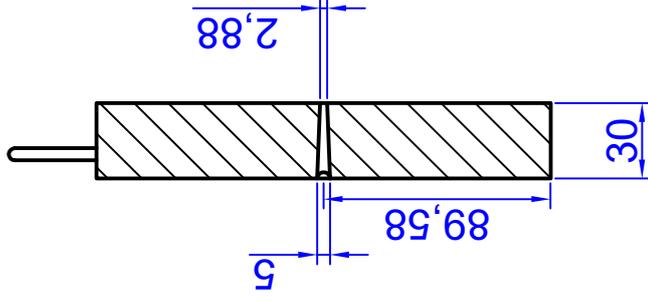
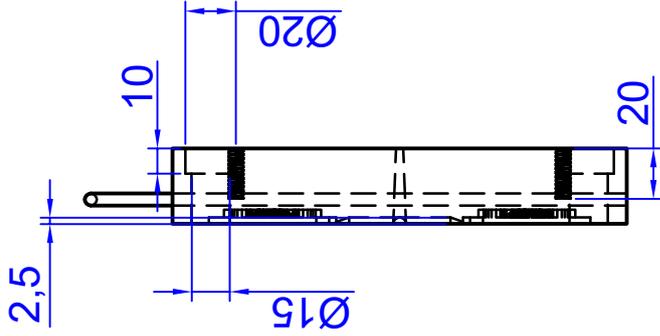
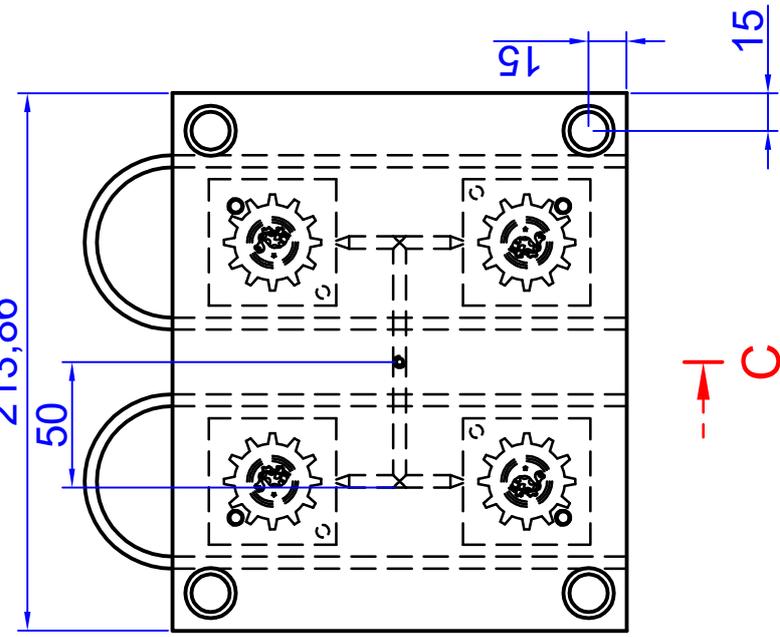
B-B



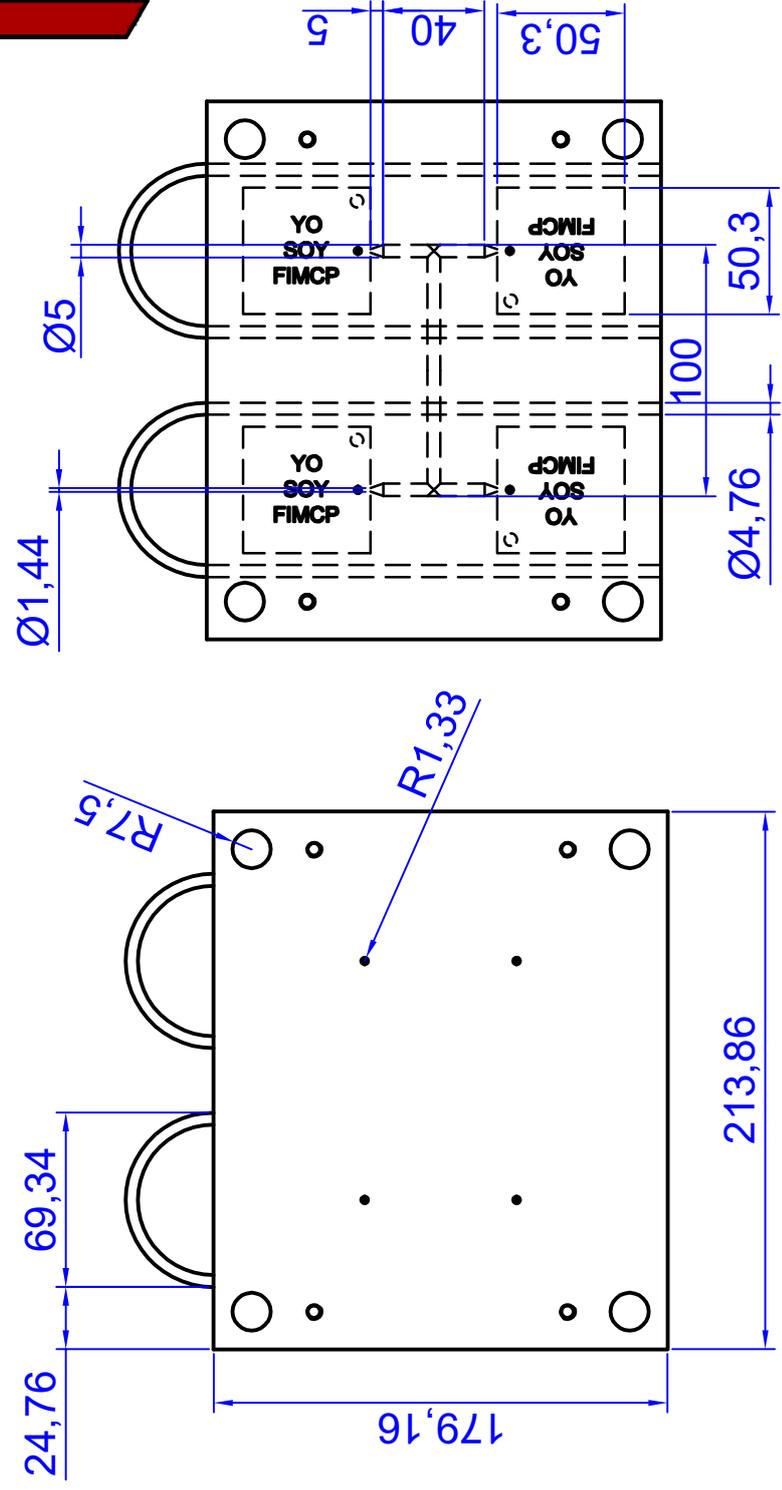
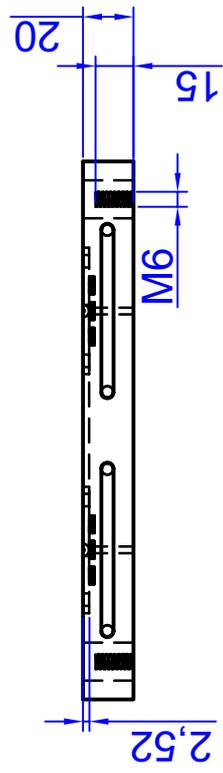
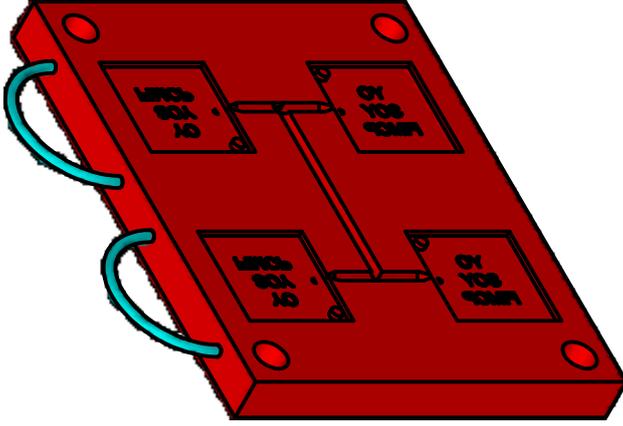
Placa de fijación 1



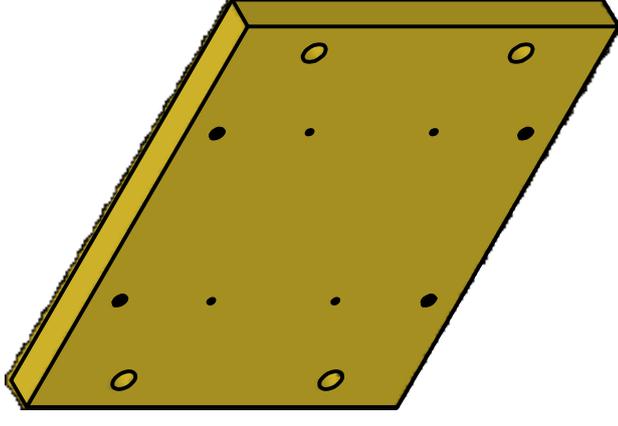
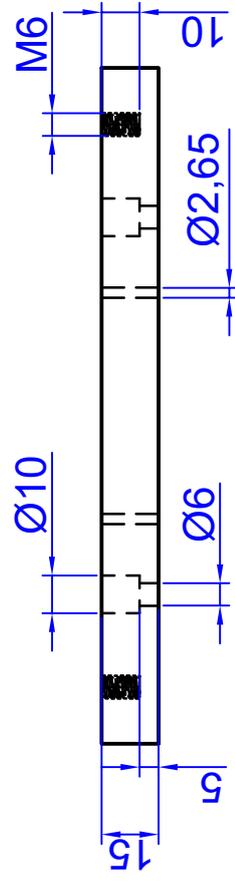
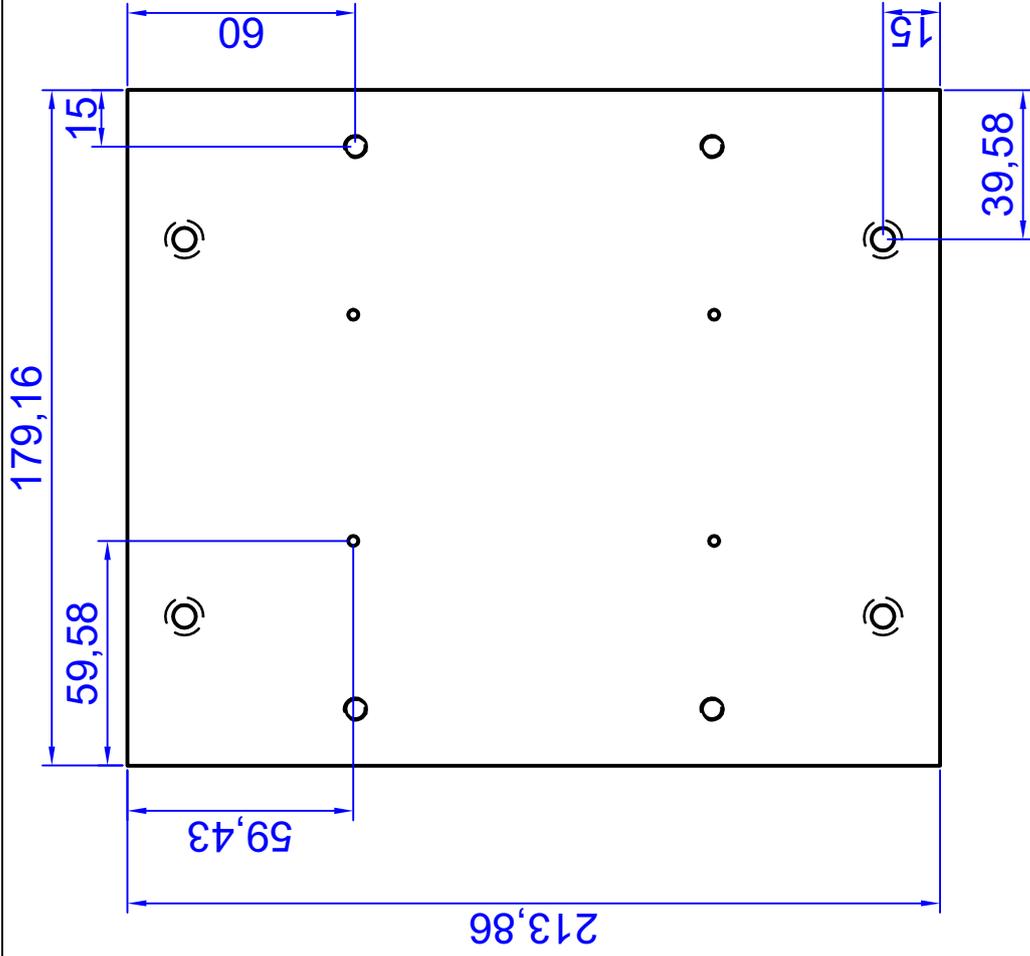
C-C



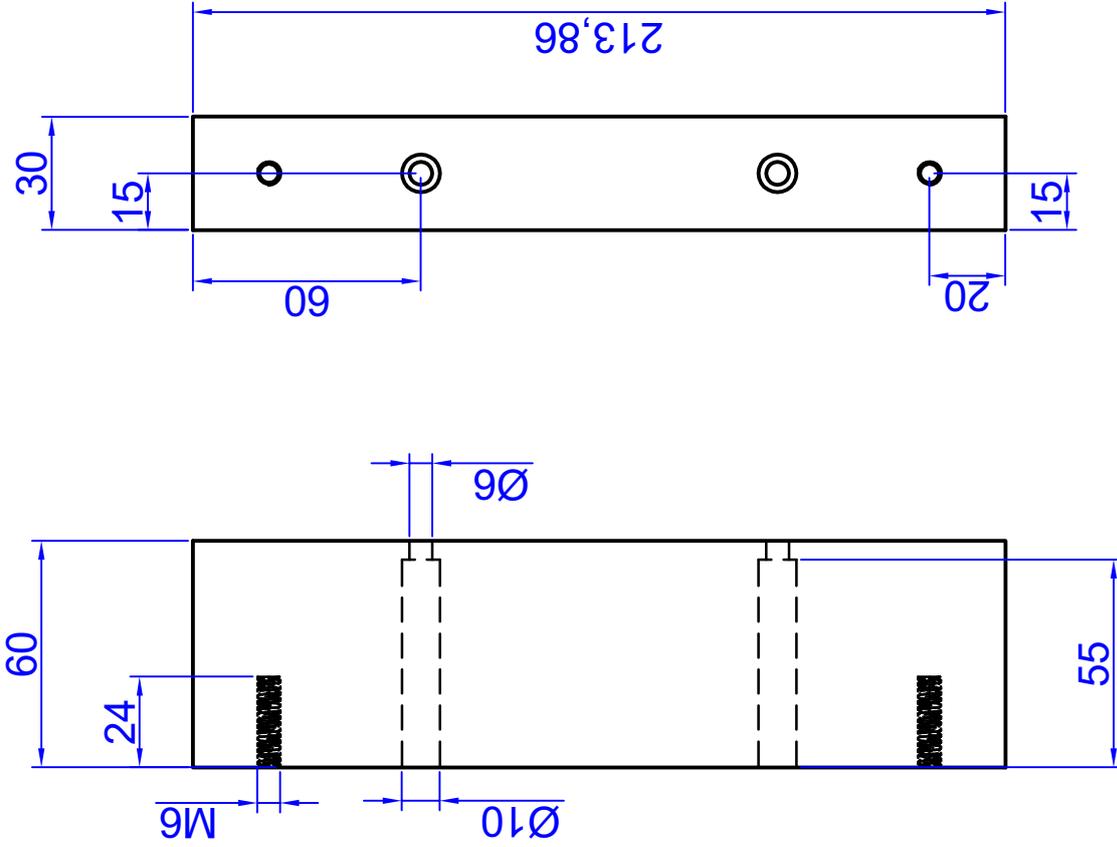
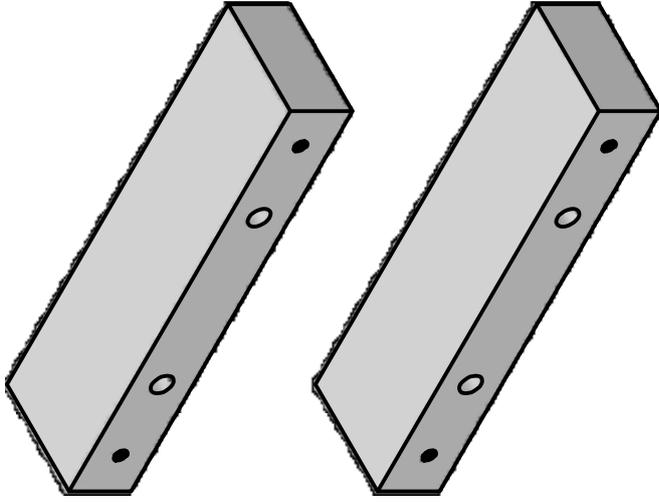
Fecha:	Dibujado por:	Hermes Francisco Sarango Bustos
08/02/2016	Aprobado por:	Amaya J.L Ph.D./Rigall A. Ph.D.
Unidad: mm	Placa A	
No:		



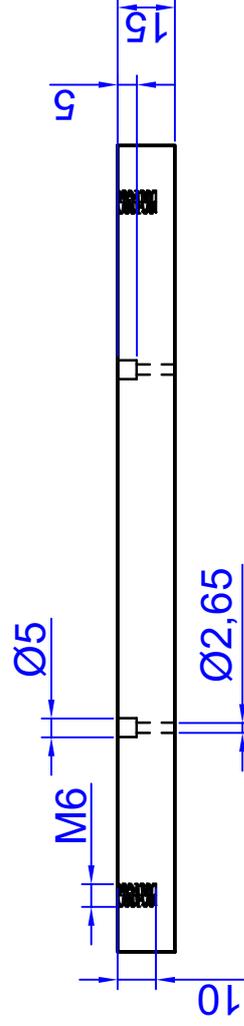
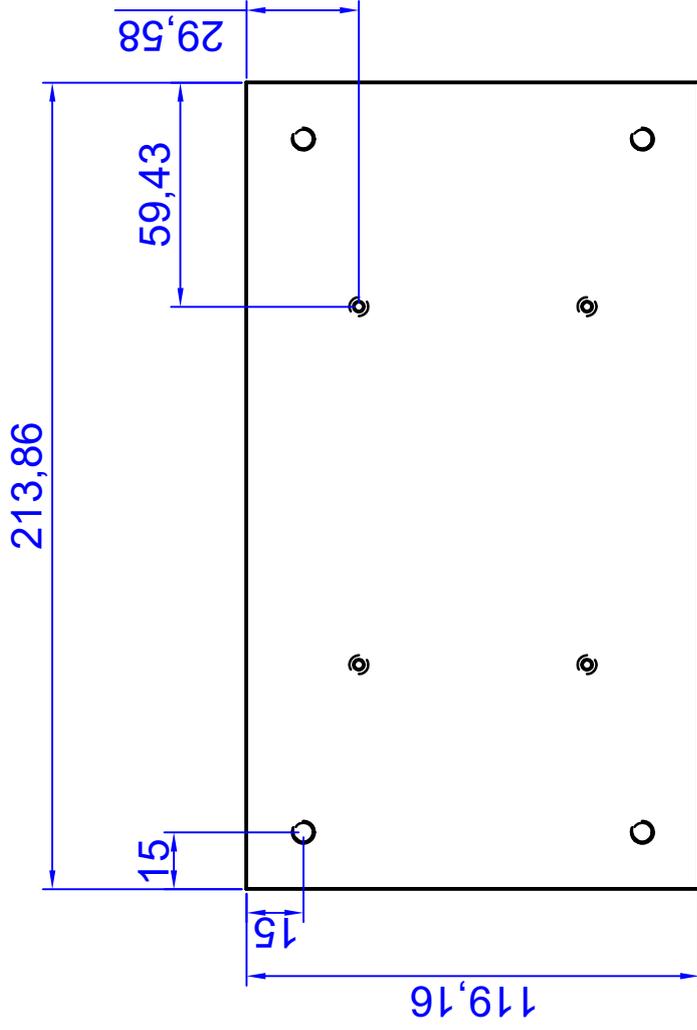
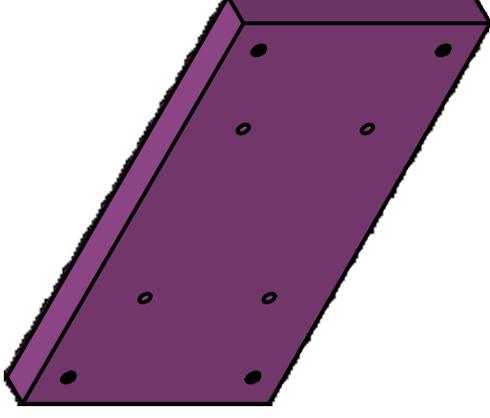
Unidad: mm	Fecha:	Dibujado por:	Placa B
	08/02/2016	Hermes Francisco Sarango Bustos	
No:	Aprobado por:		
5	Amaya J.L. Ph.D./Rigall A. Ph.D.		



Unidad: mm	Fecha:	Dibujado por:	Escuela Superior Politécnica del Litoral ESTPOL
	08/02/2016	Hermes Francisco Sarango Bustos	
No:	6	Aprobado por:	Amaya J.L Ph.D./Rigall A. Ph.D.
Placa intermedia			



Unidad: mm	Fecha:	Dibujado por:	Hermes Francisco Sarango Bustos
	08/02/2016	Aprobado por:	Amaya J.L. Ph.D./Rigall A. Ph.D.
No:	7		
Bloques montantes x2			



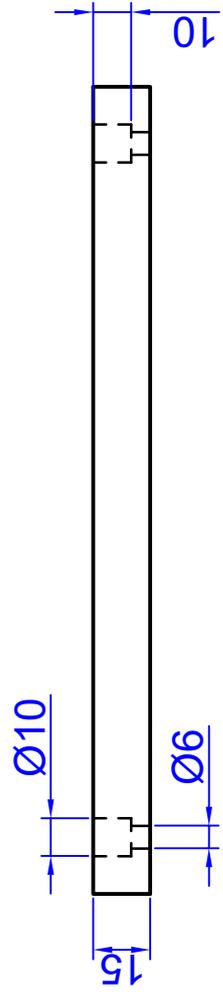
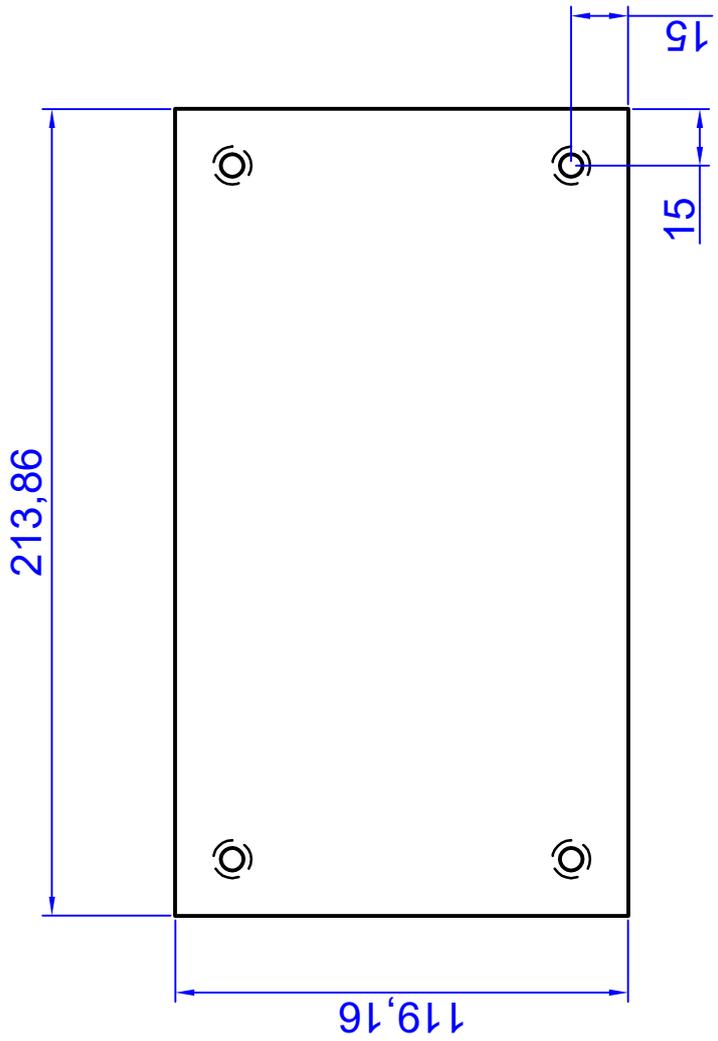
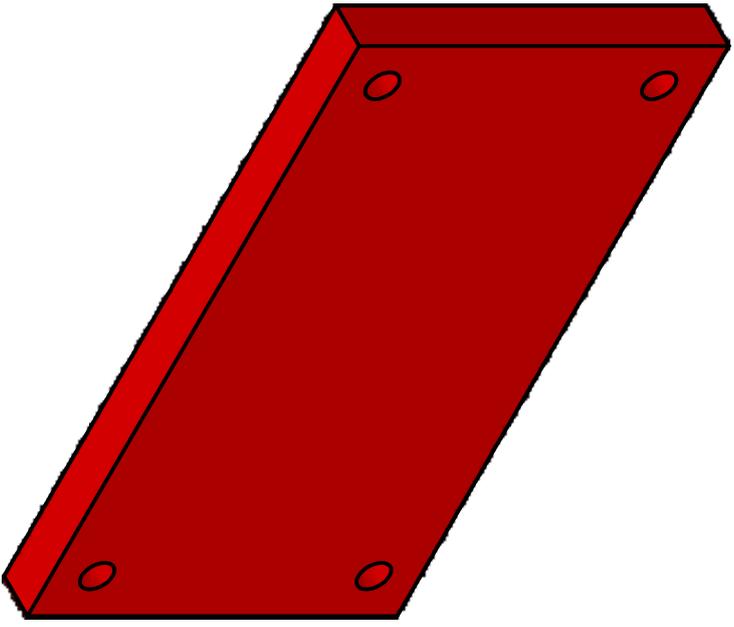
Fecha:	Dibujado por:	Hermes Francisco Sarango Bustos
08/02/2016	Aprobado por:	Amaya J.L Ph.D./Rigall A. Ph.D.
Unidad:	Placa eyectora 2	
mm		
No:	8	

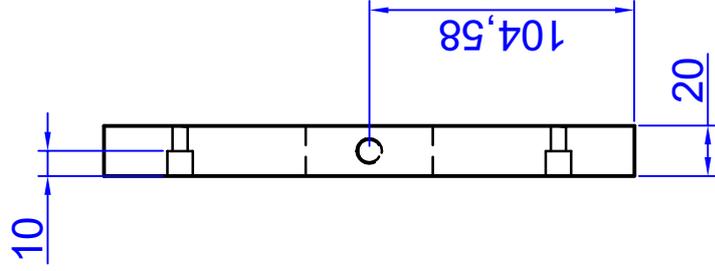
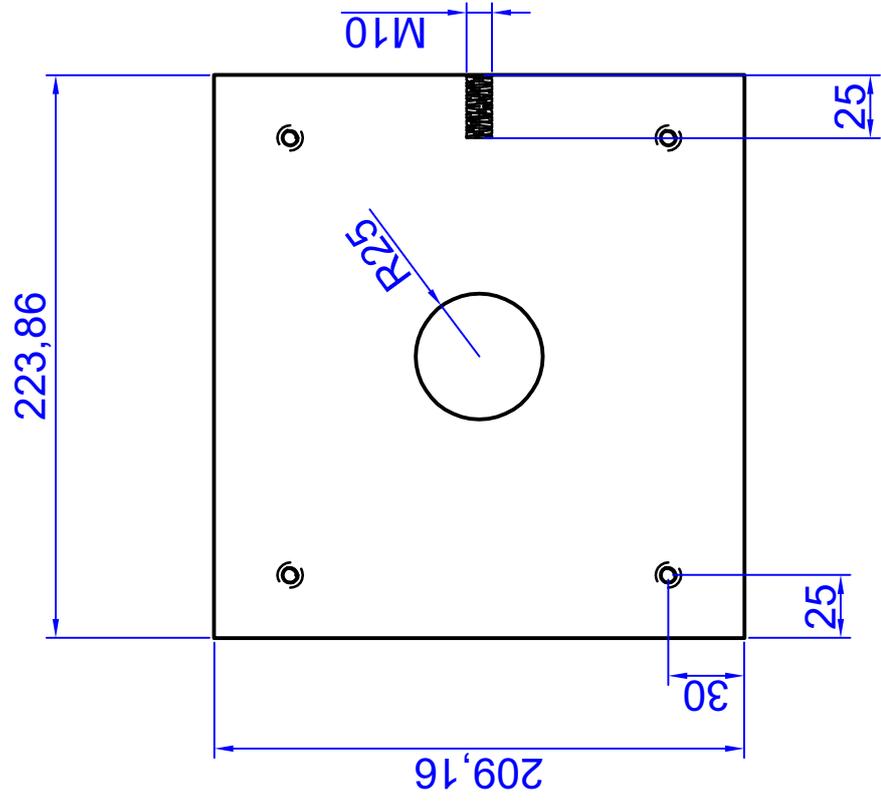
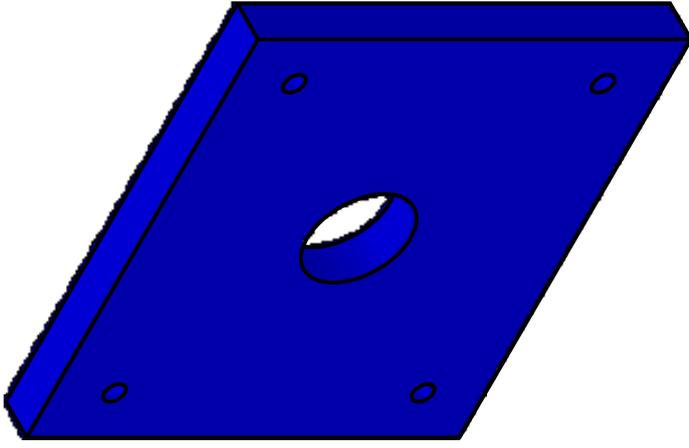


Fecha: 08/02/2016
Dibujado por: Hermes Francisco Sarango Bustos
Aprobado por: Amaya J.L. Ph.D./Rigall A. Ph.D.

Unidad: mm
No: 9

Placa eyectora 1

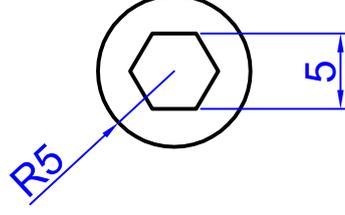
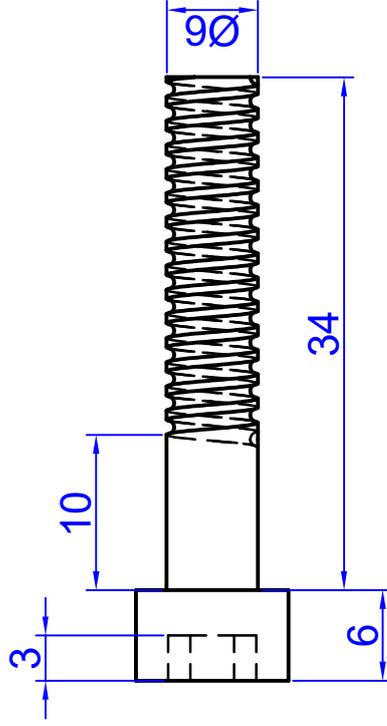
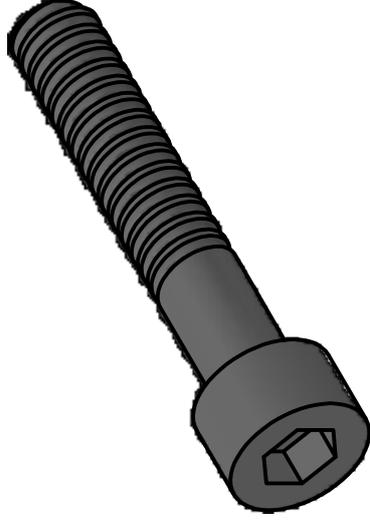




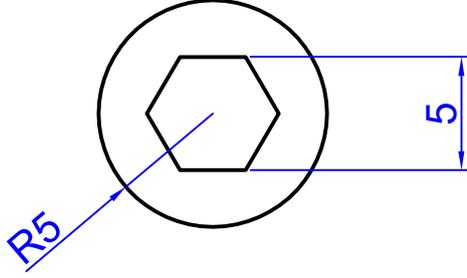
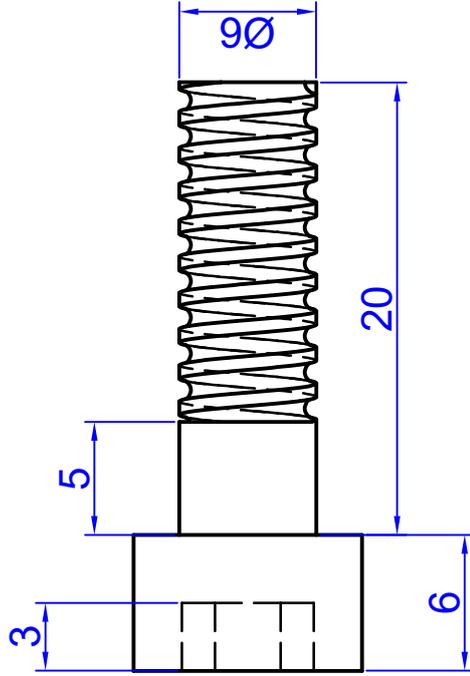
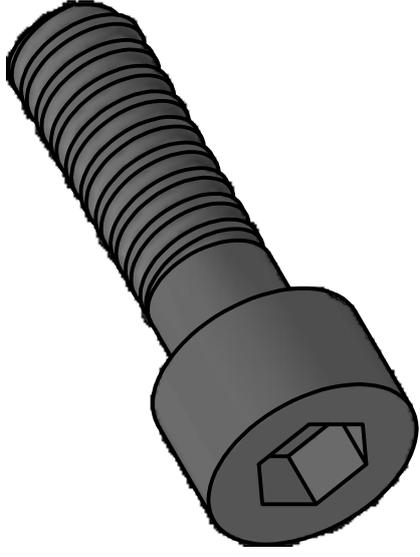
Fecha: 08/02/2016
 Dibujado por: Hermes Francisco Sarango Bustos
 Aprobado por: Amaya J.L Ph.D./Rigall A. Ph.D.

Unidad: mm
 No: 10

Placa de fijación 2



Unidad: mm	Fecha:	Dibujado por:	Hermes Francisco Sarango Bustos
	08/02/2016	Aprobado por:	Amaya J.L. Ph.D./Rigall A. Ph.D.
No: 11	Pernos allen M6(1)x8		



Fecha: 08/02/2016
Dibujado por: Hermes Francisco Sarango Bustos
Aprobado por: Amaya J.L. Ph.D./Rigall A. Ph.D.

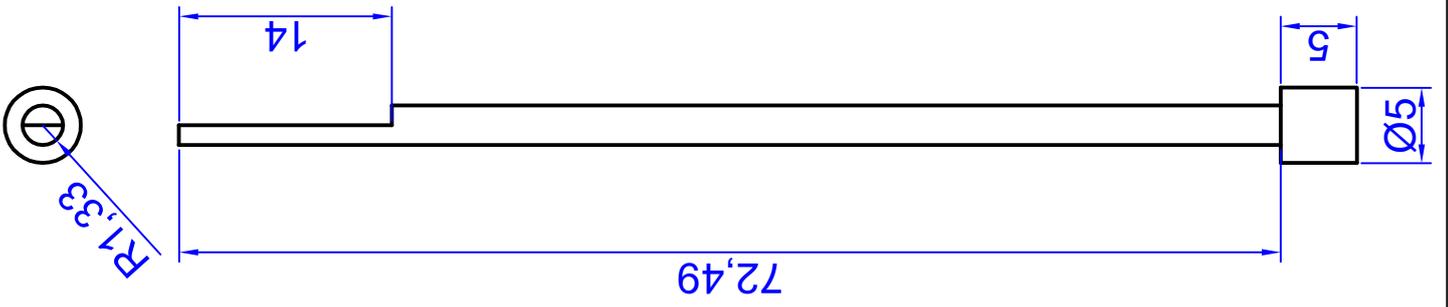
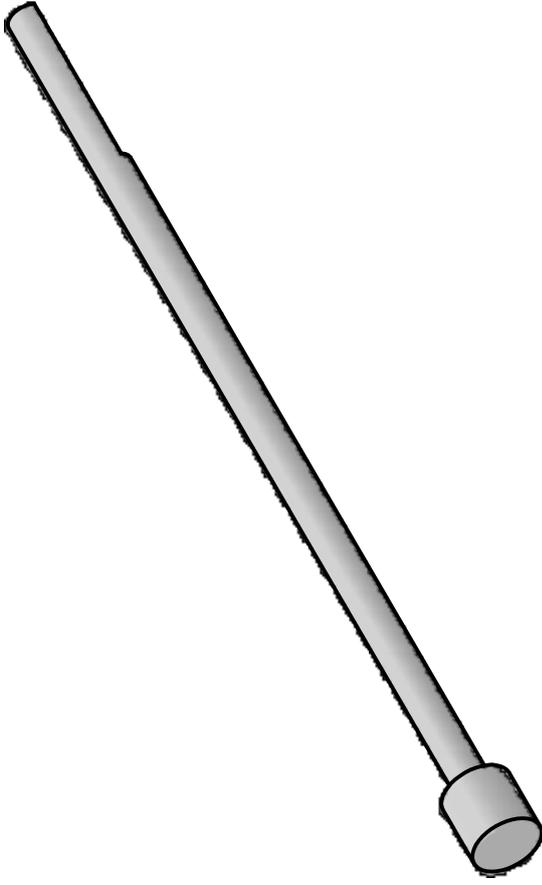
Unidad: mm

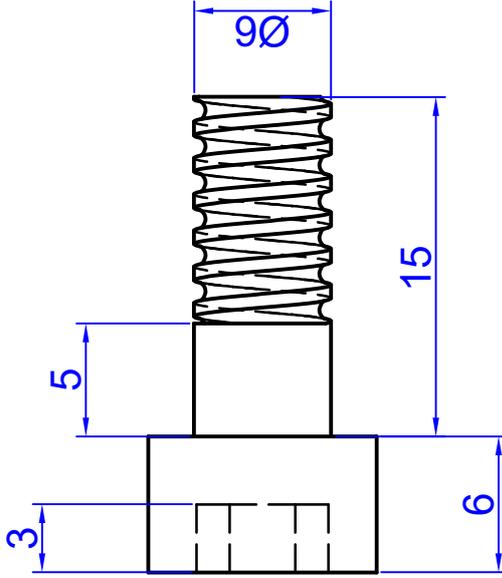
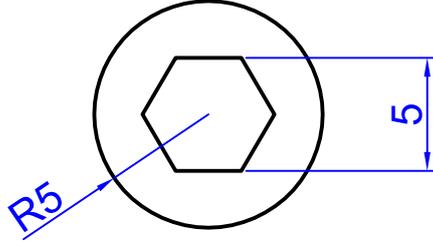
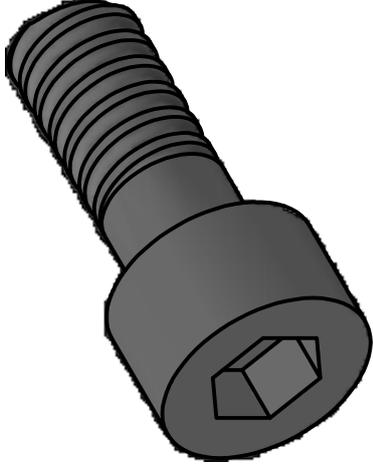
No: 12

Pernos allen M6(2)x8

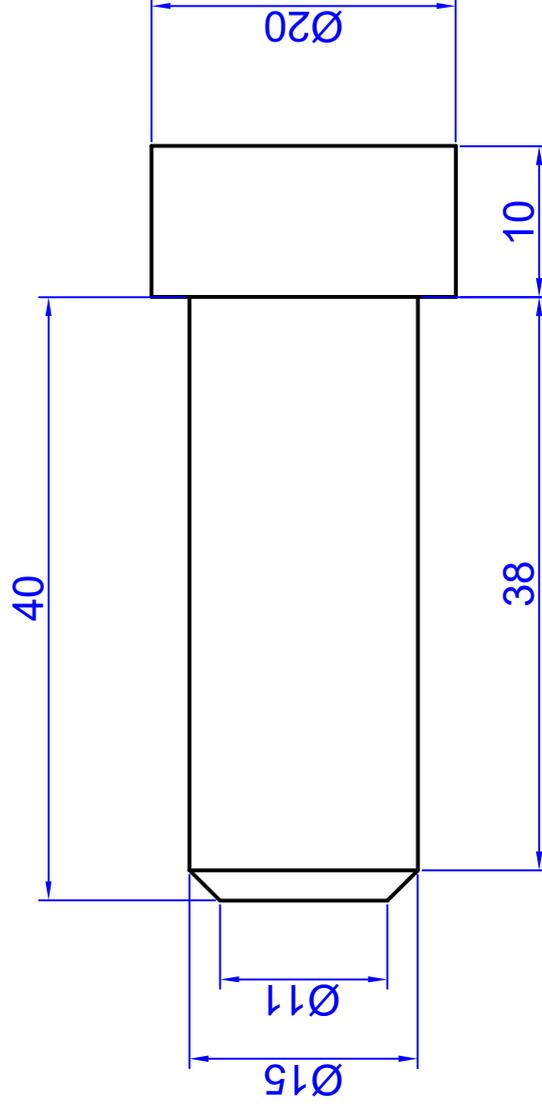
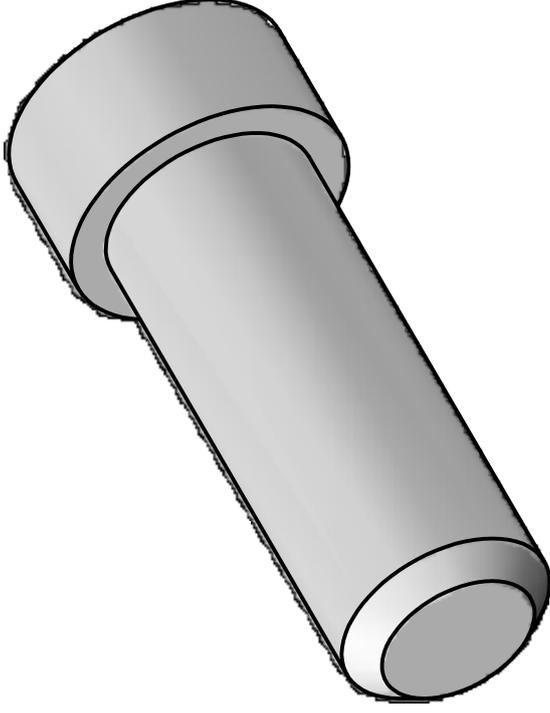


Unidad:	Fecha:	Dibujado por:	Hermes Francisco Sarango Bustos
mm	08/02/2016	Aprobado por:	Amaya J.L. Ph.D./Rigall A. Ph.D.
No:	13		
Pines eyectoresx4			





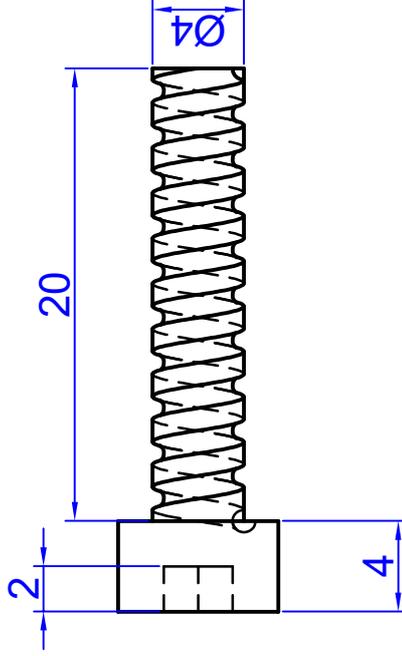
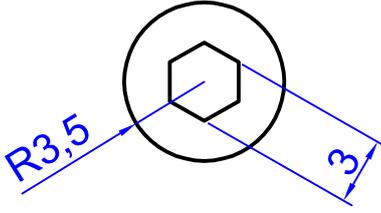
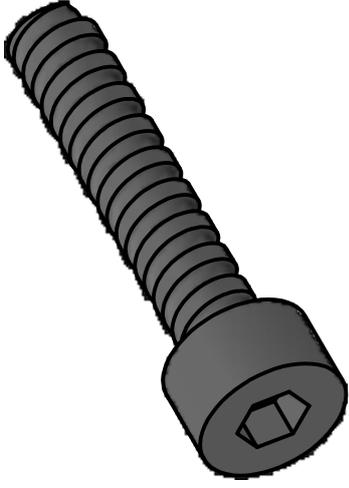
Unidad: mm	Fecha:	Dibujado por:	Hermes Francisco Sarango Bustos
	08/02/2016	Aprobado por:	Amaya J.L Ph.D./Rigall A. Ph.D.
No:	14		
Pernos allen M6(3)x4			



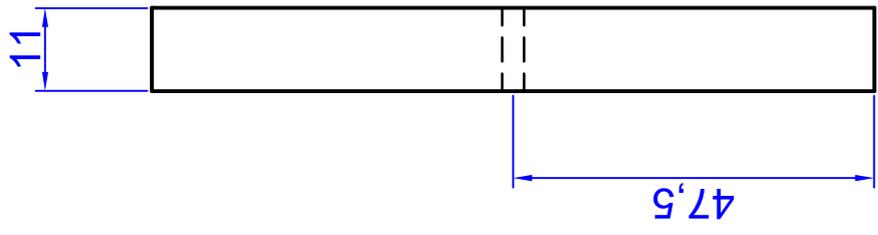
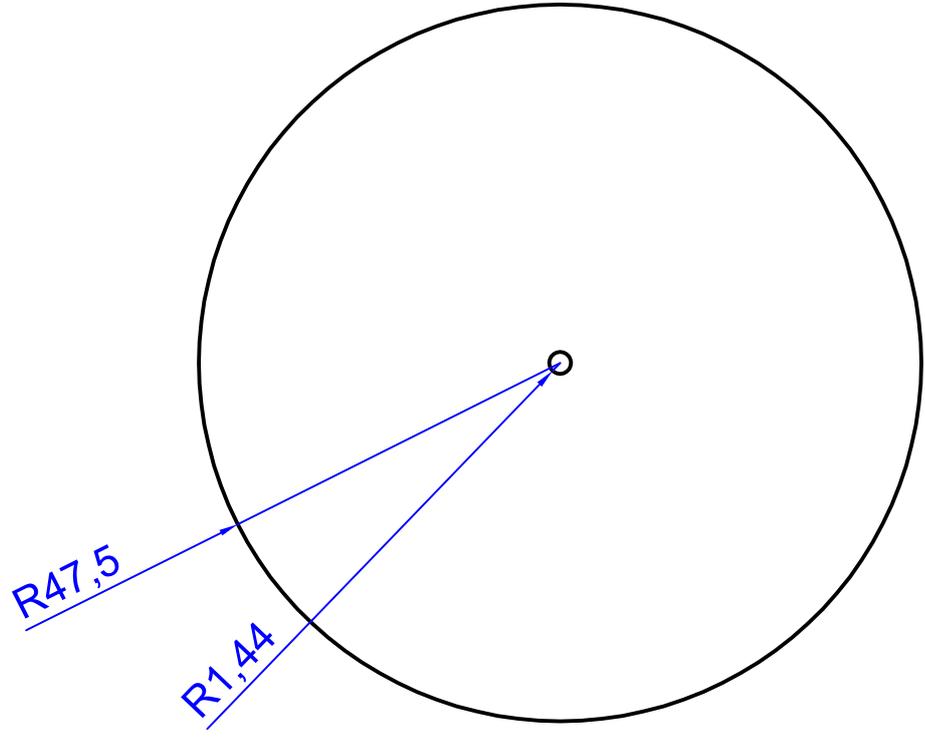
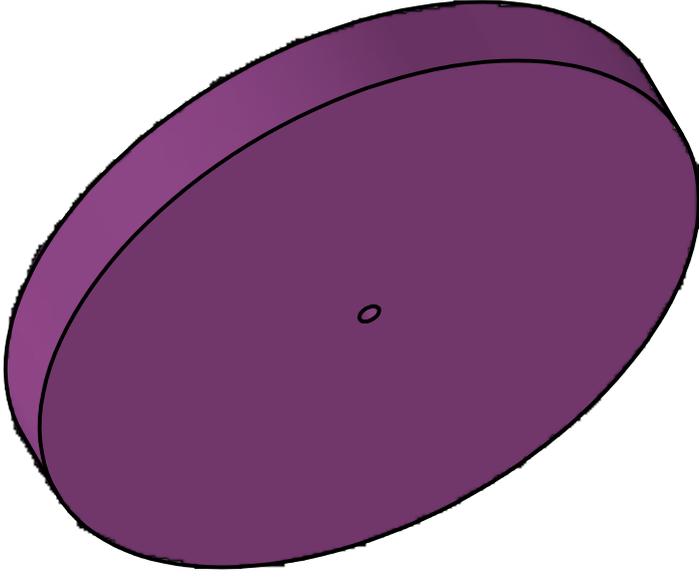
Unidad: mm	Fecha:	Dibujado por:	Hermes Francisco Sarango Bustos
	08/02/2016	Aprobado por:	Amaya J.L. Ph.D./Rigall A. Ph.D.

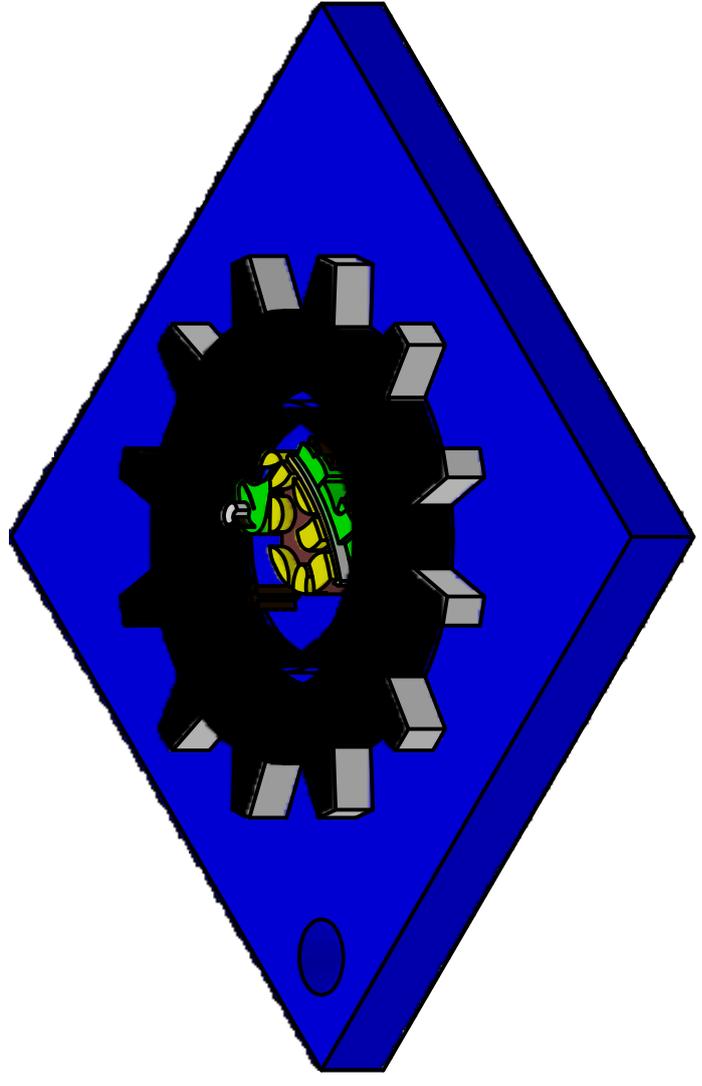
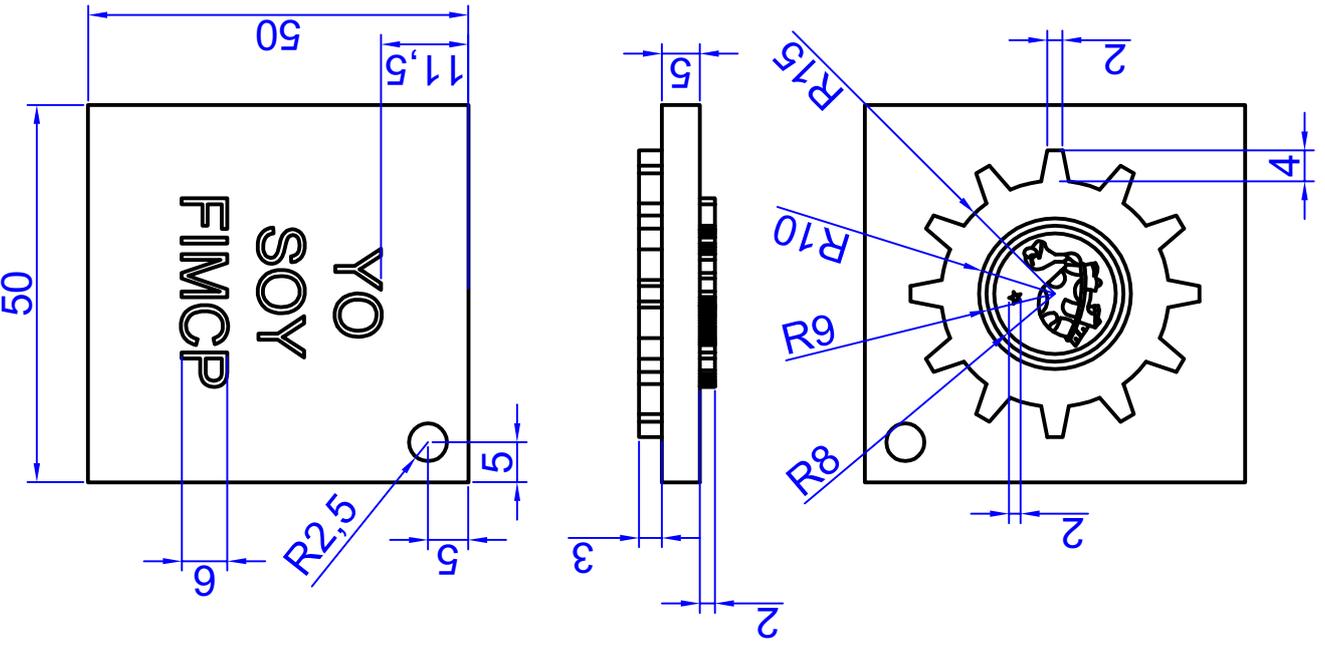
No: **15**

Pilares de apoyox4



Unidad: mm	Fecha:	Dibujado por:	Hermes Francisco Sarango Bustos
	08/02/2016	Aprobado por:	Amaya J.L Ph.D./Rigall A. Ph.D.
No:	Pernos allen M4x2		







Dibujado por: Hermes Francisco Sarango Bustos
Aprobado por: Amaya J.L. Ph.D./Rigall A. Ph.D.

Fecha: 08/02/2016

Unidad: mm
No: 19

Pieza fabricada por ciclo

