



Integración de actuadores hidráulicos para los sistemas secundarios de moldeo y liberación en moldes de inyección de plástico

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN MANUFACTURA
AVANZADA**

PRESENTA

**ING. DANIEL ENRIQUE REYES CASTREJON
ASESOR: DRA. ANGELICA ELIZABETH BONILLA BLANCAS**

LERMA, EDO. MÉXICO, SEPTIEMBRE 2019.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo con la beca No. 623348 así también agradezco al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por su apoyo con la beca de titulación con número de folio 19BTM0059.

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR



10 de Mayo de 2019

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico
CIATEQ, A.C.

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del alumno Ing. Daniel Enrique Reyes Castrejon, una vez revisada la Tesis o tesina titulada: "**INTEGRACIÓN DE ACTUADORES HIDRÁULICOS PARA LOS SISTEMAS SECUNDARIOS DE MOLDEO Y LIBERACIÓN EN MOLDES DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO**", autorizamos que el citado trabajo sea presentado por el alumno para la revisión del mismo con el fin de alcanzar el grado de Maestría durante el Examen de Titulación correspondiente.

Y para que así conste se firma la presente a los 10 días del mes de Mayo del año 2019.



Dra. Angelica Elizabeth Bonilla Blancas

CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



Lerma, Estado de México.
30 de Julio del 2019

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero
Directora
Posgrado CIATEQ
PRESENTE.

Por medio de la presente me estoy dirigiendo a Ud. de la manera más atenta, de que fui designado como revisor del trabajo de tesis del (la) **Ing. Daniel Enrique Reyes Castrejon**, del trabajo titulado:

“Integración de Actuadores Hidráulicos para los Sistemas Secundarios de Moldeo y Liberación en Moldes de Inyección de Plástico”

Después de haber leído, corregido e intercambiado información con el (la) estudiante antes mencionado(a), el trabajo de tesis que me fue entregado y haciendo resaltar que el (la) estudiante realizó todos los cambios que le fueron sugeridos a la tesis, ésta puede ser autorizada para su publicación y que de ésta manera pueda iniciar los trámites correspondientes para iniciar el proceso de titulación.

Sin otro particular por el momento y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta y en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención que se sirva prestar a la presente,

ATENTAMENTE

Dr. Raúl Pérez Bustamante

RESUMEN

Los moldes de inyección de plástico son herramientas ampliamente usadas para la manufactura de piezas plásticas, las cuales en la mayoría de las ocasiones presentan una estructura compleja con superficies que generan atrapes y dificultan la expulsión.

En este trabajo se presenta el diseño, fabricación y validación de un molde de inyección de plástico que utiliza un actuador electromecánico para el accionamiento de un herramental llamado movimiento lateral encargado de moldear y liberar la parte negativa de la pieza moldeada con el objetivo de reducir el tiempo de manufactura.

Como parte de la investigación se describe los componentes que integran el molde y la función de cada uno de ellos, además se analiza las ventajas y desventajas de utilizar elementos electromecánicos para el accionamiento de este tipo de herramientas auxiliares de moldeo (movimiento lateral), en comparación con elementos puramente mecánicos.

Palabras clave: Moldes de inyección, Manufactura, Diseño de moldes, Fabricación de moldes, Validación de moldes, Actuador electromecánico, Movimiento lateral.

ABSTRACT

Plastic injection molds are a strongly used tool for the manufacture of plastic parts, which in most cases have a complex structure with surfaces that generate undercuts and hinder ejection.

This paper presents the design, manufacture and validation of a plastic injection mold that uses an electromechanical actuator to drive a tool called lateral movement in charge of molding and releasing the undercut from proposed piece in order to reduce the manufacturing time.

As part of the investigation, the components that make up the mold and the function of each of them are described, as well as the advantages and disadvantages of using electromechanical system for the operation of this type of auxiliary molding tool in comparison if it were done with mechanical system.

Key words: Injection molds, Manufacturing, Mold design, Mold manufacturing, Mold validation, Electromechanical actuator, Lateral movement.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR	I
CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR	II
RESUMEN	III
ABSTRACT.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
GLOSARIO	VIII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.4 OBJETIVO	5
1.5 HIPÓTESIS	5
1.6 ESTADO DEL ARTE.....	6
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 MOLDEO POR INYECCIÓN.	9
2.1.1 Proceso.....	9
2.1.2 Ciclo de Moldeo.	10
2.2 CLASIFICACIÓN DE MOLDES.	11
2.2.1 Moldes Sólidos.....	13
2.2.2 Moldes Estructurados	14
2.2.3 Moldes de Tres Placas.....	14
2.3 SISTEMAS FUNCIONALES EN UN MOLDE DE INYECCIÓN	15
2.3.1 Zonas Moldantes.....	15
2.3.2 Sistemas de Centrado o Guías	15
2.3.3 Sistemas de Alimentación	17
2.3.4 Sistema de Escape de Gases	18
2.3.5 Control de Temperatura.....	18
2.3.6 Extracción	20
CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN	23
3.1 GEOMETRÍA DE PIEZA	23

3.2 MOLDE CON SISTEMA SECUNDARIO DE MOLDEO MECÁNICO	25
3.2.1 Diseño Molde Mecánico	25
3.2.2 Componentes Molde Mecánico	26
3.2.3 Funcionamiento de Sistema Mecánico para Liberación Negativo	29
3.3 MOLDE CON SISTEMA SECUNDARIO DE MOLDEO SERVOACTUADO	31
3.3.1 Diseño Molde Servo Actuado	31
3.3.2 Componentes Molde Servoactuado	32
3.3.3 Funcionamiento de Sistema Servoactuado para Liberación Negativo	34
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	37
CONCLUSIONES	46
APORTACIÓN DE LA TESIS	47
REFERENCIAS	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del Proceso de Inyección	9
Figura 2. Ciclo de Moldeo	10
Figura 3. Componentes Básicos Molde Inyección	12
Figura 4. Molde Sólido de una cavidad.....	13
Figura 5. Molde Estructurado de una Cavidad	14
Figura 6. Sistema de Centrado	16
Figura 7. Guías Básicas en Molde de Inyección	17
Figura 8. Representación Esquemática de Sistema de Control de Temperatura	19
Figura 9. Geometría Pieza Plástica	23
Figura 10. Análisis Ángulo de Salida.....	24
Figura 11. Línea de Partición.....	25
Figura 12. Molde Mecánico	26
Figura 13. Vista Sección Molde Mecánico, Molde Cerrado	28
Figura 14. Vista Sección Molde Mecánico, Molde Abierto	28
Figura 15. Sistema de Moldeo y Liberación Mecánico, Molde Cerrado.	29

Figura 16. Sistema de Moldeo y Liberación Mecánico, Molde Abierto.	30
Figura 17. Molde Servo Actuado.....	31
Figura 18. Vista Sección Molde Servo Actuado, Molde Cerrado.....	33
Figura 19. Vista Sección Molde Servo Actuado, Molde Abierto.....	34
Figura 20. Sistema de Moldeo con Actuador, Molde Cerrado	35
Figura 21. Sistema de Moldeo con Actuador, Molde Abierto	35
Figura 22. Parte Fija y Móvil de Molde Servo Actuado	42
Figura 23. Molde Servo Actuado, Molde Cerrado	43
Figura 24. Molde Servo Actuado, Molde Abierto.....	44
Figura 25 Tamaños de los Moldes	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes Básicos de un Molde	12
Tabla 2 Componentes Molde Mecánico	27
Tabla 3 Componentes Molde Servo Actuado.....	32
Tabla 4 Número Zonas de Ajuste en el Molde	40

GLOSARIO

En la siguiente sección se encuentran los términos y definiciones utilizados dentro de este documento, así como las abreviaturas que se utilizaron en el desarrollo de la investigación.

Actuador: Dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.

CAE: Computer Aided Engineering (CAE): Ingeniería Asistida por Computadora (IAC).

CAD: Computer-Aided Design (CAD): Diseño Asistido por Computadora (DAC).

CAM: Computer-Aided Manufacturing (CAM): Fabricación Asistida por Computadora (FAC).

Mecanismo: Conjunto de piezas o elementos que ajustados entre sí y empleando energía mecánica hacen un trabajo o cumplen una función.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El moldeo por inyección es un proceso para la manufactura de piezas plásticas (1), de geometría compleja con espesores de pared variable. Además, inyección de plásticos permite la fabricación de grandes cantidades de componentes en ciclos de tiempo relativamente cortos.

Un molde de inyección esencialmente está constituido de una parte fija y otra parte móvil o desplazable, entre ellas se encuentran las placas de choque que son las encargadas de generar la cámara de moldeo, en donde el material polimérico plastificado es vertido mediante el sistema de inyección para formar la pieza y así iniciar con el tiempo de enfriamiento y ser expulsada del molde, el sistema de expulsión extrae la pieza de la cavidad a la que se ha adherido, a través de un sistema mecánico que la libera (2). El principal parámetro que determina la complejidad de estos sistemas mecánicos es la presencia de contrasalidas o negativos en la pieza con respecto a la línea de partición.

Por lo mencionado anteriormente, la mayoría de los moldes no solo son un par de placas con cavidades, ya que la presencia de negativos en la pieza obliga incluir mecanismos adicionales para el moldeo y liberación de dichas partes.

Este tipo de mecanismos son nombrados como herramientas secundarias de moldeo, de las cuales podemos encontrar herramientas para moldeo de parte externas como sliders e insertos o herramientas para moldeo de partes internas como balancines y dispositivos desenroscado de cuerdas (3).

Las herramientas secundarias de moldeo son accionadas por elementos mecánicos que están coordinados con el movimiento del molde (apertura y cierre), entre los cuales podemos encontrar levas, pines en ángulo, piñones, engranes, tornillo sin fin, principalmente.

En este trabajo se presenta y analiza la manufactura de un molde de inyección de plástico con la integración de actuadores hidráulicos para el accionamiento de las herramientas secundarias de moldeo.

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Actuadores

Los actuadores son dispositivos con la capacidad de generar fuerza para accionar mecanismos, esta fuerza producida por el actuador puede provenir de distintas fuentes, ya sea mecánica, eléctrica, hidráulica o neumática.

La selección de algún tipo de actuador depende de la aplicación, es decir, del trabajo para el que es requerido. Los actuadores hidráulicos son utilizados para trabajos que requieran altas potencias, por el contrario, los actuadores neumáticos se utilizan cuando se requiere más velocidad que potencia, y finalmente los actuadores eléctricos son usados para trabajos de precisión, además estos últimos son los más fáciles de controlar.

Para que los actuadores puedan transmitir su potencia, estos deben ir aunados a elementos mecánicos como engranes, levas, piñones, y tornillos sin fin.

Desde la generalización del uso de la tecnología en los procesos de producción el uso de actuadores electromecánicos ha venido a ser común debido a la precisión que estos llegan alcanzar.

En 1948 R.C. Goertz del Argonne National Laboratory desarrolló el primer sistema de tele manipulación, este sistema estaba constituido principalmente por componentes puramente mecánicos como engranes y accionados mediante servomotores. El sistema consistía en un dispositivo mecánico maestro-esclavo, donde básicamente el manipulador esclavo reproducía fielmente los movimientos del maestro.

Años más tarde Goertz hizo uso de la tecnología electrónica y del servo control sustituyendo la transmisión mecánica por otra eléctrica y desarrollando así el primer sistema de tele manipulación con servo control bilateral.

En 1958 aparece el primer robot industrial llamado Unimate, fue creado por George Devol y Joseph Engelberger, Unimate era accionada por actuadores electromecánicos y mediante un sistema de control éste podía ser "enseñada" para la realización de tareas variadas de forma automática.

Hoy en día es común ver actuadores electromecánicos en prácticamente todas las ramas de la industria, además de robots podemos encontrar bandas transportadoras,

ventiladores, sierras, revolventoras, prensas, centro de mecanizado vertical, máquinas de inyección, máquinas de electroerosión, rectificadoras.

1.1.2 Moldes

La industria del plástico marca sus inicios en los años de 1839, cuando Charlesles Goodyear descubre la vulcanización de caucho.

Pero fue hasta 1878 cuando se comenzó a utilizar el concepto de molde, cuando J.W. Hyatt fabricó un instrumento utilizado como depósito del celuloide. El primer molde comerciar data con exactitud en el año de 1926 cuando Eckert y Ziegler patentaron lo que se considera como el primer molde de inyección, este era un molde horizontal el cual estaba incorporado en una máquina, en el cual el molde era guiado por aire a presión, con la mitad fija en una placa móvil.

Con la llegada del compresor de inyección automático en 1935, presentada por la firma Franz Braw A. G., el desarrollo de moldes mostró un avance tecnológico, con moldes más rápidos y eficientes. Pero fue hasta la década de los 70 cuando la fabricación de moldes acelera su crecimiento en países desarrollados. La llegada de máquinas de mecanizado convencional trajo la fabricación de moldes cada vez más exactos, para lograr la sustitución de gran variedad de piezas de otros materiales por piezas plásticas.

La incursión de máquinas de control numérico y sistemas CAD/CAM, los tiempos de diseño, manufactura y validación de moldes disminuyeron considerablemente, logrando una incursión rápida en varias ramas de la industria.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El uso de herramientas secundarias de moldeo es común en el desarrollo de moldes de inyección, cuando en la pieza existen zonas que no tienen la misma dirección que el ángulo de desmoldeo, es decir, cuando en la pieza a moldear participan partes negativas.

Accionar estas herramientas mediante elementos puramente mecánicos limitan el diseño del molde, ya que el espacio que ocupan internamente complica colocar partes indispensables como el sistema de refrigeración, botadores, correderas, soportes.

Las herramientas mecánicas necesitan ajuste preciso debido a que el movimiento de estos tiene que estar en sincronía con la apertura y cierre del molde, un error en estos puede ocasionar colisiones que dañen partes del mismo, como las cavidades o corazones.

El uso de actuadores para el accionamiento de herramientas secundarias de moldeo exhibe múltiples beneficios potenciales como:

- Reducción en el tiempo de ajuste en comparación a accionamientos mecánicos, pues un ajuste mecánico conlleva hasta 60% más tiempo que lo que llevaría calibrar un actuador.
- Reducción en el tamaño del molde, al simplificar el sistema.
- Moldes con construcciones más robustas por la presencia de sistemas simplificados.
- Reducción en los tiempos de mantenimiento.
- Moldeo de piezas con geometrías más complejas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El reciente dinamismo en el consumo de productos, así como las exigencias de los consumidores ha generado una amplia diversificación de productos plásticos y una reducción en el tiempo de vida de los productos, por lo tanto, el tiempo disponible para la respuesta de los medios de producción ha disminuido, consecuentemente el tiempo para el desarrollo y manufactura de los moldes de inyección es menor.

El proceso de fabricación de los componentes de moldes de inyección de plásticos es complejo y puede estar sujeto a cambios constantes durante su fabricación y/o validación, tradicionalmente la manufactura se basa en la experiencia y habilidades técnicas de un experto.

A pesar de la importancia en el mercado mundial de la manufactura de moldes, la falta de información de moldes de inyección de plásticos disponible, en conjunto con el secreto industrial ha creado la necesidad imperante de disponer de nuevas tecnologías que mejoren el desempeño de los moldes, faciliten su manufactura y reduzca los tiempos de fabricación.

Así el presente trabajo permitirá distinguir con claridad las potencialidades de integrar actuadores para el accionamiento de sistema secundarios de moldeo y liberación en un molde de inyección, tales como:

- Reducción en el tiempo de ajuste y manufactura
- Reducción en los tiempos de mantenimientos
- Moldeo de piezas con geometrías complejas
- Reducción en el tamaño del molde

1.4 OBJETIVO

Diseñar, fabricar, ensamblar y validar un molde de inyección de plástico sustituyendo elementos mecánicos simples por actuadores electromecánicos.

1.4.1 Objetivo Específico

- Automatizar los accionamientos de las herramientas de moldeo secundarias mediante el uso de sistemas electromecánicos en moldes de inyección de plásticos.
- Establecer los criterios para la selección de los actuadores para reemplazo de sistemas mecánicos en molde de inyección.
- Ensamblar y validar el funcionamiento de un molde de inyección de plásticos accionado con actuadores.
- Realizar un análisis comparativo del sistema mecánico convencional contra el sistema propuesto.

1.5 HIPÓTESIS

La integración de actuadores para el accionamiento de herramientas secundarias de moldeo permitirá tener control del avance de dichos elementos, además de simplificar el diseño del molde, además de eliminar las limitaciones y posibles colisiones de los elementos mecánicos que actualmente empleados.

El uso de actuadores reduciría hasta en 60% del tiempo que se llevan actualmente ajustar los elementos mecánicos

1.6 ESTADO DEL ARTE

El diseño y fabricación de moldes de inyección de plásticos para producto de alta precisión es un mercado de alto valor agregado, que requiere conocimientos técnicos altamente especializados. A pesar, del potencial económico de este sector la generación de conocimiento aplicado ha sido limitado, así como las publicaciones asociadas.

Guo-Wei Chang & Jun-Min Yang (4) proponen un método para el desmoldeo de cuerdas internas mediante un sistema de actuadores compuesto por un motor a pasos y un servomotor. Utilizaron un conjunto de elementos mecánicos para la transmisión del movimiento y un controlador (PLC), para sincronizar el movimiento de dichos actuadores.

Resaltan que para que el desmoldeo ocurra es necesario que exista un movimiento radial y un movimiento axial.

En su estudio los autores utilizaron una pieza con cuerda en su parte interna, y para su moldeo utilizaron un corazón el cual contenía la forma de la cuerda. Integraron a dicho molde un motor a pasos encargado de hacer girar el corazón y generar el movimiento radial y un servomotor encargado de mover la placa de botado y así generar el movimiento axial.

Concluyen que para liberar la pieza es necesario que ambos actuadores se muevan de manera sincronizada, de lo contrario los elementos mecánicos (engranes, cadenas, piñones) encargadas de transmitir el movimiento pueden llegar a sufrir daños. Para alcanzar dicha sincronía se implementó un controlador (PLC) el cual mediante señales eléctricas pudo controlar el movimiento de dichos actuadores.

Yongjun Bai, Feng Gao & Weizhong Guo (5) presentan una manera de crear una prensa de gran capacidad utilizando servomotores, proponen combinar una unidad de accionamiento con un mecanismo denominado PMKR para generar el movimiento lineal y la presión requerida de dicha prensa.

La unidad de accionamiento se compone por dos tornillos de bolas las cuales son accionados mediante dos servomotores, este elemento funciona como actuador lineal siendo el responsable de generar el movimiento de la prensa.

Para generar una fuerza motriz lo suficientemente grande los autores resaltan el uso de un mecanismo PMKR el cual además de ayudar al sistema a tener un buen rendimiento cinemático permite un posicionamiento preciso. Como resultado presentan 3 modelos de servo prensas con distintos números de servomotores y por consiguiente con diferentes capacidades de cargas.

Xiaoyou Zhang, Tomohiro Ishizuka & Kouki Uchiyama (6) presentan una manera para controlar el movimiento de un electrodo en una máquina de electroerosión por penetración (1) (SEDM) a través de un actuador de alta velocidad para trabajos de alta precisión.

Los autores demuestran que para un trabajo de alta precisión se consiga es necesario tener una descarga eléctrica estable, por lo que es importante controlar los parámetros de reposicionamiento (distancia y tiempo), después de la retracción producida para liberar los residuos. Plantean que el uso de un actuador controlado ayuda a cumplir dicha tarea, por lo que su investigación se centra en el diseño y validación de un actuador local de 3 grados de libertad.

Como resultado presentan un actuador de accionamiento magnético capaz de controlar el movimiento de un electrodo en dirección frontal al plano de trabajo el cual tiene la capacidad de generar vibración para remover residuos, y así realizar trabajos de electroerosión por penetración de alta velocidad y precisión.

X. Mercado-Colmenero **(2)** ha desarrollado una metodología para el diseño automático de la distribución y dimensionamiento de botadores para un molde de inyección de plástico según la geometría de la pieza. Este algoritmo consta de dos fases; en la primera se realiza un reconocimiento geométrico de la superficie de la pieza de plástico para ubicar los puntos de expulsión cerca de áreas rígidas de la pieza a fin de evitar zonas de deformación. Mientras que la segunda, realiza el dimensionamiento del botador implementando algoritmos de optimización, y de esta forma garantizar que el sistema de fuerzas en los botadores esté equilibrado. Las soluciones obtenidas por el sistema están dimensionadas en tres condiciones: un balance de fuerzas apropiado, una fuerza de expulsión total ejercida por los botadores mayor a la fuerza necesaria para garantizar la expulsión, y una tensión de expulsión máxima que no excede el límite de compresión del material a la temperatura de expulsión. El método propuesto además de ayudar a

los diseñadores al diseño sistemático del sistema de botado, minimiza la deformación y deterioro de la pieza de plástico.

Jian-Ming H. (7) en su análisis sobre el diseño de un molde de inyección de plástico para un componente con nueve estructuras con áreas negativas y que no permite marcas de expulsión, flujo o líneas de partición, propone el diseño de subsistemas de moldeo con pernos angulares y doble botado para el moldeo y correcta expulsión de la pieza. El mecanismo convencional está constituido por un perno angular, eje de rotación del perno angular y soporte del eje de rotación del perno angular, así como los componentes para asegurar y proteger el desplazamiento guiado del sistema de moldeo durante la abertura y cierre del molde. El caso de estudio, también analiza el sistema de expulsión del componente y proponen un sistema de extracción en dos etapas para asegurar la estética e integridad de la pieza, la cual es trasladada por un robot al final del ciclo de inyección.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 MOLDEO POR INYECCIÓN

2.1.1 Proceso

El moldeo por inyección es uno de los principales procesos de transformación de materiales de base polimérica. Este proceso consiste en fundir el polímero y hacerlo fluir bajo presión y temperatura en un molde, en el cual la pieza solidifica y duplica su forma (8). Además, tiene una enorme importancia en los grandes mercados de la industria farmacéutica, electrónica y automotriz, debido a la capacidad que tiene este proceso para reproducir en masa el producto diseñado conservando su geometría y precisión dimensional.

El proceso por inyección está conformado principalmente por 3 etapas, que se resumen a continuación.

- 1. Plastificación del material:** El calentamiento del material termoplástico hasta obtener una viscosidad suficientemente para el flujo del material.
- 2. Inyección a Presión:** La parte encargada del llenado de las cavidades que formaran la pieza.
- 3. Enfriamiento:** Necesario para que el material termoplástico recupere su rigidez.

El siguiente diagrama de flujo muestra de manera gráfica el proceso descrito anteriormente.



Figura 1. Etapas del Proceso de Inyección

2.1.2 Ciclo de Moldeo

El moldeo por inyección es un proceso cíclico compuesto por un conjunto de operaciones necesarias para la producción del producto deseado. Las fases del ciclo de moldeo son independientes del tipo de máquina y es necesaria la optimización de este para asegurar la competitividad económica del proceso, dado a la inversión capital requerida para este tipo de equipamiento que va desde inyectora hasta el molde y sus accesorios auxiliares.

Las fases del ciclo de moldeo se enumeran en el siguiente diagrama.

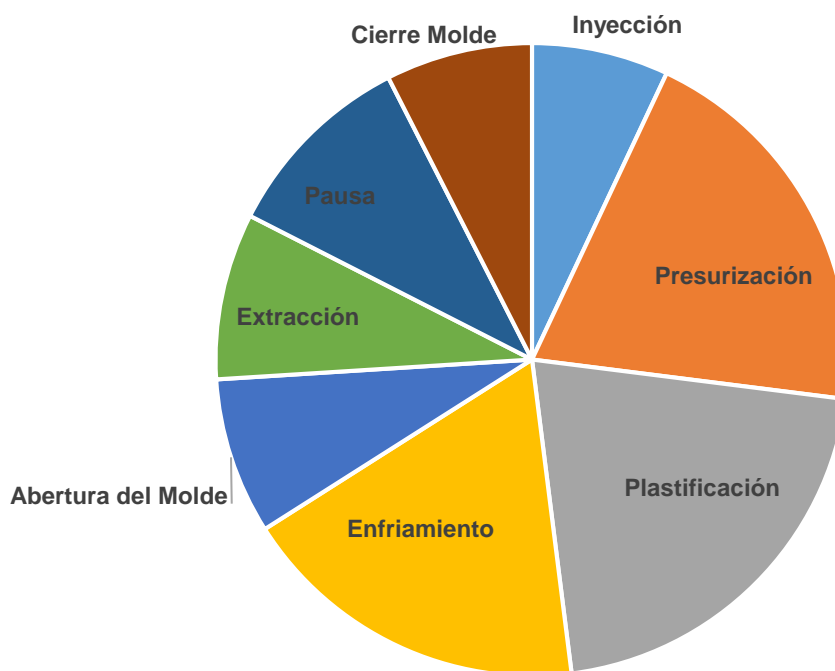


Figura 2. Ciclo de Moldeo

Cierre Molde: Esta operación corresponde al inicio del ciclo y debe ser tan rápida como sea posible, por otro lado, el tiempo para esta operación depende del tipo de máquina, de las características del molde y la distancia a recorrer.

Inyección: La fase de inyección es garantizada por el avance lineal del husillo, que fuerza al plástico fundido a entrar al molde y fluir al interior de las cavidades.

Presurización o presión sostenimiento: Después del llenado de las cavidades es necesario seguir presionando el material inyectado para evitar el efecto de contracción por enfriamiento, además se evita el regreso del material.

Plastificación y Tiempo de enfriamiento: Luego que termina la presión de sostenimiento el husillo puede retroceder para volver a cargar material y plastificarlo para la siguiente inyección, durante este proceso el enfriamiento de la pieza continua dentro del molde.

Apertura del molde y extracción: El tiempo para esta operación esta en función de la máquina utilizada, de la distancia de apertura del molde y de los movimientos del sistema de extracción.

Pausa: Es el periodo de tiempo que transcurre entre el fin de la extracción y el inicio del nuevo ciclo, por su naturaleza el tiempo muerto depende de la aptitud del operador y el nivel de automatización del molde.

2.2 CLASIFICACIÓN DE MOLDES

Un molde deberá producir piezas de calidad en un tiempo ciclo lo más corto posible, con mantenimiento mínimo durante su tiempo de servicio. Además, debe asegurar una buena reproducibilidad dimensional en cada ciclo, facilitar el enfriamiento del polímero y la extracción de las piezas.

La estructura de un molde está conformada por un conjunto de placas y paralelas (también llamadas calzas), cuyo número depende del tipo de molde.

La gran variedad de materiales y de métodos de moldeo existentes ha exigido preciso el desarrollo de muchos tipos de moldes para poder aprovechar al máximo las posibilidades de los diferentes materiales (9).

Sánchez Ledesma A. (10), clasifica los moldes de acuerdo al tipo del proceso para el que es utilizado, estos son:

- Moldes de inyección.
- Moldes de compresión y transferencia.
- Moldes de soplo.

- Moldes para RIM. (Moldeo por inyección de reacción).
- Moldes para rotomoldeo.

El autor además hace mención de una clasificación de acuerdo al tipo de inyección y al tipo de extracción y/o liberación.

La siguiente ilustración presenta la estructura típica de un molde de inyección de plástico de dos placas, que corresponde a la forma básica de un molde y en la tabla 1 se describe el nombre para cada una de las placas que lo componen.

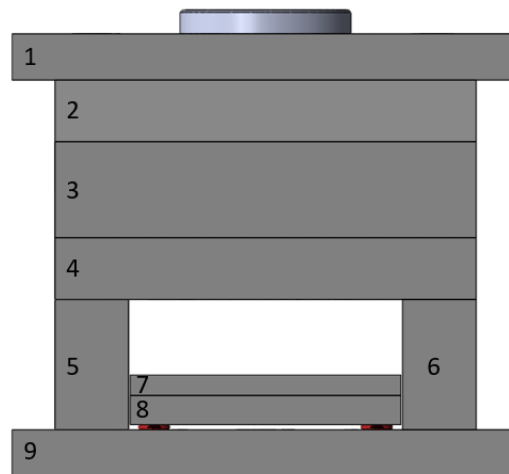


Figura 3. Componentes Básicos Molde Inyección

Tabla 1 Componentes Básicos de un Molde

Numero de Pieza	Descripción de Pieza
1	Placa de sujeción parte fija
2	Placa Porta Cavidad
3	Placa Porta Corazón
4	Placa de Refuerzo
5	Calza
6	Calza
7	Placa de Extracción
8	Placa de apriete de botadores
9	Placa de sujeción parte Móvil

A pesar que existe una tipología definida para una pequeña parte de diferentes tipos de moldes de inyección de plásticos, se considera que esta es inadecuada e insuficiente.

Con base a este fundamento se enumera a continuación la clasificación para algunos moldes de inyección de plástico, tomando en cuenta que son la forma básica para cada sistema de moldeo que existe en la actualidad.

2.2.1 Moldes Sólidos

Los moldes sólidos son aquellos donde la zona moldante es maquinada directamente sobre las placas de choque; de estos se pueden encontrar los moldes sólidos de una cavidad y los moldes sólidos de múltiples cavidades.

Para los moldes sólidos de una cavidad es común encontrar que estos sean inyectados con un solo punto de inyección y en la mayoría de las ocasiones es el bebedero el responsable de realizar esa función.

Por su parte los moldes sólidos de múltiples cavidades permiten el moldeo de varias piezas, la diferencia con los moldes de una sola cavidad es la necesidad de tener canales de alimentación para distribuir el material de manera homogénea, estos canales de alimentación deben estar, junto con el punto de inyección, en el plano de partición siendo necesario un botador adicional para la expulsión de la colada.

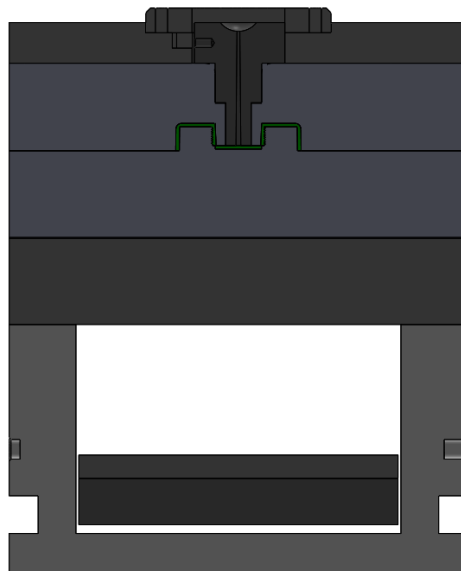


Figura 4. Molde Sólido de una cavidad

2.2.2 Moldes Estructurados

En un molde estructurado la zona moldante es acoplada al molde mediante insertos, esto es, el mecanizado de la zona moldante no se hace directamente sobre las placas de choque, si no que en estas se hacen un par cajas para colocar insertos que contendrá la cavidad y corazón.

Este tipo de moldes al igual que los moldes sólidos pueden ser de inyección directa en el caso del moldeo de una sola pieza o bien mediante canales de alimentación para el moldeo de varias piezas.

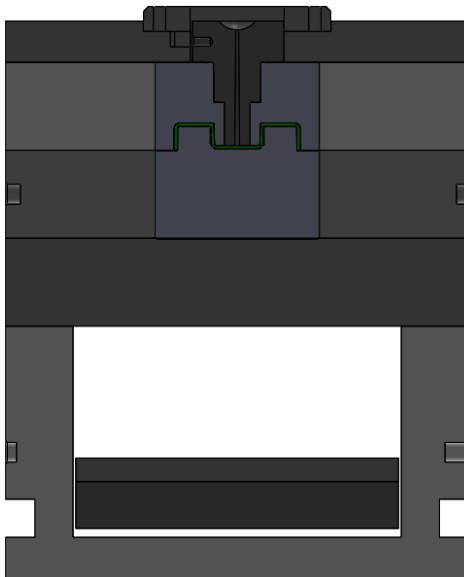


Figura 5. Molde Estructurado de una Cavidad

2.2.3 Moldes de Tres Placas

Este tipo de moldes son utilizados normalmente cuando el sistema de alimentación no puede ser posicionado en el mismo plano del punto de inyección y cuando se requieren moldear múltiples piezas.

El sistema de alimentación se sitúa en un segundo plano de partición paralelo al plano principal de partición. Este segundo plano de partición permita la extracción del sistema de alimentación cuando el molde se abre.

2.3 SISTEMAS FUNCIONALES EN UN MOLDE DE INYECCIÓN

Los sistemas funcionales de un molde de inyección son:

1. Zonas Moldantes
2. Sistema de Centrado o Guías
3. Alimentación
4. Venteos o Salidas de Aire
5. Control de Temperatura
6. Extracción

2.3.1 Zonas Moldantes

La zona moldante también llamada cámara de moldeo, está compuesta de dos partes, la primera de ellas es denominada cavidad y la segunda como corazón.

Cavidad

Es un elemento del molde que envuelve la pieza plástica del lado fijo, normalmente en esta parte se encuentra el sistema de inyección.

Corazón

Es un elemento del molde que complementa la forma de la pieza plástica y se encuentra en el lado opuesto a la cavidad. Esta parte se encuentra en el lado móvil del molde, en este lado también se encuentra el sistema de extracción.

2.3.2 Sistemas de Centrado o Guías

Es fundamental tener un perfecto centrado del molde para así asegurar alta fiabilidad en cuanto a funcionamiento cuando está montado en la máquina de inyección.

El montaje de las 2 mitades del molde en las platinas no garantiza por si solas que el molde este centrado, además, el molde es una herramienta que tiene que estar abriendo y cerrando durante el ciclo de moldeo, por eso es necesario recurrir a sistemas que aseguren un centramiento rápido y preciso.

Este centramiento tiene que presentarse tanto en las dos mitades del molde como entre el molde y la máquina de inyección.

Para resolver este problema los moldes son equipados con sistemas tales como anillos centradores (para el centrado del molde con la inyectora) y/o postes /bujes (para el centrado entre las dos mitades).

En la imagen abajo mostrada, se presentan estos tipos de sistemas.

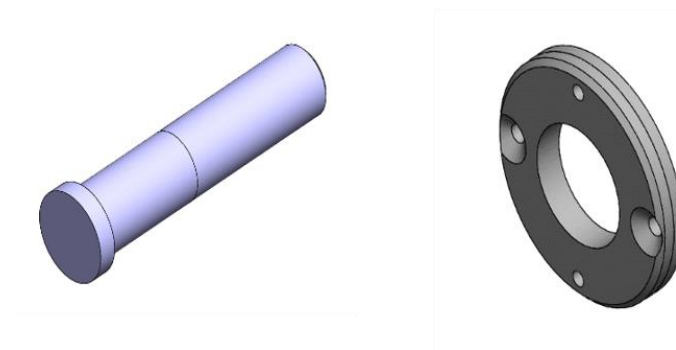


Figura 6. Sistema de Centrado
a) Perno Guía; b) Anillo Centrador

Anillo Centrador: Normalmente el anillo centrador se encuentra fija dentro de una caja ubicada en la cara posterior de la placa de sujeción fija.

Perno Guía: Existen varios tipos de guías, pero independientemente de su configuración su función es guiar las dos mitades del molde.

En un molde normalmente se montan 4 guías principales con sus correspondientes bujes, además para facilitar el ensamble y garantizar que las partes estén colocadas en la posición correcta uno de los bujes es colocado en una posición distinta o bien uno de los bujes es de un diámetro distinto.

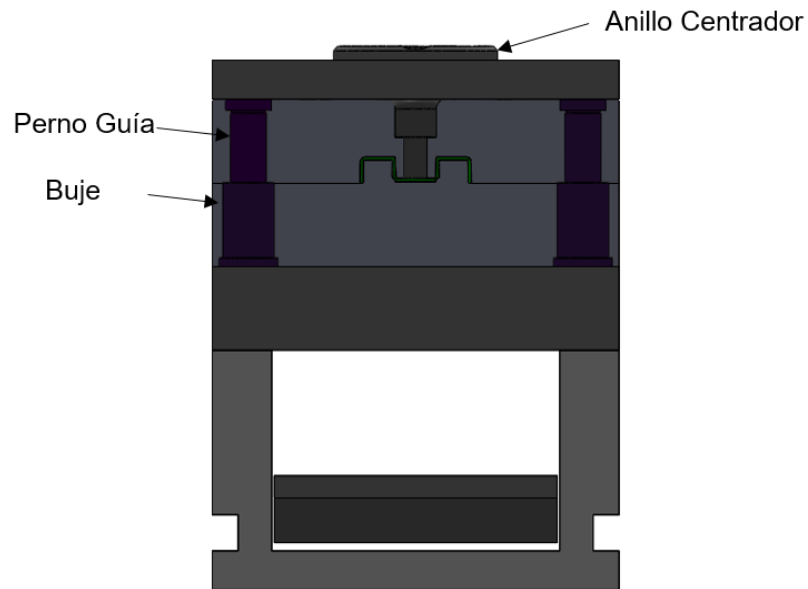


Figura 7. Guías Básicas en Molde de Inyección

2.3.3 Sistemas de Alimentación

El sistema de alimentación en un molde de inyección de plástico se encarga de trasladar el polímero fundido de la unidad de inyección a la cámara de moldeo.

De los cuales existen dos tipos; los sistemas de alimentación de canal frío y los sistemas de alimentación de canal caliente.

El propósito de un sistema de canal frío es conseguir que el material penetre a todas las cavidades simultáneamente, unir las cavidades del molde con el cono de la entrada y mantener un núcleo plástico hasta que la pieza esté totalmente solidificada (11), está constituido por una serie de canales que generalmente están maquinados en una o más placas del molde, por otra parte, un sistema de canal caliente está constituido por canales controlados térmicamente con el fin de evitar la solidificación prematura del material manteniéndolo en un estado óptimo desde la boquilla de la inyectora hasta la cámara de moldeo.

2.3.4 Sistema de Escape de Gases

Durante el llenado del molde es importante que en la cavidad existan salidas de gases de forma que permitan la liberación de los gases que son desplazados cuando la masa fundida entra a la cámara de moldeo.

Estas salidas deberán estar localizadas en dirección del flujo del material para garantizar un correcto desplazamiento hacia el exterior. Es importante señalar que una salida ineficiente o mal localizada puede resultar en un mal llenado de la pieza, líneas de soldadura o contracciones irregulares.

Haritz Arribillaga (12) menciona que si el molde no cuenta con este tipo de sistemas se produciría un aumento de la presión de inyección que repercutiría en la calidad final de las piezas, o en el peor de los casos podría llegar a ocurrir la combustión del oxígeno carbonizando las piezas y dañando el molde.

En la mayoría de los casos los gases pueden escapar por la línea de partición, sin embargo, debido a la precisión del ajuste en esta parte del molde el escape puede llegar a ser ineficiente, por lo que es necesario mecanizar unos pequeños rasgos para facilitar su salida.

Estos rasgos deben ser colocados a lo largo de toda la pieza, siendo particularmente importante las zonas donde el material llega al último. Su localización, para piezas más complejas puede ser complicada, para estas situaciones se recomienda el uso de un software que simule el llenado de la pieza.

2.3.5 Control de Temperatura

El principio fundamental del moldeo por inyección consiste en forzar un material previamente calentado a entrar a presión en el molde, donde este se enfría hasta una temperatura que permita una rigidez suficiente para que pueda ser extraído.

Idealmente el molde deberá tener la misma temperatura del plástico fundido, pero esto ocasionaría tiempos ciclos extremadamente largos (piezas más caras) debido al tiempo requerido para llevar la pieza a una temperatura adecuada para su extracción, por otra parte un molde con baja temperatura aceleraría el proceso de enfriamiento del

polímero fundido ocasionando que el plástico no llegue a los puntos más alejados de la cámara de moldeo, obteniendo piezas incompletas y con mal aspecto superficial.

Los requisitos específicos de enfriamiento pueden obtenerse a través de los valores derivados de la curva de capacidad calorífica del enfriamiento de cada resma. Una curva de la capacidad calorífica del enfriamiento permite calcular la energía total que debe ser eliminada antes de la expulsión de la pieza (13).

Beltrán Rico, M. & Marcilla Gomis, A. (14) en su trabajo analizan las etapas por la que pasa el material desde que se introduce en la máquina hasta que se obtiene la pieza moldeada, estudia con detalle el proceso de enfriamiento del material dentro de la cavidad de moldeo. El autor llega a la conclusión que la temperatura del molde juega un papel muy importante en el proceso de inyección.

Para facilitar, acelerar y controlar el proceso de transferencia de calor son maquinados cerca de las zonas moldantes agujeros para pasar a través de ellos un fluido refrigerante.

Estos agujeros también son conocidos por líneas de agua, debido a que el agua es el fluido de refrigeración más frecuente utilizado para controlar la temperatura de un molde.

El sistema de control de temperatura debe ser mecanizado tanto en la zona de la cavidad como en la zona del corazón, de forma de controlar la temperatura de las dos mitades del molde, tal como se muestra en la Figura 6.

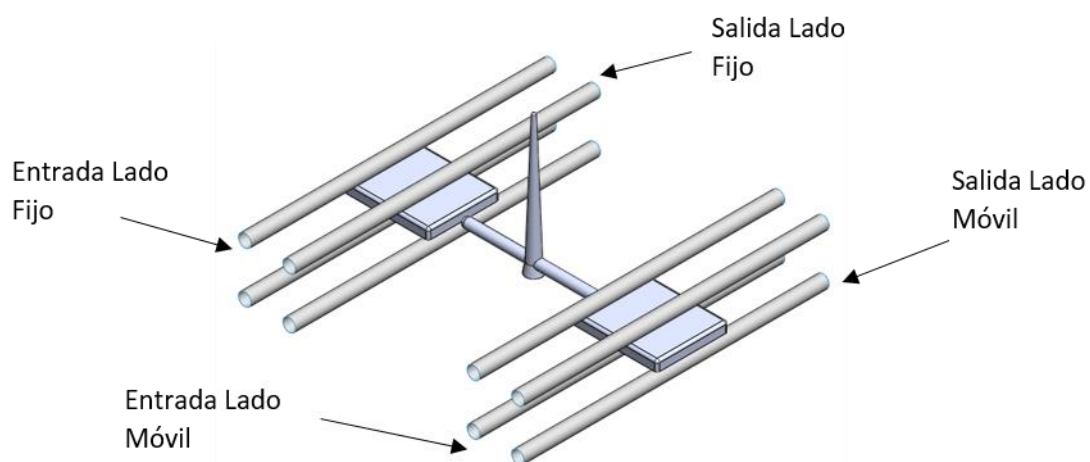


Figura 8. Representación Esquemática de Sistema de Control de Temperatura

2.3.6 Extracción

Como se mencionó en el capítulo 2.1.2 esta etapa se ubica entre la apertura del molde y el cierre del mismo, idealmente la pieza tendría que liberarse al abrir el molde, pero debido a la contracción del plástico y a contrasalidas existentes la pieza tiende a quedarse en el molde, generalmente en el lado del corazón por lo que es necesario un sistema de extracción para su expulsión.

De acuerdo con Sánchez Ledesma A. (10) un sistema de extracción tiene que tener las siguientes cualidades:

- No debe ser brusco.
- Ha de ser de funcionamiento seguro, por lo que los dispositivos de resorte no son recomendados.
- Resistentes al desgaste.
- Sencillos y económicos.
- Tener buen rendimiento.
- Dejar el mínimo de marcas en las piezas moldeadas.

Un sistema de extracción típicamente está compuesto por los siguientes elementos:

1. **Placas de Extracción.** Son las encargadas posicionar los botadores y transmitir el movimiento generado ya sea por la máquina de inyección o por un sistema hidráulico o neumático.
2. **Recuperadores o pernos de retorno.** Estos pernos sirven para asegurar el regreso de las placas de extracción, evitando que los botadores estén fuera de posición cuando inicie el ciclo de inyección.
3. **Botadores.** Empujan directamente a la pieza ocasionando su liberación y expulsión, estos deben actuar en zonas donde el material haya solidificado lo suficiente y donde las marcas ocasionadas por las fuerzas provocadas no perjudiquen la estética del producto.

Sin embargo, existen piezas con contra salidas (partes negativas) donde no es posible hacer el desmoldeo por procesos tan simples (una sola dirección), siendo necesario tener dos o más direcciones de extracción.

Este trabajo se centra en estos tipos de sistema de expulsión donde es necesario el uso herramientas secundarias de moldeo para lograr la liberación y expulsión del producto.

2.3.6.1 Sistemas para Extracción de Piezas con Negativos.

Hans Gastrow (15) resalta que el desmoldeo de piezas con contrasalidas requieren generalmente medidas técnicas constructivas en el molde, el autor propone distintos tipos de dispositivos para la liberación de contrasalidas internas y externas.

Sistema de Extracción por Patines

El uso de extractores por patines permite el moldeo de pequeñas contra salidas (partes negativas) externas o internas de la pieza. Este tipo de extractores es montado como un botador normal en las placas extractoras (7,8). Cuando estas avanzan los extractores se deforman debido a su elasticidad, liberando la contra salida de la pieza.

Sistema de Extracción por Balancines

Este tipo de extractores permiten la expulsión de piezas con contra salidas negativas sin necesidad de utilizar un movimiento lateral (también llamado contra moldes móviles).

Generalmente este sistema está constituido por los siguientes componentes:

1. Balancín
2. Perno Extractor
3. Eje
4. Buje de Deslizamiento

El avance del sistema de extracción hace desplazar el perno de extractor del balancín en un movimiento inclinado en relación al movimiento de apertura y cierre, permitiendo la liberación de las zonas negativas de la pieza.

Cuando el molde cierra la placa porta cavidad (placa 2) entra en contacto con el recuperador (también llamado perno de retorno), haciendo retroceder todo el sistema de extracción.

Sistema de Extracción por Movimientos Rotativos

El desmoldeo con movimientos rotativos es normalmente utilizado para liberación de roscas internas. Para el caso de roscas externas los movimientos rotativos solo se deben usar si se pretende que en ellas no existan marcas, ya que es más fácil realizar el desmoldeo mediante movimientos laterales.

La rotación en este tipo de sistema puede ser accionado aprovechando el movimiento de abertura del molde en conjunto con elementos mecánicos como piñones y cremalleras. Sin embargo, en caso de utilizarlo para liberación de roscas hay que tener en cuenta que este movimiento no basta para expulsar la pieza, es necesario un movimiento de translación que este en sincronía con el movimiento de rotación.

Sistema de Extracción por Movimientos Laterales

Este tipo de movimiento es necesario para producir piezas con contra salida o partes negativas laterales (parte exterior de la pieza), es decir, que por su geometría obligan a tener dos o más direcciones de extracción.

Los movimientos laterales pueden ser accionados de varias formas, por pernos guías, cuñas de compresión (para pequeños movimientos) y/o sistemas hidráulicos o neumáticos.

Siendo el perno guía la forma de accionamiento mecánico más común, el cual aprovecha el movimiento de apertura del molde para hacer que el elemento móvil sea accionado.

El presente proyecto se enfoca específicamente en este tipo de sistema de expulsión de negativos, haciendo que la activación se realice por medio de actuador hidráulico reduciendo los elementos mecánicos que intervienen en dicho proceso, facilitando el montaje y ajuste del molde.

CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación establecida se resume a continuación.

1. Selección Geométrica de la pieza a Moldear
2. Identificación de Negativos (CAE)
3. Diseño Molde Mecánico
4. Diseño Molde Servo Actuado
5. Comparación entre diseños de los moldes
6. Análisis de Resultados

3.1 GEOMETRÍA DE PIEZA

El componente para el análisis de este trabajo tiene dimensiones generales de diámetro exterior máximo 200 mm, altura 136 mm, espesor de pared máximo 19.5 mm, espesor de pared mínimo 3 mm, Figura 7.

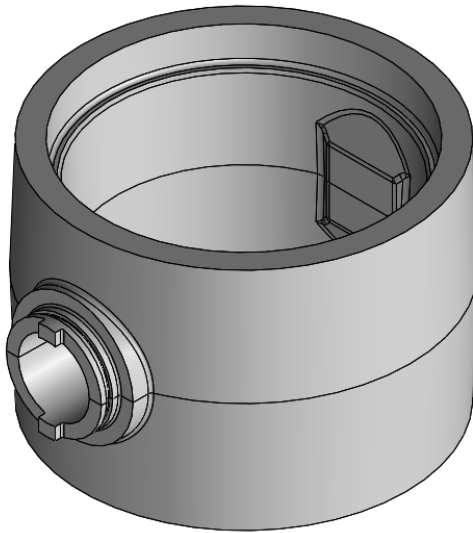


Figura 9. Geometría Pieza Plástica

La geometría de la pieza anterior (Figura 9) presenta atrapés en su cara frontal, el análisis CAE de ángulos de desmoldeo muestra en color rojo la zona crítica de extracción de acuerdo a la dirección de abertura y cierre del molde (Figura 8)

Configuración de Color	
Ángulo de Salida Positivo	Verde
Ángulo de Salida Necesario	Amarillo
Ángulo de Salida Negativo	Rojo

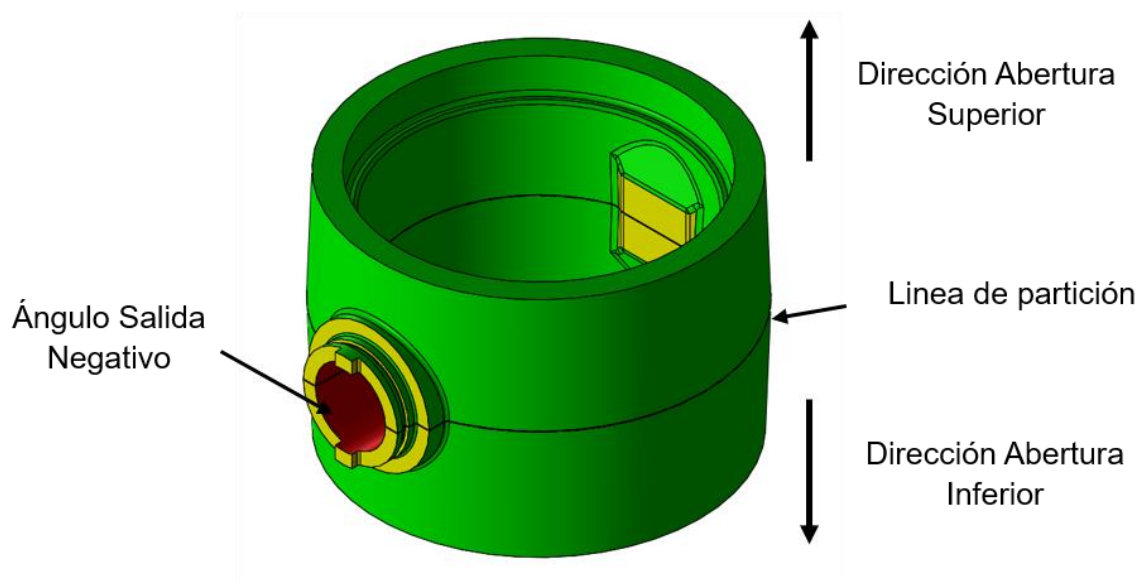


Figura 10. Análisis Ángulo de Salida

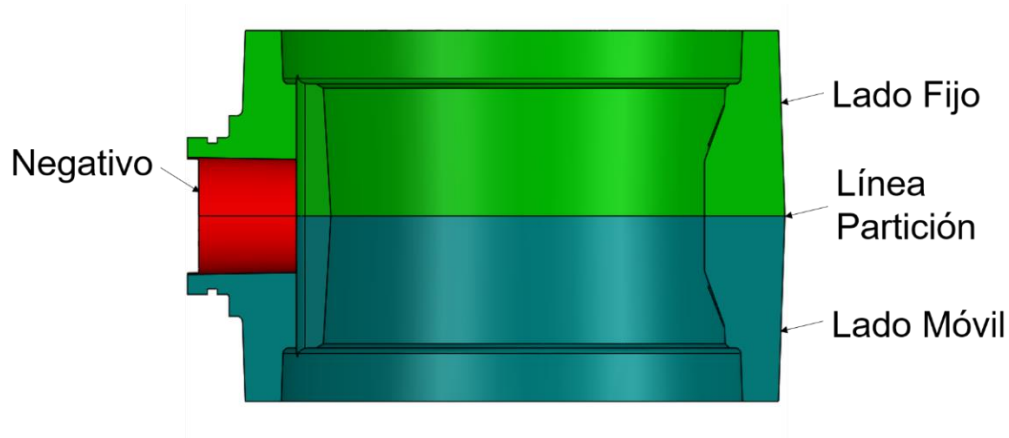


Figura 11. Línea de Partición

En la Figura 11, línea de partición en la pieza; el molde libera el componente al separar el lado móvil del lado fijo, este accionamiento del molde genera un negativo en la superficie indicada en color rojo, consecuentemente es necesario integrar una herramienta secundaria para el moldeo y liberación del componente en la zona del negativo.

3.2 MOLDE CON SISTEMA SECUNDARIO DE MOLDEO MECÁNICO

3.2.1 Diseño Molde Mecánico

Es importante mencionar que el tipo de material y estructura del molde es elegido de acuerdo a la tarea que este tiene que desempeñar, es decir, un molde de alta productividad tendrá diferentes materiales que un molde prototipo.

En el presente trabajo se ha propuesto un molde sólido de dos placas con gate de inyección tipo membrana, moldeo y liberación de contrasalda mediante un movimiento lateral mecánico y expulsión a través de ocho pernos de botado.

Las dimensiones generales de dicho molde es de 396 mm x 596 mm x 407 mm. Figura 10.

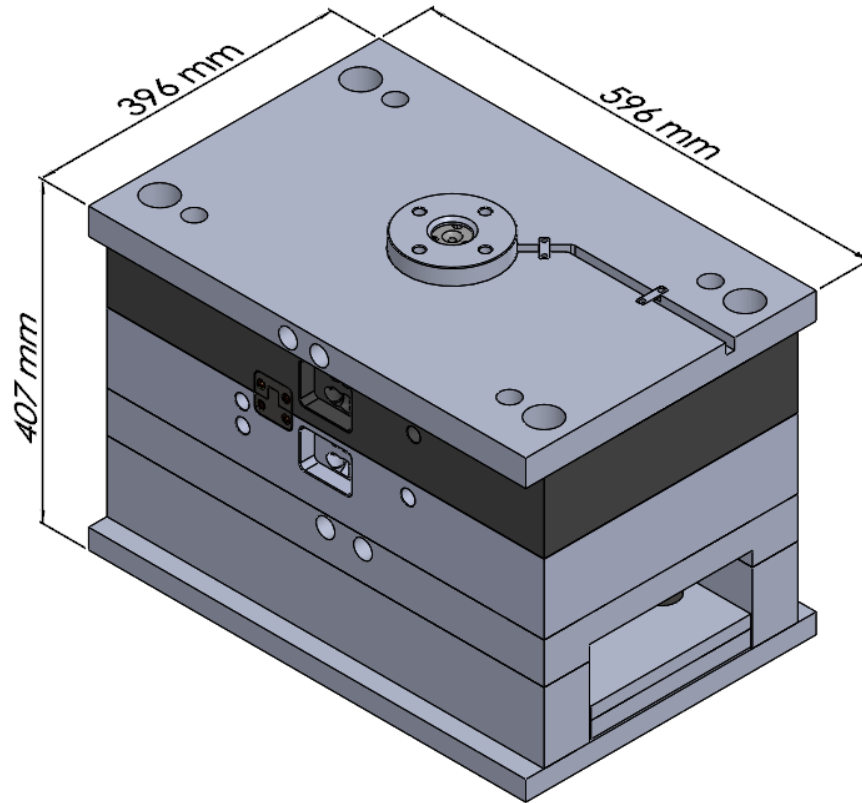


Figura 12. Molde Mecánico

3.2.2 Componentes Molde Mecánico

Se comienza por separar por grupos cada una de las partes del molde con la finalidad de explicar que componentes son los que integran el sistema de liberación de negativos.

Tabla 2 Componentes Molde Mecánico

Estructura	Placa de Sujeción parte Fija (1)
	Placa Choque Fijo (2)
	Placa Choque Móvil (3)
	Placa de Refuerzo (4)
	Paralelas (5)
	Placas de Extracción (7)
	Placa de Sujeción parte Móvil (6)
	Inserto Superior (13)
	Inserto Inferior (14)
Liberación de Negativo	Carro (14)
	Perno Guía (13)
	Cuña (Bloqueo) (12)
	Guía Lineal (15)
	Corredera (16)
Accesorios	Botadores (8)
	Soportes (A-2)
	Tornillería (A-3)
	Guías (A-4)
	Conexiones Sistema Refrigeración
	Anillo Centrador (A-1)
	Punta Caliente o Gate (11)

En las Figuras 13 y 14 se presenta de manera general los componentes indicados en la tabla 2.

El molde funciona de la siguiente manera: El material termoplástico es inyectado a las cavidades a través del gate (11), una vez solidificado la parte móvil (L2) es separada de la parte fija (L3), accionando sistema de liberación de negativo (L1), la pieza (9) retenida

en la cavidad móvil del molde es expulsada por los botadores (8) mediante las placas de extracción (7).

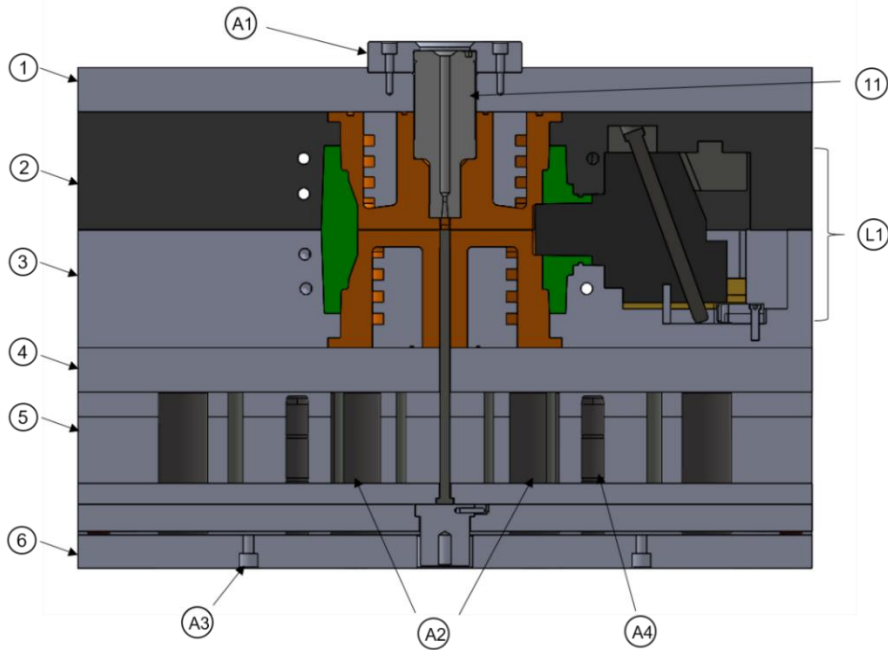


Figura 13. Vista Sección Molde Mecánico, Molde Cerrado

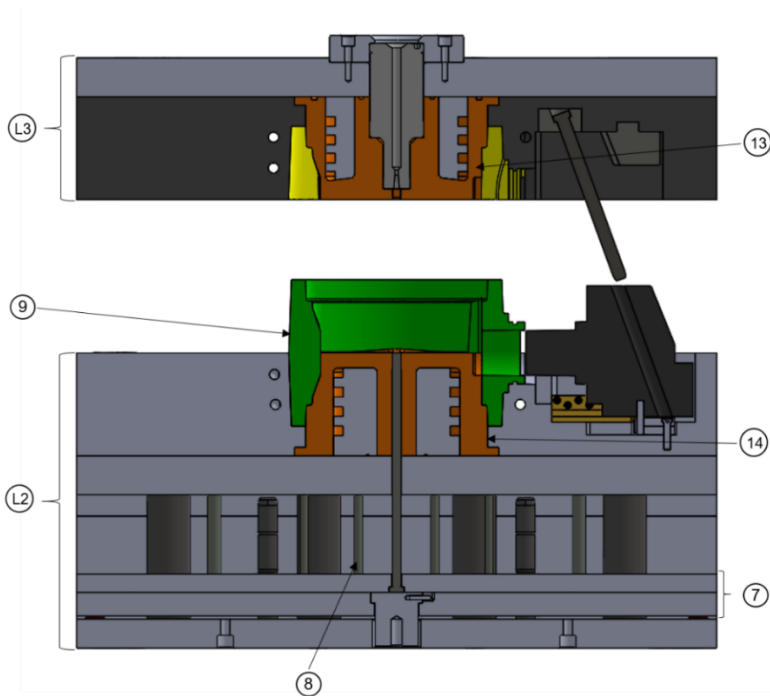


Figura 14. Vista Sección Molde Mecánico, Molde Abierto

3.2.3 Funcionamiento de Sistema Mecánico para Liberación Negativo

De acuerdo a la tabla 2 el sistema de moldeo y liberación del negativo está compuesto por un inserto móvil o carro el cual es accionado mediante un perno angular alojado en el lado fijo del molde, para impedir que el inserto móvil se retraiga por la presión de inyección se cuenta con una cuña de bloqueo. Del lado móvil se localiza la guía lineal que asiste el movimiento del carro en el sentido transversal a la abertura del molde. Figura 15.

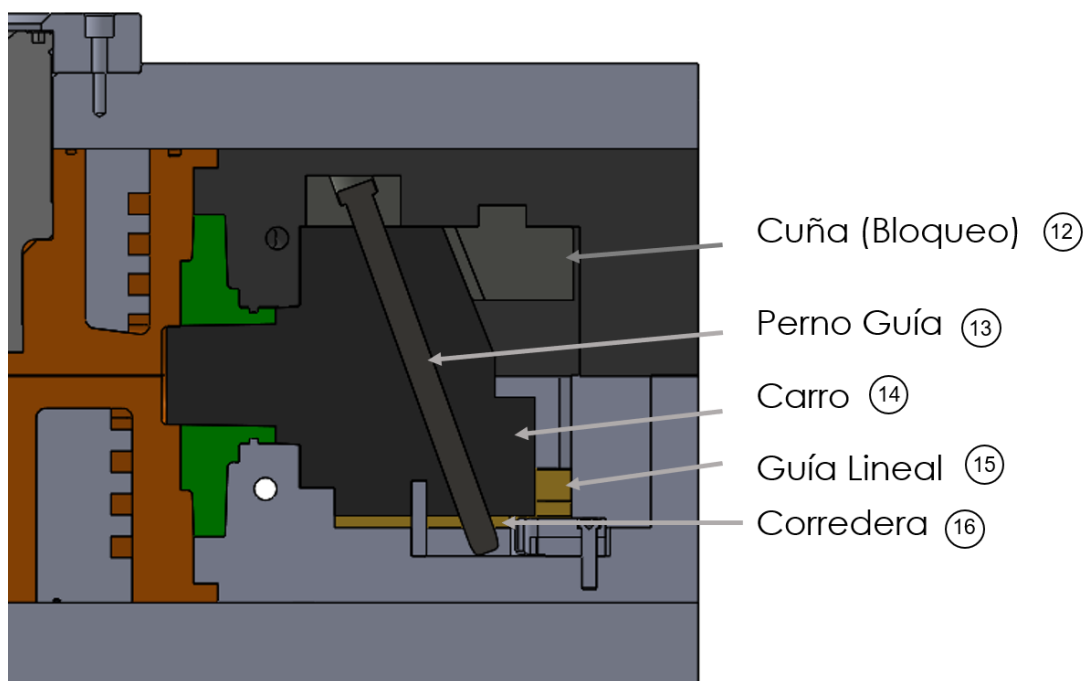


Figura 15. Sistema de Moldeo y Liberación Mecánico, Molde Cerrado.

El accionamiento del sistema de moldeo y liberación del molde está direccionado por el perno guía que aprovecha la abertura del molde para desplazar el carro en la dirección de liberación de la estructura negativa, Figura 16. La distancia necesaria para la liberación de la pieza es 46 mm, que resulta en una longitud efectiva del perno guía de 134.5 mm con un ángulo de inclinación de 20°. El desplazamiento del carro durante la abertura del molde está asegurado por un limitador de carrera.

El ajuste del sistema secundario de moldeo mecánico se ajusta de acuerdo al siguiente orden.

1. Carro – Placa de Choque Superior
2. Carro – Placa de Choque Inferior
3. Perno Guía– Carro
4. Corredera – Carro
5. Guía Lineal Izquierda – Carro
6. Guía Lineal Derecha – Carro
7. Perno Guía – Placa de Choque Superior
8. Cuña de Bloqueo – Carro
9. Carro - Inserto Superior
10. Carro - Inserto Inferior

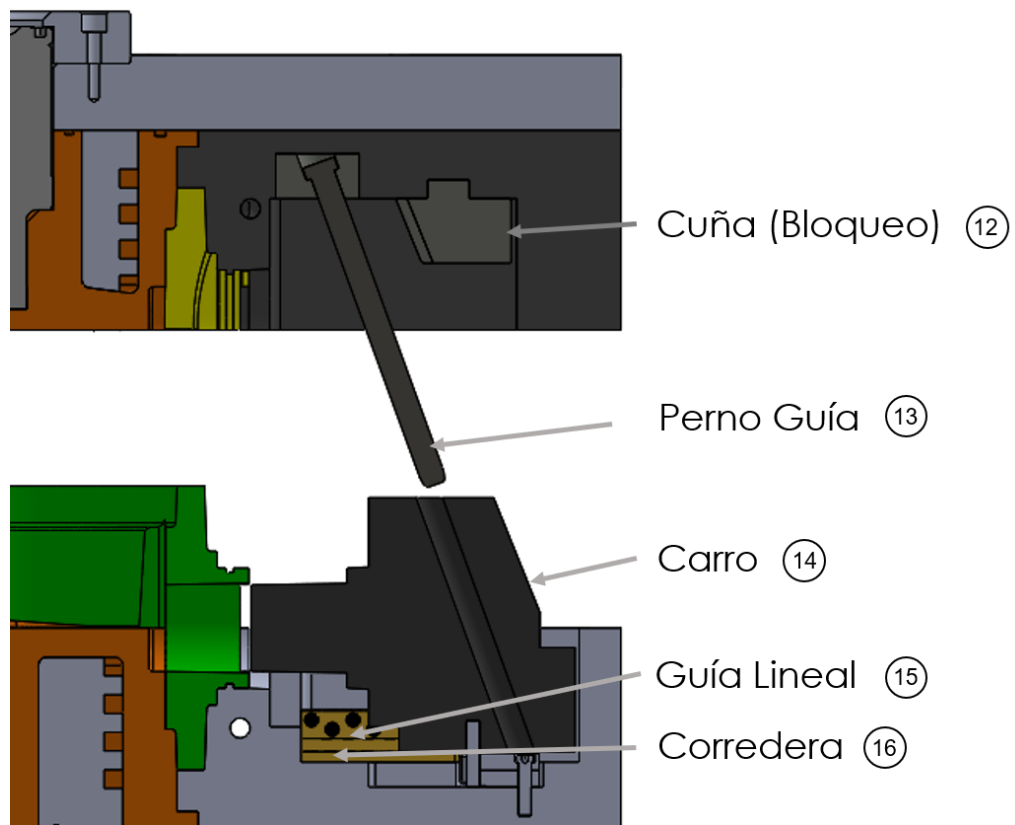


Figura 16. Sistema de Moldeo y Liberación Mecánico, Molde Abierto.

3.3 MOLDE CON SISTEMA SECUNDARIO DE MOLDEO SERVOACTUADO

3.3.1 Diseño Molde Servo Actuado

En este diseño se integra un actuador hidráulico para el movimiento del sistema de moldeo y liberación del componente en el área del negativo, Figura 17.

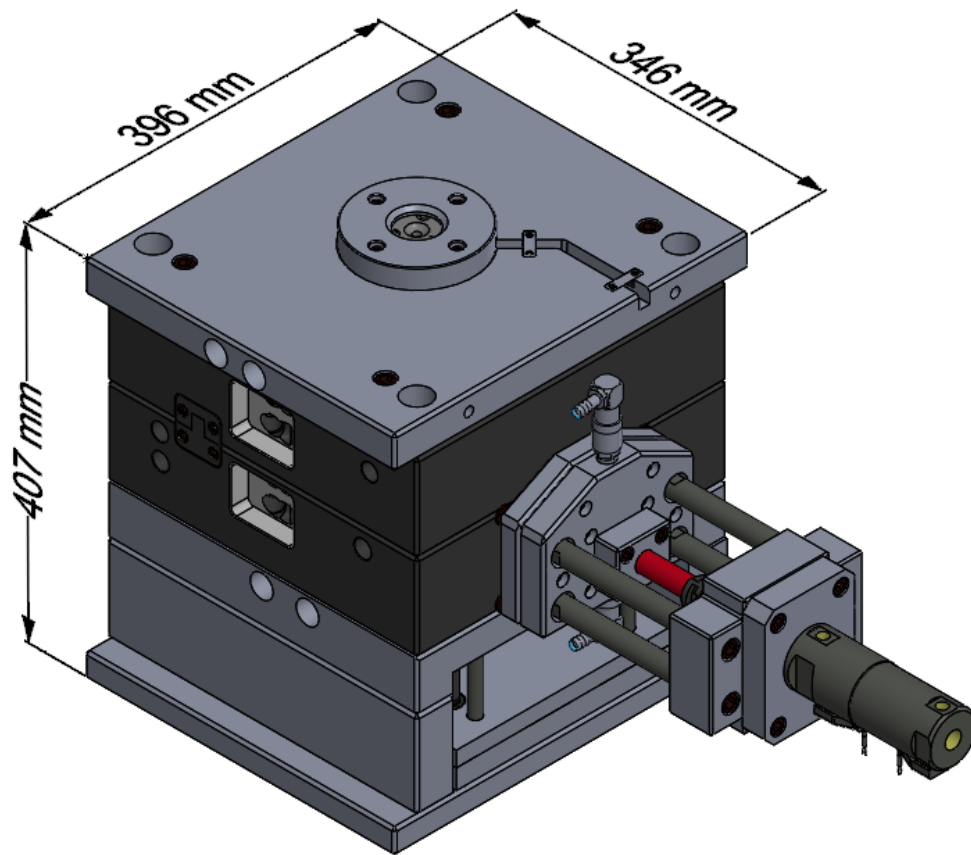


Figura 17. Molde Servo Actuado

3.3.2 Componentes Molde Servoactuado

En tabla 3 se muestran los componentes que integran al molde servoactuado, dentro de la cual se encuentran los elementos que componen al sistema de liberación de negativos accionado por medio de un actuador.

Tabla 3 Componentes Molde Servo Actuado

Estructura	Placa de Sujeción parte Fija (1)
	Placa Choque Fijo (2)
	Placa Choque Móvil (3)
	Placa de Refuerzo (4)
	Paralelas (5)
	Placas de Extracción (7)
	Placa de Sujeción parte Móvil (6)
	Inserto Superior (13)
	Inserto Inferior (14)
Liberación de Negativo	Corazón de Moldeo (15)
	Placas Acoplamiento (16)
	Soporte (17)
	Pistón (18)
	Actuador (19)
Accesorios	Botadores (8)
	Soportes (A-2)
	Tornillería (A-3)
	Guías (A-4)
	Conexiones Sistema Refrigeración (A-5)
	Anillo Centrador (A-1))
	Punta Caliente o Gate (11)

Este molde funciona de la siguiente forma: el material termoplástico es inyectado a las cavidades a través del gate (11), cuando ha llegado a la temperatura de expulsión la parte fija (L3) se separa de la móvil (L2), posterior a esto el corazón de moldeo (15) es retraído en dirección perpendicular a línea de partición a través del pistón (18) accionado por el actuador (19), una vez liberada la parte negativa, la pieza (9) retenida en la cavidad móvil es expulsada por los botadores (8) mediante las placas de extracción (7).

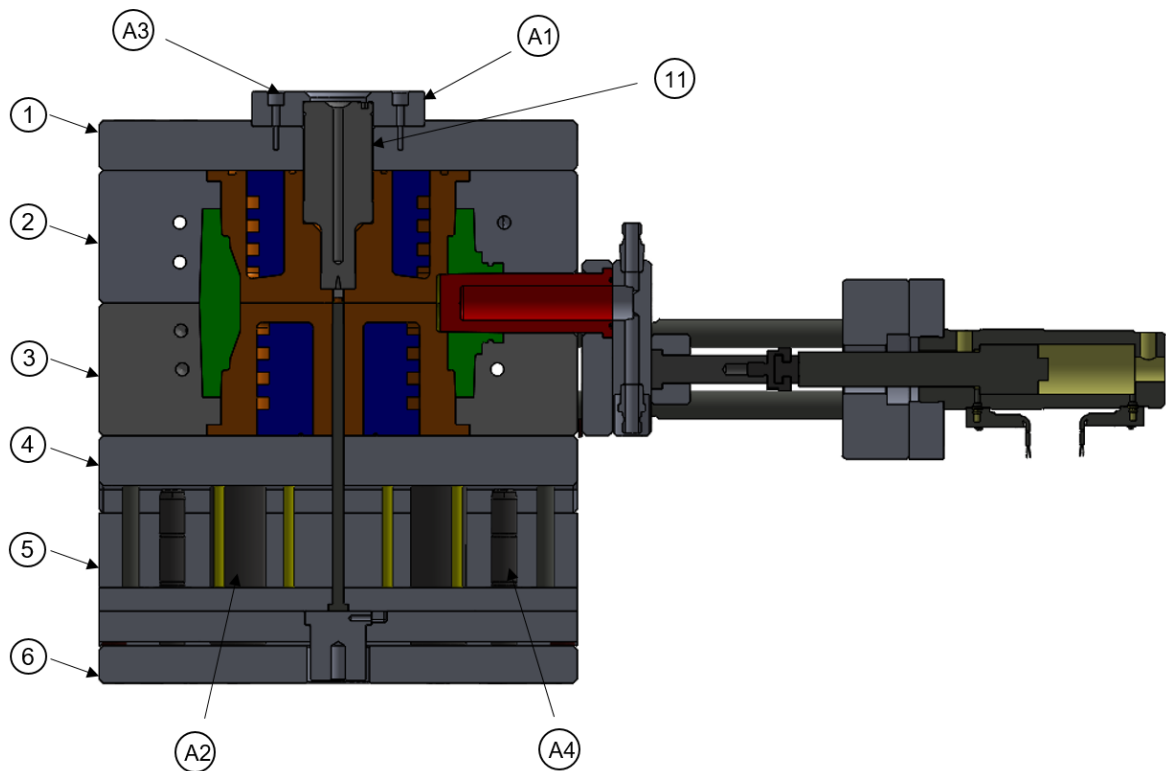


Figura 18. Vista Sección Molde Servo Actuado, Molde Cerrado

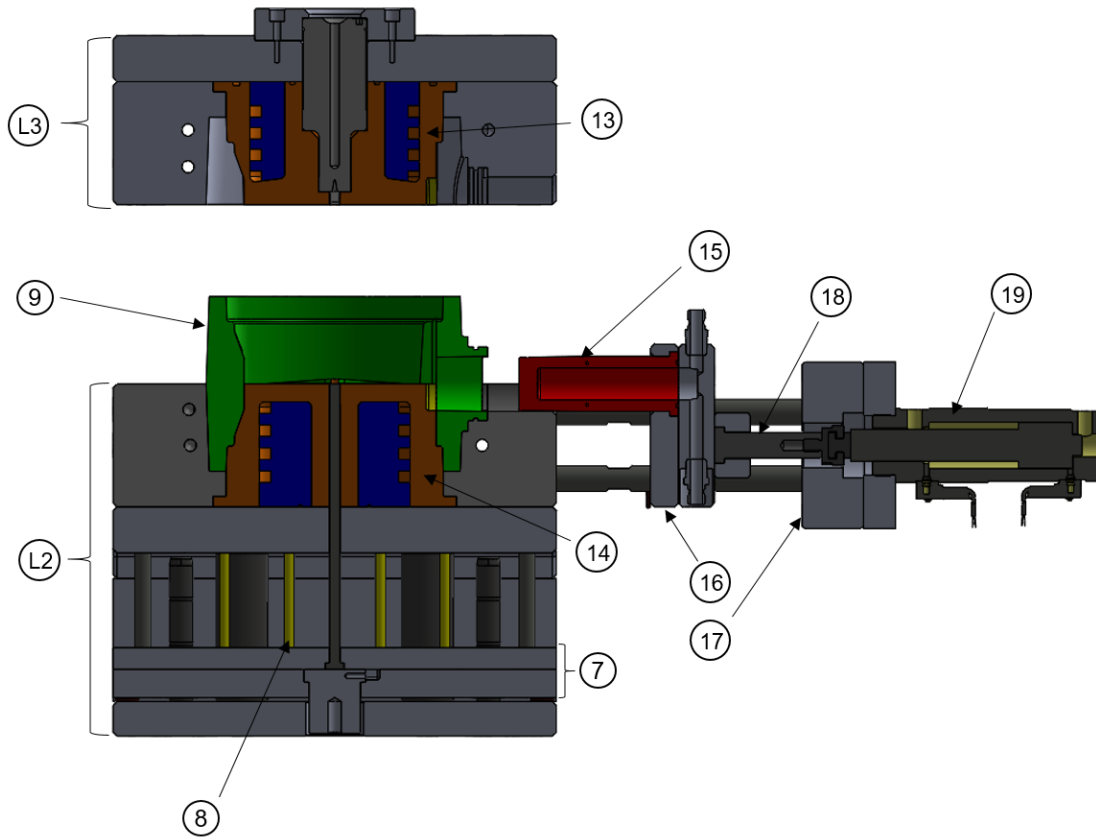


Figura 19. Vista Sección Molde Servo Actuado, Molde Abierto

3.3.3 Funcionamiento de Sistema Servoactuado para Liberación Negativo

El sistema de moldeo y liberación del negativo se integra por un corazón de moldeo, placas de acoplamiento y soporte, un pistón y actuador (Figura 18). El corazón se ensambla con las placas de soporte y acoplamiento, para transmitir el movimiento del cilindro hidráulico.

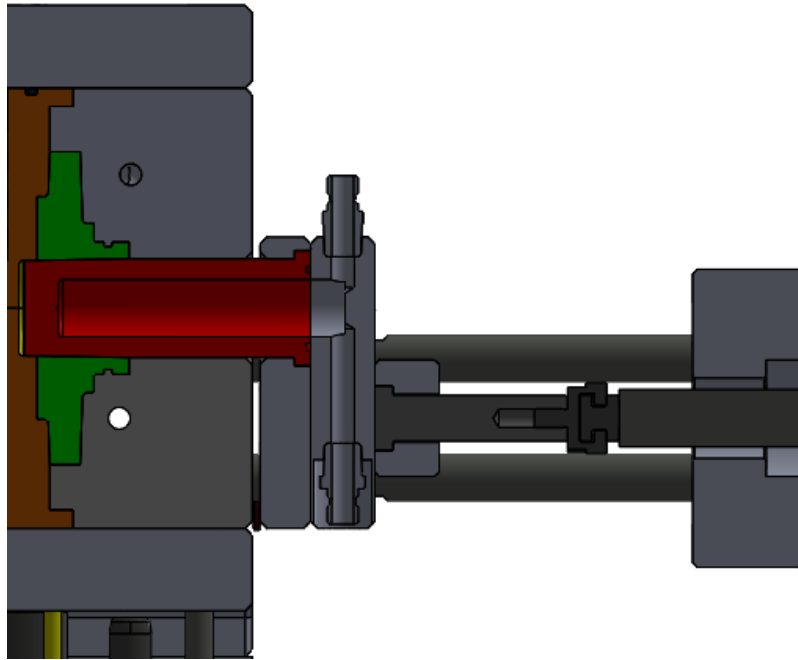


Figura 20. Sistema de Moldeo con Actuador, Molde Cerrado

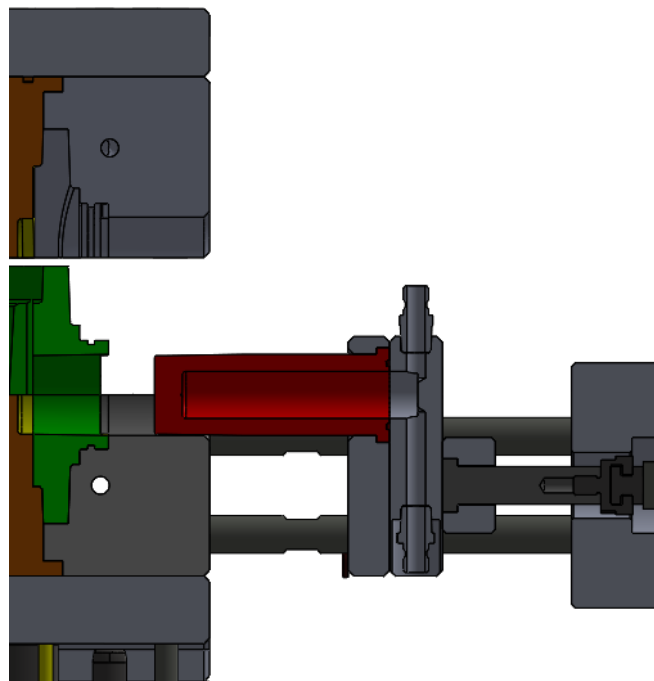


Figura 21. Sistema de Moldeo con Actuador, Molde Abierto

En las Figuras 20 y 21 se muestra el sistema servo actuado de moldeo y liberación de área negativa respecto a la orientación de desmolde. En la posición cerrada, Fig. 20, el inserto de moldeo se ajusta con las placas de cavidad del lado fijo, lado móvil y con los insertos centrales, por el extremo opuesto a las placas de soporte y acoplamiento de la base del pistón. En posición abierta, Figura 21, el inserto se desplaza la distancia necesaria para la expulsión de la pieza y este movimiento es guiado por las barras del pistón accionado por el actuador.

Los principales criterios para la selección del actuador hidráulico son la fuerza de inyección ejercida por el polímero durante el llenado del molde y la carrera de expulsión requerida para la liberación de la estructura con negativo. La presión máxima de inyección según el análisis CAE realizado, Plastics de SolidWorks, para la inyección de una poliamida 12 es 55 kN, mientras que la carrera necesaria para la liberación del componente según las dimensiones de la pieza es 46 mm.

El molde con estructura de dos placas sólido con actuador para desmoldeo de negativo, tiene la siguiente secuencia de abertura y cierre:

- Desplazamiento del actuador para liberación de inserto que moldea negativo,
- Abertura de placas de lado móvil y lado fijo,
- Activación del sistema de botado para expulsión de la pieza.

Esta secuencia de abertura garantiza la seguridad de la herramienta, al reducir la probabilidad de colisión.

Una configuración alternativa de expulsión de la pieza permitida por la construcción del sistema tiene la siguiente secuencia:

- Retracción del inserto que forma el negativo mediante el actuador simultaneo con la abertura del lado fijo y lado móvil.
- Activación del sistema de botado para expulsión de la pieza.

Esta secuencia contribuye a reducir el ciclo de inyección.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Un molde de inyección de plásticos está compuesto por distintos subsistemas que son importantes para su correcto funcionamiento, los cuales se diseñan básicamente según la experiencia práctica desarrollada por el personal, consecuentemente existe la oportunidad de mejorar la eficiencia de estas herramientas de moldeo en distintas etapas de su desarrollo.

De forma particular, las piezas con negativos en la etapa de expulsión tienen un papel importante en el diseño del molde, ya que independientemente del sistema de extracción de negativos que se utilice para la liberación de la pieza, este deberá estar en sincronía con la apertura y cierre del molde.

En este trabajo se realiza el análisis comparativo del diseño y manufactura de un molde para la inyección de un componente con áreas negativas, para un sistema secundario de moldeo accionado mecánicamente contra un sistema accionado con actuadores. A continuación, se resumen los resultados obtenidos según la etapa de desarrollo del molde.

Diseño Del Sistema de Extracción de Negativo con Accionamiento Mecánico.

El sistema secundario de moldeo para el diseño del molde propuesto en este trabajo está compuesto por 5 elementos, mencionados a continuación.

1. Carro (Movimiento Lateral)
2. Perno
3. Cuña (Bloqueo)
4. Guía Lineal
5. Corredera

Si bien los elementos mencionados son los componentes principales del sistema de liberación, se debe considerar que para el ensamble de estos componentes es necesario adicionar piezas para su fijación. Los elementos de ajuste para el sistema diseñado son los siguientes.

Carro – Placa de Choque Superior

Carro – Placa de Choque Inferior

Carro - Perno Guía

Corredera – Carro

Guía Lineal Izquierda – Carro

Guía Lineal Derecha – Carro

Perno Guía – Placa de Choque Superior

Cuña de Bloqueo – Carro

Carro – Inserto Superior

Carro – Inserto Inferior

Para integrar el sistema de liberación en el molde de inyección, es necesario considerar el espacio que genera la disposición de sus elementos, consecuentemente esto influye en el tamaño del porta molde a utilizar.

Diseño Del Sistema de Extracción de Negativo con Servo Actuado.

El sistema secundario de molde para el diseño realizados está compuesto por 5 elementos.

1. Corazón de Moldeo
2. Placas de Acoplamiento
3. Soporte
4. Pistón
5. Actuador

Los elementos de ajuste para este sistema se conforman por los siguientes componentes.

Corazón de Moldeo – Placa de Choque Superior

Corazón de Moldeo – Placa de Choque Inferior

Corazón de Moldeo – Inserto Superior

Corazón de Moldeo – Inserto Inferior

De acuerdo con los elementos requeridos para el sistema secundario de moldeo accionado mecánicamente y el sistema secundario de molde servoactuado, la

fabricación y el ajuste del molde se simplifican en el sistema servoactuado. A continuación, se resumen las ventajas técnicas de los sistemas según el diseño realizado.

a) Dimensiones.

La primera ventaja de integrar un sistema servo actuado para el accionamiento de una herramienta secundaria de moldeo se ve reflejado en el tamaño del porta molde, el cual tiene una reducción de 250 mm, esto es el molde con sistema mecánico tiene dimensiones 396x596x407mm mientras que el sistema servoactuado mide 396x346x407mm.

Esta reducción de dimensiones trae consigo una disminución en el peso del molde, lo que facilita su manipulación para el montaje en la inyectora y el traslado del mismo. Además, el tamaño de la inyectora se define tanto por la fuerza de cierre necesaria como por el tamaño del molde, por lo que un porta molde de menor tamaño trae consigo menores costos de inyección.

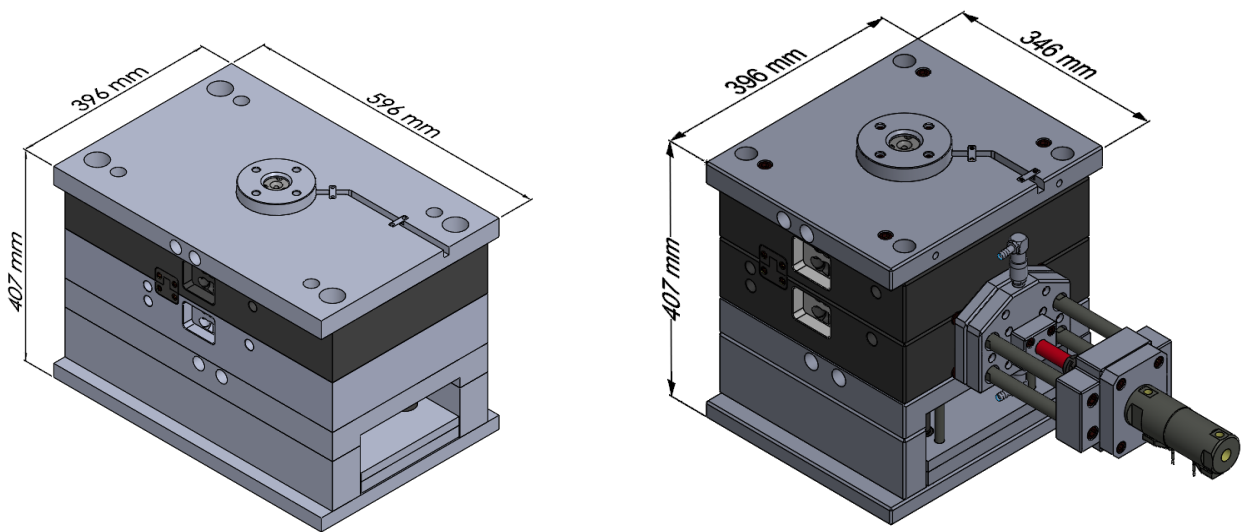


Figura 22 Tamaños de los Moldes

b) Manufactura

Una condicionante para la manufactura es el tamaño de la mesa de trabajo de las máquinas, un porta molde de grandes dimensiones requieren maquinas con carreras largas en sus ejes, aspecto que en ocasiones dificulta el proceso de fabricación. Otra condicionante que se ve afectado en la manufactura de componentes es el número

de ejes necesarios en una máquina para realizar una manufactura, el carro mencionando en la sección 3.2.3 para el molde mecánico tiene un ángulo de inclinación de 20°, el maquinado de este ángulo genera la necesidad de disponer ya dispositivos sujeción especializados para su manufactura en máquinas de 3 ejes, o de utilizar máquinas de 5 ejes.

Si bien el número de componentes entre estos dos moldes difieren medianamente teniendo 184 el molde servoactuado y 154 el molde mecánico, es importante mencionar que la principal diferencia se localiza en componentes que integran el sistema de moldeo y liberación del negativo.

Mientras que el molde mecánico cuenta 5 componentes que generan 10 zonas de ajuste, esto es, que son piezas que llevan tolerancias que van de 0 a 0.025 mm; por su parte el molde servo actuado solo tiene 4 zonas de ajuste de las 5 partes que componen dicho sistema. Esto se traduce en tiempo de mecanizado y consecuentemente en costo de fabricación.

c) Ajuste

El número de zonas de ajuste en el sistema secundario de moldeo mecánico es mayor que las zonas del sistema secundario de molde servoactuado, por lo tanto, la precisión requerida en la fabricación es mayor para garantizar el funcionamiento correcto del molde y del subsistema de moldeo y liberación en la zona del negativo.

Tabla 4 Número Zonas de Ajuste en el Molde

Tipo de Molde	Número de Componentes del Sistema de Liberación	Número de Zonas de Ajuste del Sistema de Liberación
Molde Mecánico	5	10
Molde Servo Actuado	5	4

El ajuste de partes en un molde de inyección es una tarea que frecuentemente se realiza de manera manual por personal con vasta experiencia, sin embargo, esto conlleva a realizar el trabajo de forma un tanto empírico.

Por lo anterior se busca tener menor número de piezas de ajuste para reducir tiempos en la realización de esta tarea.

d) Tiempo

El ajuste del molde con accionamientos mecánicos requiere un tiempo de ajuste mayor, debido a que esto se realiza de una forma un tanto empírica, por personal que realiza esta tarea manualmente teniendo un alto nivel de incertidumbre. En contraste, el sistema accionado con actuadores, al tener menor número de componentes el ajuste también se reduce a una etapa simple debido a que se realiza por maquinaria CNC dejando de lado la incertidumbre de la mano humana y consecuentemente la fabricación de componentes, así como el tiempo.

e) Robustez de la herramienta de moldeo

Una ventaja que conlleva utilizar un sistema servo actuado para el moldeo y liberación de negativos en un molde de inyección es la robustez de la herramienta esto es, al contar con menos elementos de ajuste significa menos elementos en fricción, recordemos que un molde esta pensado para reproducir miles de piezas, lo que se traduce en una apertura y cierre del molde constante.

Por otra parte, los elementos en un molde con sistema de liberación de negativos mecánico están en sincronía con la apertura y cierre del molde lo que significa que el montaje en la inyectora, así como operación de la misma requiere de extrema precaución para no ocasionar una colisión entre estos elementos.

f) Eficiencia

Con la integración del sistema servoactuado se espera lograr una reducción considerable en el tiempo ciclo optimizado durante el proceso de producción, esto debido a una diferencia entre la velocidad de apertura y cierre del molde servoactuado respecto al molde mecánico.

Ensamble y Validación de molde Servo Actuado

De acuerdo con las ventajas del sistema secundario de moldeo servoactuado en comparación con el sistema accionado mecánicamente, como parte de este trabajo se realizó la fabricación del molde para la inyección del componente con el sistema secundario de moldeo servoactuado. En la Figura 23 es posible observar la parte móvil y fija del molde servo actuado; en esta podemos encontrar las partes que forman la pieza, así como el sistema que moldea y libera la parte negativa de la misma.

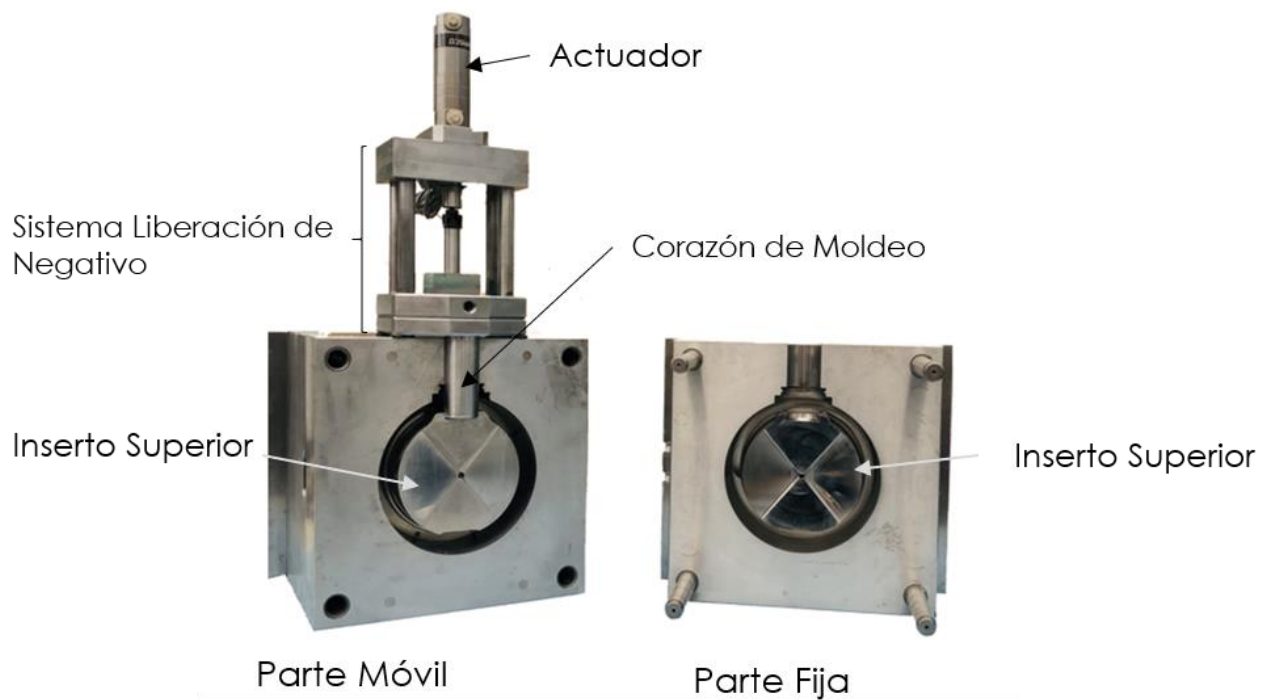


Figura 23. Parte Fija y Móvil de Molde Servo Actuado

En la Figura 24 se presenta el molde en forma cerrada es decir en posición de moldeo, como se observa el vástago del pistón y el corazón de moldeo están inclinados hacia delante de acuerdo con la dirección del pistón.

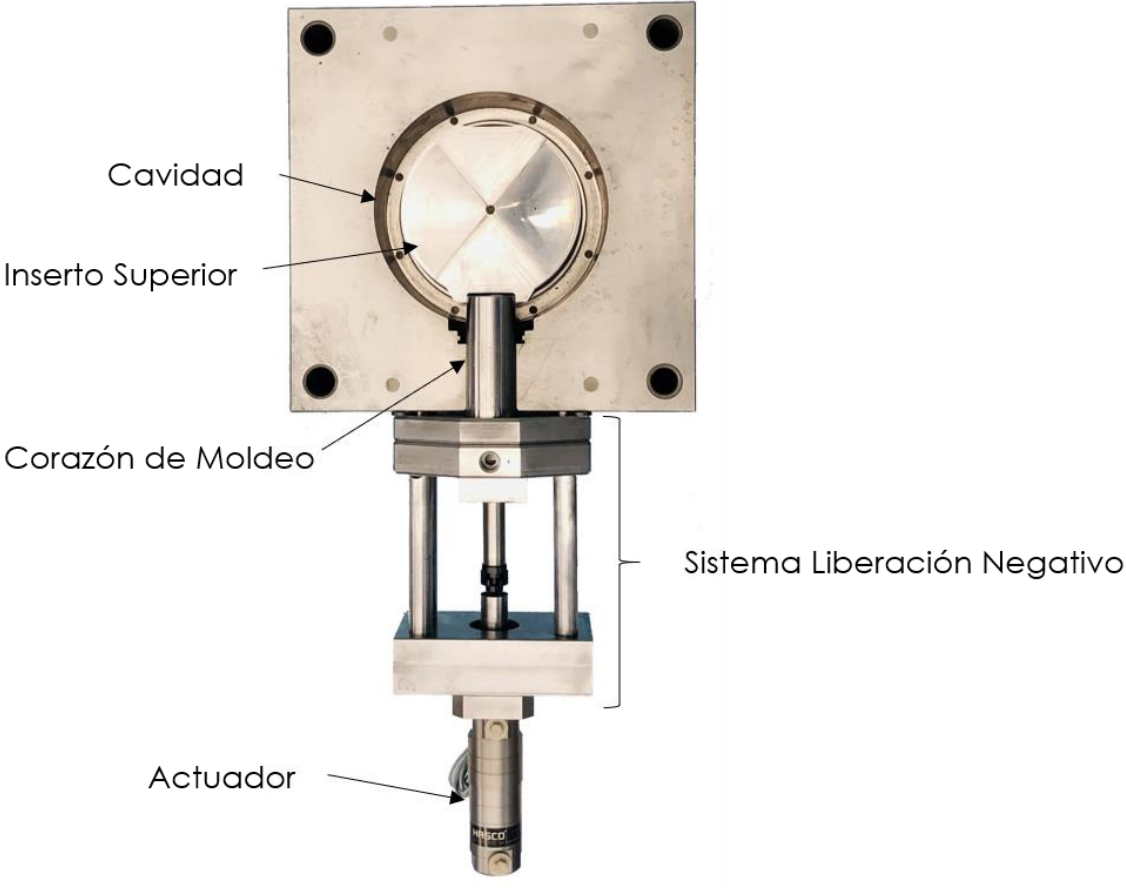


Figura 24. Molde Servo Actuado, Molde Cerrado

En la Figura 25 se presenta el molde en forma abierta, en este caso el vástago del pistón y el corazón de moldeo están retraídos, es en este punto donde se realiza la liberación del negativo de la pieza.

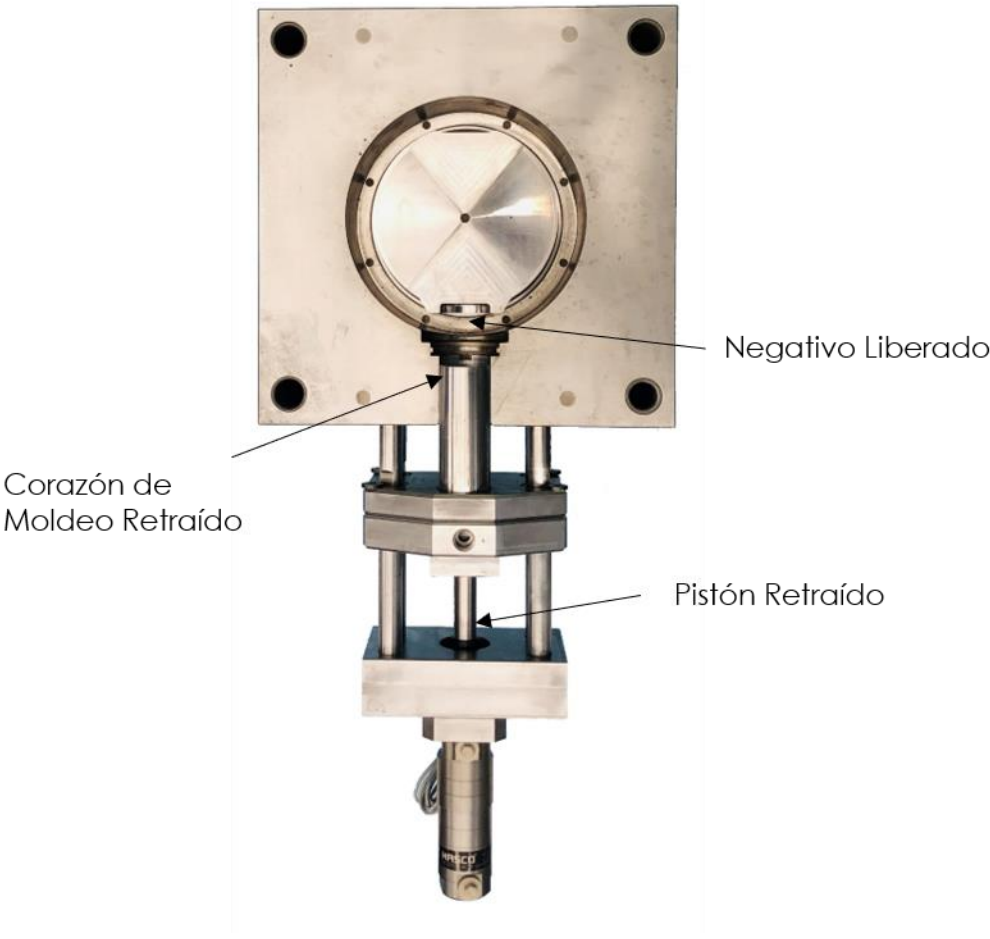


Figura 25. Molde Servo Actuado, Molde Abierto

En resumen, el uso de actuadores para el accionamiento de un sistema de moldeo y liberación de negativos en un molde de inyección de plástico presenta ventajas sobre el sistema accionado mecánicamente.

1. Menor tamaño del portamolde
2. Menor tiempo de fabricación.
3. Menor tiempo de Mantenimiento (fácil ensamblaje).
4. Ciclos de inyección más cortos.
5. Capacidad de fabricar moldes más complejos (bi – inyección).
6. Moldes con sistemas de refrigeración más eficientes.
7. Mejor distribución de sistema de botado.
8. Moldes más robustos.
9. Moldes menos costosos.
10. Facilidad de integrar más de un sistema de liberación de negativos.

CONCLUSIONES

La integración de un sistema secundario de moldeo servoactuado en moldes de inyección de plástico contribuye a la reducción en el tamaño del molde, pues el inserto o carro únicamente se desplaza en la dirección necesaria para el desmoldeo de la estructura negativa, a diferencia del sistema de moldeo secundario mecánico no es necesario disponer de espacio para el movimiento del carro. Este beneficio se refleja de forma sustancial en moldes que requieren carros de dimensiones mayores y en consecuencia el molde se monta en máquinas inyectoras de tonelaje superior al necesario para disponer de platinas con el tamaño necesario para asegurar el molde. En adición, el número de zonas de ajuste del sistema secundario de moldeo servoactuado es menor que en el sistema secundario de moldeo mecánico, esto reduce el tiempo de fabricación para los componentes, así como el tiempo ajuste. En suma, la integración de sistemas de moldeo secundarios servo actuados representan ventajas como la disposición de sistemas con operación más simples, mayor seguridad al reducir posibles colisiones además elimina las limitaciones en el diseño al no verse comprometidos los sistemas de refrigeración y botado con tiempos de fabricación y mantenimiento menores cuando se comparan con sistemas mecánicos.

Finalmente, es necesario mencionar que la búsqueda de artículos y patentes revisados no se identificaron referencias que presenten información técnica específica sobre el diseño, fabricación y ajuste de molde para inyección de plásticos. Pues generalmente la información generada por las empresas se utiliza de forma exclusiva como ventaja competitiva, este trabajo puede considerarse como parte de las bases documentales para el diseño y manufactura de moldes de inyección.

APORTACIÓN DE LA TESIS

Las aportaciones más relevantes de este trabajo se enfocan principalmente en la integración de un actuador hidráulico en un molde de inyección de plástico para el accionamiento de un sistema de liberación de negativos presente el molde.

La empresa donde laboro actualmente ha hecho este tipo de moldes utilizando sistemas mecánicos, es decir, para lograr liberar los negativos presentes en el molde se integran distintos elementos que están acoplados mecánicamente y además se encuentran en sincronía con la abertura y cierre del molde.

De acuerdo con lo anterior a continuación se describen de manera detallada, las principales aportaciones del presente trabajo:

- Reducción del tamaño del molde 250 mm, cambio de medidas generales de 396x596x407mm a 396x346x407mm.
- Reducción de los elementos de ajuste, lo cual ayuda a reducir los tiempos de manufactura y de mantenimiento.
- Se ha detectado la posibilidad de fabricar moldes mas complejos, es decir, moldear piezas con mayor número de negativos accionados por actuadores.
- Diseño y fabricación de moldes más robustos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *A new hybrid method for demoldability analysis of discrete.* **Mercado Colmenero, Jorge Manuel.** 2016, Computer-Aided Design, Vol. 80, pp. págs. 43-60.
2. *A new procedure for the automated design of ejection systems in injection.* **Mercado - Colmenero, Jorge Manuel.** 2017, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 46, pp. págs. 68-85.
3. **Bryce, Douglas M.** *Plastic Injection Molding: Mold Design and Construction Fundamentals.* Dearborn : Society of Manufacturing Engineers, 1998. Vol. III. ISBN 0-87263-495-7.
4. *A Method for Automatic Thread Demoulding Using Step Motor and Servo Motor with Synchronization between the Two Systems in Injection Mould.* **Yang, Guo-Wei Chang and Jun-Min.** 2013, Applied Sciences, Engineering and Technology. 2040-7459.
5. *Design of mechanical presses driven by multi-servomotor.* **Yongjun Bai, Feng Gao and Weizhong Guo.** 2011, Journal of Mechanical Science and Technology.
6. *A 3-DOF Controlled, High-Speed, High-Precision Local Actuator.* **Xiaoyou Zhang, Tomohiro Ishizuka and Kouki Uchiyama.** 2013, Applied Mechanics and Materials, pp. págs. 423-426. 1662-7482.
7. *Application of Composite Core-pulling Mechanism in Mobile Phone.* **Jian-Ming, Hong.** 2013, Applied Mechanics and Materials, Vols. 385-386, pp. págs. 237-241.
8. **García, S.M.** Diseño de un molde de inyección y elaboración de diagramas de moldeo para la empresa Unión Plástico. *Informe Final de Cursos de Cooperación.* Venezuela : s.n., 2012.
9. **Guerrero, Rigoberto Zúñiga.** Diseño Y Simulación del Maquinado de un Molde de Termoformado para la industria del plástico. Atizapán de Zaragoza : Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, 1999.
10. **Ledesma, A. Jaime Sánchez.** Metodología para el Diseño de Molde de Plástico de Colada Caliente. Atizapán de Zaragoza : Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, 2001.

11. **Ramirez, Daniel Arista.** Diseño de un Molde de Inyección para la producción de cubetas odontológicas inferiores utilizando sistemas CAD/CAM/CAE. s.l. : Instituto Politécnico Nacional, 2016.
12. **Elizburu, Haritz Arribillaga.** DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS MEDIANTE SISTEMAS CAD/CAM. s.l. : Universidad Pública de Navarra, 2015.
13. **Fuente, Dennilú Sosa de la.** Metodología para la administración de transferencias de moldes para la inyección de piezas plásticas. s.l. : Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, 1999.
14. **Beltrán Rico, M., Marcilla Gomis, A.** *Tecnología de polímeros.* 2012. 978-84-9717-232-5.
15. **Gastrow, Hans.** *Moldes de Inyección para Plásticos.* 1998. 3446156283.