



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE 24
PUNTOS, PARA MOLDEO DE PIEZA PLÁSTICA:
ÉMBOLO PARA TUBO DE SILICON.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A:

MÉNDEZ ROJANO LUIS ERNESTO



**DIRECTOR DE TESIS:
DOCTOR FERNÁNDEZ ZAYAS JOSÉ LUIS.
2014**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

	Pag.
Introducción	I
Agradecimientos	III
1. Industria del plástico en México	1
1.1 Industria del plástico	1
1.2 Descripción de los materiales plásticos (polímeros)	3
1.3 Proceso de conformado de polímeros	5
1.4 Moldeo por inyección	6
1.5 Clasificación de moldes	8
2. Descripción del proyecto	13
2.1 Metodología para el diseño de un molde de inyección	13
2.2 Características del proyecto	16
2.3 Características de la pieza a inyectar	17
2.4 Características de la maquinaria	19
2.5 Análisis de capacidad	20
3. Diseño de cavidades	22
3.1 Planos de partición	22
3.2 Selección tipo de molde	25
3.3 Diseño punto de inyección	26
3.4 Distribución de las cavidades	29
4. Sistema de inyección	33
4.1 Descripción del sistema de inyección con colada caliente	33
4.2 Lay out de corredores	37
4.3 Diseño de bebedero	41

	Pág.
4.4 Diseño de corredores	44
4.5 Selección de boquillas	47
4.6 Tipo de calentamiento	49
4.7 Propuesta final de diseño	52
5. Verificación del diseño	
5.1 Antecedentes	60
5.2 Resultados de la simulación	61
Conclusión	64

Agradecimientos

Especialmente quiero aprovechar estas palabras para mostrar el infinito aprecio y gratitud que tengo con el Dr. José Luis Fernández Zayas, gracias por siempre cultivar el deseo de superación en todos sus alumnos.

Con todo mi cariño y amor a Gilda y Ernesto, que han hecho todo en la vida para que yo pueda lograr mis sueños, gracias por motivarme.

A mí amada compañera de vida, Laura Elena, gracias por tu motivación y apoyo para que este proyecto culminara con gran éxito.

A mi hermano, Rodrigo, y mis primos, quienes siempre han sido mis amigos y ayudan siempre a que yo sea mejor persona. A mis amigos y familiares gracias por acompañarme en mi formación académica.

Especial agradecimiento debo a mis abuelos, quienes me cuidaron y aconsejaron durante toda mi vida de estudiante, siempre fueron segundos padre y madre.

Agradezco a Rogelio Gimeno, ya que sus enseñanzas han hecho posible mi desarrollo profesional dentro de la industria de los moldes de inyección.

Gracias a la Facultad de Ingeniería que me brindó la oportunidad de ser profesional, cultivando principios y valores que siempre recordare y ejerceré en mi vida profesional.

Introducción

Este trabajo de tesis tiene el objetivo de realizar una propuesta para el diseño de un sistema de inyección que pueda ser adaptado a un molde de inyección de 24 cavidades para la fabricación de embolo plástico para tubo contenedor de silicón. Comúnmente este tipo de sistemas en la industria del plástico se le conoce como cámara caliente, debido a que se basa en un bloque de acero por el cual correrá plástico fundido, dicho bloque de acero contará con un sistema de calefacción que permita operar el bloque de acero a temperaturas elevadas alrededor de 200 a 300° C.

Actualmente en la industria de moldes para inyección de plástico existen empresas dedicadas a la fabricación de sistemas de inyección, conocidos en esta industria como HRS (por sus siglas en inglés Hot runner system) empresas destacadas son *Synventive*, *Yudo*, *Husky* entre otras. En la industria Mexicana de moldes de inyección no existen empresas dedicadas a este tipo de tecnología.

Debido a esta situación empresarios Mexicanos que en ocasiones no cuentan con grandes cantidades de capital para la compra e importación de este tipo de tecnología, tanto de moldes como sistemas de inyección, acuden a talleres metal mecánicos que la mayoría de las ocasiones no tienen las bases tecnológicas necesarias para desarrollar este tipo de sistema. Presentando problemas en los moldes de inyección como lo son: mal llenado de las cavidades, generación de flash en las piezas moldeadas o incluso imposibilitando el funcionamiento del molde de inyección.

Los costos para moldes de inyección de masa 600 kg oscilan entre 380 mil pesos a 520 mil pesos, dependiendo complejidad y peso, para el caso de moldes de origen extranjero. El beneficio al diseñar un sistema de inyección para adaptarlo al diseño de un molde de inyección representa un 6% del costo total del molde de inyección, generando un total ahorrado de 20 mil a 30 mil pesos.

Este trabajo nace de un requerimiento de compra de un molde de inyección para la producción de embolo plástico para tubo de silicón, una empresa productora de silicón tuvo la necesidad de ampliar la producción de tubo y embolo para la venta de silicón, en el caso de aumentar la producción de embolo la empresa planteó el desarrollo y construcción de un molde de inyección que contara con 24 cavidades. Al tomar este proyecto se encontró con la necesidad de un sistema de cámara caliente que permitiera el correcto llenado del total de las cavidades, buscando también con la aplicación de este tipo de sistema reducir el desperdicio ocasionado por la colada caliente ya que con anterioridad se fabricaron moldes con colada fría ocasionando un desperdicio de material plástico en cada lote de producción.

El presente trabajo se divide en cuatro capítulos donde se discuten los resultados obtenidos y se presenta un boceto ilustrativo de la propuesta de diseño del sistema de

inyección.

En el primer capítulo se presenta la situación de la industria de la transformación del plástico en México, mostrando también los diferentes procesos de manufactura usados para la transformación del plástico. Al final del capítulo se presentan los diferentes tipos y la clasificación de los moldes usados en la industria.

En el segundo capítulo se describe la pieza plástica que se va a producir, se trata de un émbolo usado para desplazar silicón dentro de un tubo plástico. En este capítulo también se describirá la máquina inyectora empleada en este proceso, ya que es la primera especificación que se necesita conocer para iniciar el diseño de un molde de inyección y a su vez continuar con el diseño de un HRS. Al final del capítulo se presentan sencillos cálculos que el ingeniero dedicado al diseño de moldes emplea para determinar si las condiciones de la máquina de inyección permitirá el uso adecuado del molde.

La discusión del tercer capítulo se centra en la selección del tipo de molde a usar. Es importante conocer el tipo de molde de inyección que se usará para poder adaptar el sistema de inyección. El sistema de inyección será necesario para garantizar la fluidez del plástico fundido hasta el último rincón del molde de inyección esto se debe a que el molde en pocas palabras es un intercambiador de calor y desde el primer instante en que el plástico fundido haya hecho contacto con las paredes de acero del molde, el plástico iniciará el proceso de enfriamiento hasta solidificar y permitir la extracción de la pieza plástica. Para determinar las dimensiones del sistema de inyección así como ubicación de puntos de inyección se deberá partir de las dimensiones del molde y número de cavidades. Al final de este capítulo se presenta el tipo de punto de inyección y la distribución de las cavidades lo que servirá para ubicar los puntos de inyección.

Finalmente en el cuarto capítulo se describe el sistema de colada caliente el cual permitirá el paso del plástico fundido desde la máquina inyectora a las cavidades del molde. En este capítulo se da una breve descripción de las ventajas productivas que este sistema presenta. Se habla también de las dimensiones y características necesarias para los canales de distribución que permitirán al material plástico ser suministrado desde el primer al último punto de inyección. Una vez presentado los canales de distribución se presenta la configuración y características de las boquillas que permitirán al material plástico ser desplazado desde los canales principales al punto de inyección y finalmente a las cavidades. Finalmente este sistema no se llamaría cámara caliente o HRS sin el uso de resistencias eléctricas que mantienen el sistema a una temperatura elevada para evitar la solidificación del plástico entre cada ciclo de inyección.

1 Industria del plástico en México

En el presente capítulo se abordará la importancia de la industria del plástico, y el papel que desempeña el uso del moldeo de polímeros por inyección a nivel industrial.

1.1 Industria del plástico

El material plástico es el material de la sociedad moderna, gracias a este material la innovación tecnológica ha sido tan importante en industrias como la automotriz, del empaque, de la construcción.

Sin embargo, la transformación total de plástico en México, al año representa únicamente el 2% de la producción total mundial, [Plastics Europe Market Research Group, 2012] por ello se habla de una industria con gran potencial a explotar en nuestro país.

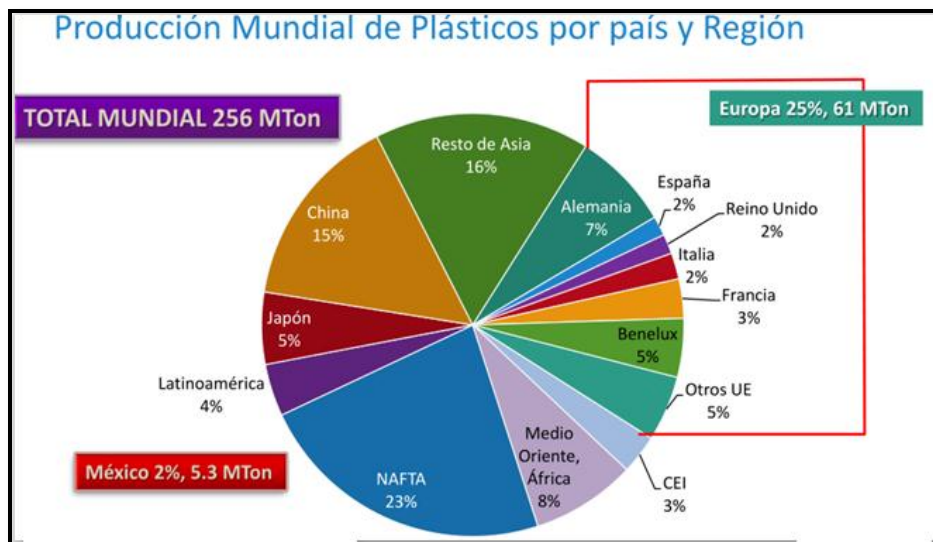


Figura 1.1 Producción Mundial de plásticos por país y región [Conde, 2012]

La situación actual de la industria transformadora del plástico en nuestro país se sitúa en el atraso de tecnología, empresarios que no están dispuestos a realizar inversión a favor de la renovación de maquinaria, o inversión para la capacitación del personal que en esta industria trabaja. Esta situación se puede deducir de las cifras que a continuación se presentan:

En México, según Conde, existen 15 empresas productoras de resinas plásticas para la generación de productos plásticos. Comercializadoras de maquinaria 90 empresas. Fabricantes de moldes 50 empresas registradas en la ANIPAP (Asociación Nacional de industria del Plástico), con capacidad y habilidades para desarrollar un molde de inyección de buena calidad. Comercializadora de plásticos y resinas 250 empresas. Fabricantes de artículos plásticos 2700 empresas, del total de estas empresas el 55% manejan el proceso de inyección, 1,485 empresas [Conde, 2012]. Con estos datos las empresas fabricantes de artículos plásticos tienen una debilidad por el reducido número de empresas que se dedican a suministrar resinas, moldes o maquinaria.

El consumidor final de productos plásticos se divide en 4 grandes rubros, hogar, industria, gobierno y productos para la exportación. En la figura 1.2 se muestran los segmentos de la industria plástica en México.

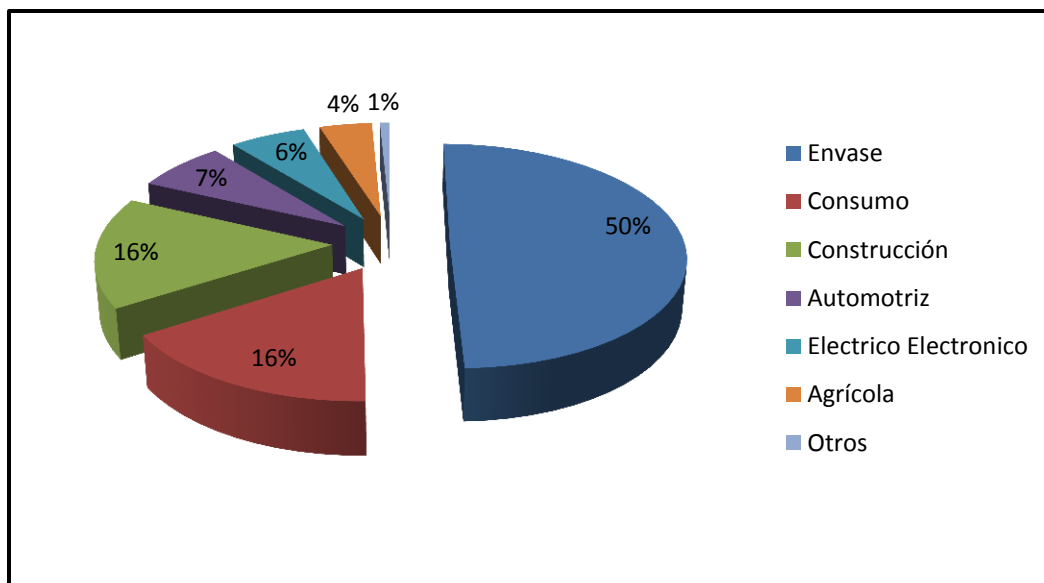


Figura 1.2 Consumo de plástico por industria [Conde, 2012]

Al hablar de la industria del plástico no se puede omitir la cuestión de sustentabilidad y reciclado, tema que adquiere importancia en nuestro país ya que actualmente del total del consumo únicamente se recicla alrededor del 12% al 14 %, ventaja competitiva poco explotada de la industria del plástico.

Los procesos que existen para la transformación del plástico son: extrusión, inyección, soplado, rotomoldeo, compresión, etc. Este trabajo de tesis se centra en el proceso de inyección de plásticos que en la industria nacional representa el 55% del total de

empresas dedicadas a la transformación del plástico 1,485 empresas dedicadas al proceso de inyección, representando el 27% del volumen total de plástico transformado [Conde, 2012].

En la figura 1.3 se presenta en un gráfico la importancia que tiene la industria del moldeo por inyección en México. Siendo una de las industrias con mayor número de empresas dedicadas a la transformación del plástico, es la segunda industria en aportar el total del volumen de plástico transformado. [Conde, 2012].

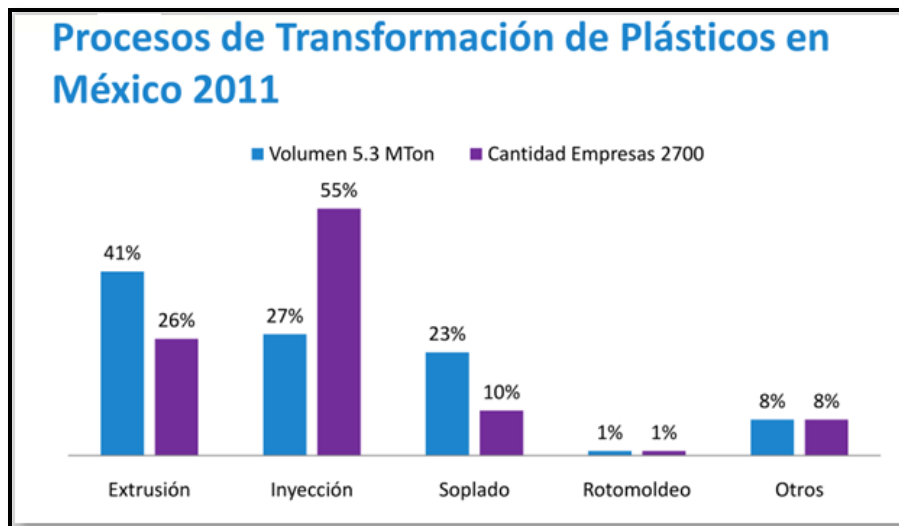


Figura 1.3 Procesos de transformación de plásticos en México 2011. [Conde, 2012]

1.2 Descripción de los materiales plásticos (polímeros)

El término plástico se usa y hace referencia a los materiales ya procesados por cualquier actividad humana, este término es usado debido a que el material plástico se compone de largas cadenas moleculares llamadas polímeros que a su vez están constituidas por meros (partes o segmentos). Cuando los polímeros tienen ciertas características y propiedades son llamados plásticos.

Los materiales plásticos se dividen en dos, debido a su fluidez o falta de fluidez, en estas dos clasificaciones existen los polímeros termoplásticos o termoestables (termofijos). Los materiales termoplásticos son los materiales que al calentarlos se consigue fluidez del material debido a que su estructura presenta pocos entrecruzamientos moleculares. Los materiales termoestables son materiales que no fluyen al ser calentados, esto se debe a la alta cantidad de entrecruzamientos moleculares, y el único resultado al calentar este tipo de materiales es la descomposición química del material.

La fabricación de polímeros se da gracias a procesos de polimerización que en pocas palabras es la unión (poli-varios) de segmentos (mero-parte), es decir durante la fabricación de materia prima para la producción de plásticos se unen varias moléculas. Por ejemplo el PE (polietileno) es un polímero formado por la unión de moléculas de etileno (CH_2). En el caso de materiales termoplásticos la comercialización del material plástico se realiza mediante la venta de pequeños segmentos, ya polimerizados, en forma de esferas o cilindros llamados pellets. En la figura 1.4 se presenta una fotografía de pellets y una refinería, donde dicho material será fabricado.



Figura 1.4 Representación física de los Pellets y una refinería para la producción de polímero.

En el estudio de los materiales plásticos se debe tener en cuenta el comportamiento viscoelástico que se presenta al deformar un polímero. Es decir, cuando el material se encuentre fundido éste tendrá comportamiento elástico y viscoso en el instante de la deformación, como resultado de este comportamiento la viscosidad no podrá ser lineal como se presenta en fluidos Newtonianos, por esta razón los polímeros son clasificados como fluidos no Newtonianos. En la figura 1.5 se presenta un diagrama de la curva esfuerzo vs velocidad de deformación en fluidos.

Al estudiar el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación en los polímeros éstas será función de la temperatura a la que se encuentre el fluido y también será función de la magnitud del esfuerzo cortante que sea aplicado. Es por esta situación que al inicio de un diseño de moldes de inyección se debe conocer el material con el que se estará trabajando.

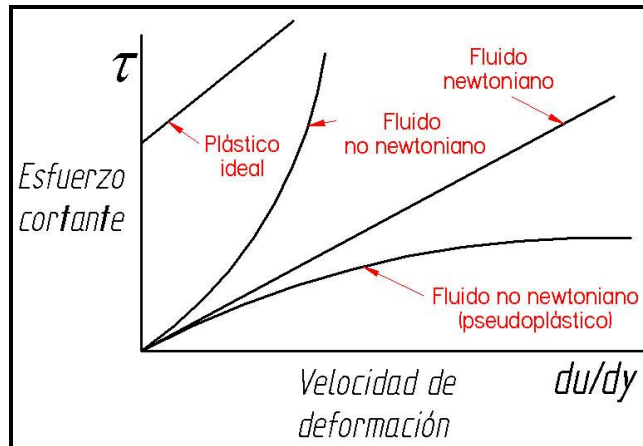


Figura 1.5 Diagrama esfuerzo cortante vs velocidad de deformación de fluidos [Suhas Kulkarni, 2010].

1.3 Procesos de conformado de polímeros

Existen diferentes procesos para el conformado de polímeros, el conformado es una actividad donde se le da la forma deseada al polímero para transformarlo en una pieza funcional para diversas aplicaciones. Estos procesos son aplicados considerando el tipo de polímero que se desea conformar y también el tipo de pieza a obtener, tomando como principal parámetro para definir el proceso a emplear, la geometría de la pieza y la rapidez del proceso, por ejemplo existen piezas cilíndricas que es posible usar un proceso de moldeo por inyección para fabricar la pieza, sin embargo, con un proceso continuo como lo es el proceso de extrusión será más rápido fabricar la misma pieza plástica, esto se debe a que en un proceso de inyección se tienen varios pasos discretos durante el proceso. La condición esencial de los procesos de conformado de polímeros es el calentamiento del polímero, para poder darle la forma deseada. Por otra parte los polímeros termoendurecibles y elastómeros se conforman usando resinas y catalizadores aplicando calor para generar reacciones de polimerización o de vulcanizado, que provoquen un cambio químico en el material.

El proceso de moldeo por inyección se emplea en piezas cuyos espesores de pared oscilan entre 0.7 mm y 3 mm, se utiliza en piezas que deben mostrar rigidez para ensamble de componentes, o como recipientes. El proceso de moldeo por soplado se utiliza en piezas cuyos espesores de pared oscilan entre 0.5 mm y 1mm se utiliza principalmente para botellas, y tanques contenedores de líquidos. Finalmente el moldeo por rotación se utiliza en aplicaciones donde se generan capas de diversos polímeros para la construcción de la

pieza, ejemplo de ello son los tinacos de agua que emplean de dos a tres polímeros en cada capa de pared la pieza.

En el moldeo por inyección se realizan diferentes operaciones sobre los polímeros para obtener la pieza deseada, una de las acciones implica un costo energético esto se debe a que el polímero se debe fundir para que el plástico adquiera la forma del molde, aunque se debe tener presente que este costo es pequeño ya que los polímeros se funden a bajas temperaturas en comparación con los metales. En los procesos de conformado de metales se cuenta con un elevado costo energético.

Durante estos procesos es importante cuidar los parámetros relacionados con la temperatura, esto con la finalidad de obtener piezas que cumplan con los estándares de calidad. Gracias a los sistemas de control y la instrumentación desarrollada en las últimas décadas el ingeniero de proceso puede controlar fácilmente los tiempos y las temperaturas durante el proceso garantizando que la pieza cumplirá con las especificaciones dictadas por el diseñador y verificadas por calidad.

La principal ventaja del proceso de moldeo por inyección de polímeros, es obtener las piezas finales en un sólo proceso, ya que existen varios elementos que se pueden agregar a un molde que hará posible obtener piezas, que pasarán directamente a formar parte de ensambles o producto terminado, a diferencia del conformado de metales donde es necesario dar acabados finales una vez que son procesados con maquinados o fundición. A nivel industrial esta es una gran ventaja para producir piezas de plástico a un bajo costo.

1.4 Moldeo por inyección

El moldeo por inyección consiste en suministrar una cantidad de plástico previamente fundido a un molde, el molde generalmente es de acero, para que el plástico al ser enfriado adquiera la forma de las cavidades del molde. La industria del plástico utiliza este tipo de proceso debido a las ventajas que presenta cuando la pieza es terminada ya que se obtienen dimensiones precisas y acabados finales que no necesitan un proceso adicional. Las producciones que se obtienen con este proceso son grandes y se consigue gran rapidez para terminar la producción. Los ciclos de inyección oscilan para piezas pequeñas desde un par de segundos a 30 s, y para piezas grandes de 30 s a 90 s, estos tiempos de ciclo dependerán de la condición de la máquina inyectora, complejidad de la pieza, y el tipo de sistema de extracción con el que esté equipado la máquina inyectora variando desde extracción

manual, caída de la pieza inyectada a una banda o extracción automatizada con robot.

La materia prima, se puede conseguir a bajos costos o incluso puede utilizarse material reciclado. Una ventaja de este proceso es la adición de pigmentos en la materia prima antes de que el plástico pase al molde, obteniendo piezas finales de diferentes colores sin la necesidad de pasar por un proceso de pintura, también es posible en esta etapa agregar aditivos al plástico que se adquieren en forma de pellets para conseguir mejores propiedades mecánicas de la pieza inyectada, en ocasiones los aditivos son usados para mejorar la fluidez del plástico que se trabajará.

Al describir el proceso de inyección se tiene que hablar inicialmente de la colocación del material en la tolva de la máquina de inyección posteriormente el material pasará al cañón o barril que es en esta parte donde el material es calentado y transportado al molde, mediante un husillo. Una vez que el material es calentado dentro del barril gracias a la temperatura de las resistencias que rodean el barril de inyección y así mismo a la fricción ocasionada por el movimiento del husillo, el material se encontrará fundido y será inyectado, llenando las cavidades del molde. En la figura 1.5 se presenta el esquema general de una máquina inyectora.

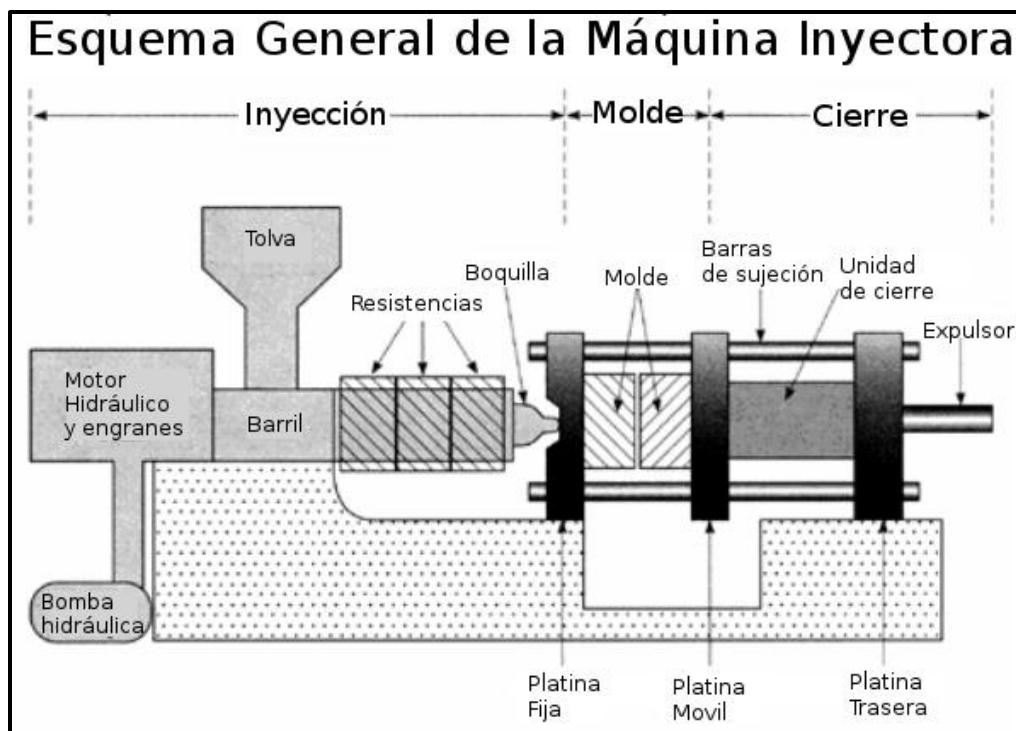


Figura 1.5 Esquema general de la máquina inyectora

Durante la inyección se debe cuidar la temperatura del material ya que si el plástico no tiene una temperatura elevada quedarán algunas partes sólidas ocasionando bloqueos de los puntos de inyección lo que impedirá el llenado por completo de las cavidades. El control de la temperatura de inyección permite obtener un flujo de polímero fundido, en esta parte la viscosidad del polímero juega un papel importante ya que por ser un fluido no newtoniano la viscosidad es función de la temperatura y la tensión cortante aplicada, en el moldeo por inyección la temperatura será programada con un módulo de calefacción que controla la temperatura de las resistencias que rodean el barril de la máquina, figura 1.5, y la tensión cortante aplicada es la velocidad de inyección que se aplica al fluido para llenar la cavidad. [Suhaskulkarni, 2010].

Todo proceso de moldeo por inyección requiere un enfriamiento del molde, que hace posible la extracción de la pieza de las cavidades del molde, esta etapa del proceso de inyección es importante ya que el enfriamiento cambia las dimensiones de la pieza final, debido a un efecto de contracción del plástico al momento de enfriarse. Durante el diseño el ingeniero debe tener presente que el enfriamiento del material implica una contracción de la pieza por lo que la cavidad debe tener un mayor volumen que el de la pieza final, esto para permitir la entrada de mayor cantidad de material y evitar que la contracción afecte las dimensiones finales.

Para resumir el proceso de inyección, se puede hablar de cuatro etapas que conforman el proceso, la primera es el cierre de la máquina de inyección, esta etapa contempla únicamente movimientos mecánicos de cierre de molde, la segunda etapa se genera cuando el material fundido es forzado a entrar al molde de inyección para llegar a la cavidad que será donde se producirá la pieza plástica, la tercera etapa tiene lugar cuando la máquina abre el molde de inyección y finalmente la última etapa se genera cuando la pieza es expulsada fuera del molde de inyección obteniendo el resultado final del proceso de moldeo por inyección.

1.5 Clasificación de moldes

En este trabajo de tesis se tomará como referencia la clasificación según la norma DIN E 16 750, en la cual se clasifica los moldes principalmente por los elementos constructivos que conforman el molde de inyección [Gastrow, 1998].

Molde estándar (molde de dos placas) este tipo de moldes son usados en su mayoría

para piezas sencillas donde la geometría de la pieza tiene secciones transversales o longitudinales continuas y no es necesario elementos auxiliares para extraer la pieza final. En la figura 1.6 se ilustra el molde estándar donde se puede observar que las cavidades están constituidas por dos placas de acero.

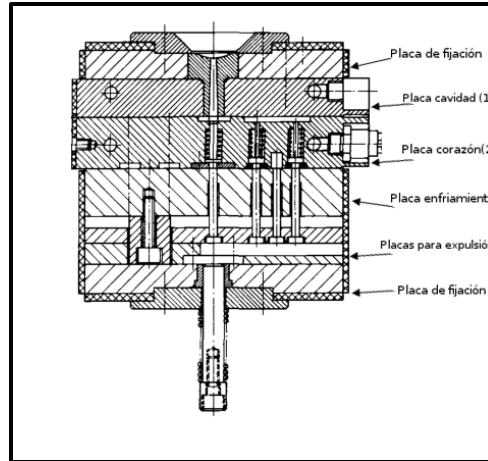


Figura 1.6 Molde estándar. [Gastrow, 1998]

Molde de mordazas (correderas), estos moldes son interesantes al momento de diseñarlos ya que las correderas son partes móviles que se contraen durante la inyección para obtener la pieza y al fin de la inyección se abren para permitir la extracción de la pieza, para evitar romper la pieza al momento de abrir el molde. La figura 1.7 muestra un molde que cuenta con este tipo de sistema para hacer posible la generación de una cuerda interior para la boquilla de goteo, pieza plástica aplicada principalmente en medicamentos.

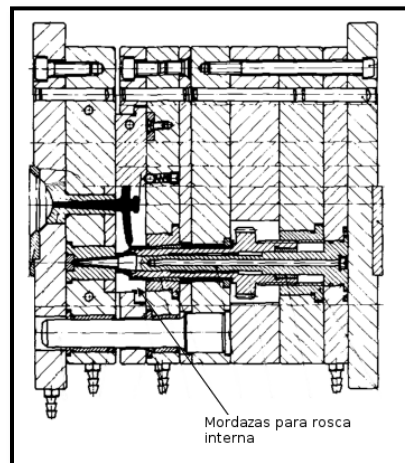


Figura 1.7 Molde de dos cavidades para boquilla de goteo. [Gastrow, 1998]

Molde de extracción por segmentos, este tipo de moldes como su nombre lo indica la extracción de la pieza se realiza en varias fases retirando un segmento de la pieza en cada fase de extracción. En la figura 1.8 se muestra el corte lateral de un molde para producción de cubo en donde las asas del cubo deben emplear extractores (insertos) que permitan el desmoldeo del cubo sin riesgo de ruptura de la pieza moldeada.

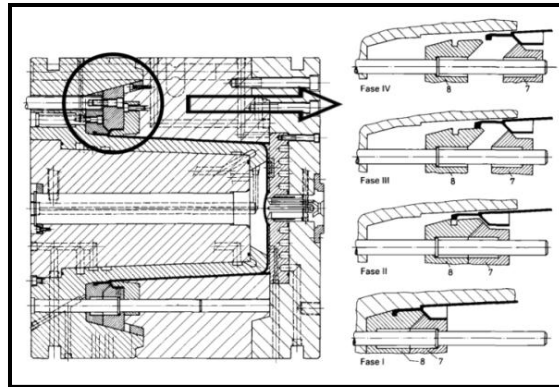


Figura 1.8 Molde de extracción por segmentos. [Gastrow, 1998]

Molde de tres placas, este tipo de molde se compone de varias placas y es utilizado cuando se necesita un segundo plano de separación. En la figura 1.9 se ilustra este tipo de molde, en donde se puede observar que la primer placa será la encargada de conformar la parte superior de la pieza constituyendo en primer plano de separación entre las placas, la segunda placa formará el cuerpo de la pieza y a su vez estará formando el segundo plano de separación entre la segunda y la tercera placa, la tercer placa servirá de base para que el plástico no salga de la cavidad.

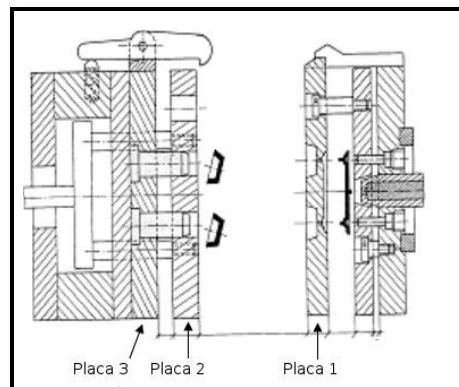


Figura 1.9 Molde de tres placas. [Gastrow, 1998]

Molde de pisos (molde sandwich) este diseño hace posible montar dos moldes en la misma máquina, es decir se colocan dos moldes en serie en el sentido de cierre de la

máquina sin requerir una mayor fuerza de cierre de la máquina. En la figura 1.10 se muestra un molde de pisos que consta de dos cavidades, en este tipo de moldes el sistema de inyección se coloca en la parte central del molde de esta forma será posible el llenado de las dos cavidades, así mismo una de las cavidades deberá permitir el libre paso de la boquilla de la máquina de inyección.

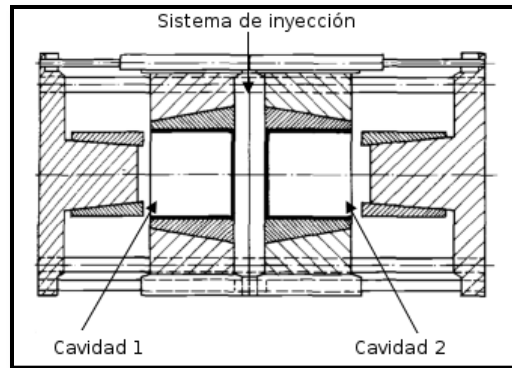


Figura 1.10 Molde de pisos abierto. [Gastrow, 1998]

Molde de canal caliente, en esta variante se cuenta con un canal caliente que distribuye el material a las diferentes cavidades. Se integran diferentes tipos de moldes presentados anteriormente, dependiendo el número de cavidades el molde contará con sistema caliente. Es importante considerar este tipo de moldes con una clasificación por separado independiente de las clasificaciones mencionadas anteriormente ya que equipar un molde con canal caliente tiene varias implicaciones como son: costo de manufactura del molde se incrementa en un 30 %, presentando al mismo tiempo una ventaja en el costo de la producción de la pieza plástica el cual será menor. En la figura 1.11 Se representa el sistema de canal caliente

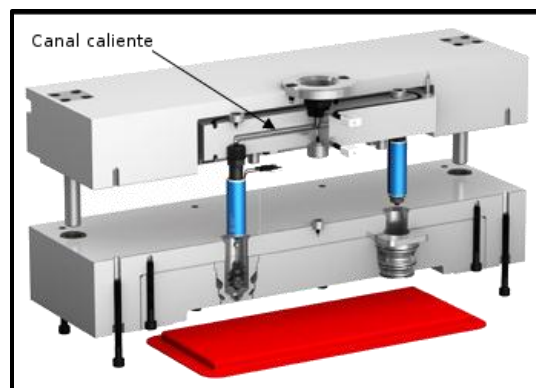


Figura 1.11 Mitad de un molde con canal caliente [Catálogo MHS]

Este primer capítulo muestra el número de empresas dedicadas al desarrollo de moldes, 50 empresas registradas. Lo que permite introducir uno de los principales puntos por lo cual se eligió este tema de tesis. Actualmente existe un déficit de productores de herramientas para la industria de la transformación de plástico, comparado con la cantidad de empresas dedicadas al proceso de inyección en total 1,485 empresas registradas. Esta problemática queda ilustrada en la cantidad de herramientas y maquinaria que esta industria tiene que importar año con año.

Derivado de esta situación en la práctica profesional se han encontrado talleres metalmecánicos que tienen la posibilidad de presentar desarrollos a bajos precios de moldes de inyección, sin tener experiencia en el diseño de moldes de inyección y tampoco en el diseño de sistemas de inyección. Las prácticas que se realizan son reproducir moldes existentes, generalmente desarrollados fuera de México, sin tener en cuenta aspectos de diseño que se presentaran en este trabajo de tesis. Esta situación resulta en moldes de inyección con problemas para producir el producto final, debido a exceso de rebaba, o piezas incompletas.

2 Descripción del proyecto

En este capítulo, se presentan las características de la pieza que se desea moldear, características del polímero aplicado, parámetros iniciales para el diseño del molde a partir de un requerimiento comercial por una compañía dedicada a la producción de silicón, parámetros iniciales de diseño a partir de las características de la máquina de inyección.

2.1 Metodología para el diseño de un molde de inyección

A continuación se presenta la metodología para el diseño de un molde de inyección, se propone dicha metodología como resultado del enfoque que le da la ingeniería concurrente al diseño tecnológico [Carles Riba, 2002], así como la experiencia adquirida en la industria de manufactura de moldes. La ingeniería concurrente plantea tareas paralelas durante el desarrollo tecnológico, permitiendo mejorar tiempos de entrega de proyectos, o tiempos de manufactura. Para el caso de moldes de inyección la metodología que se manejará está dividida en siete subtemas como se muestra en la figura 2.1.

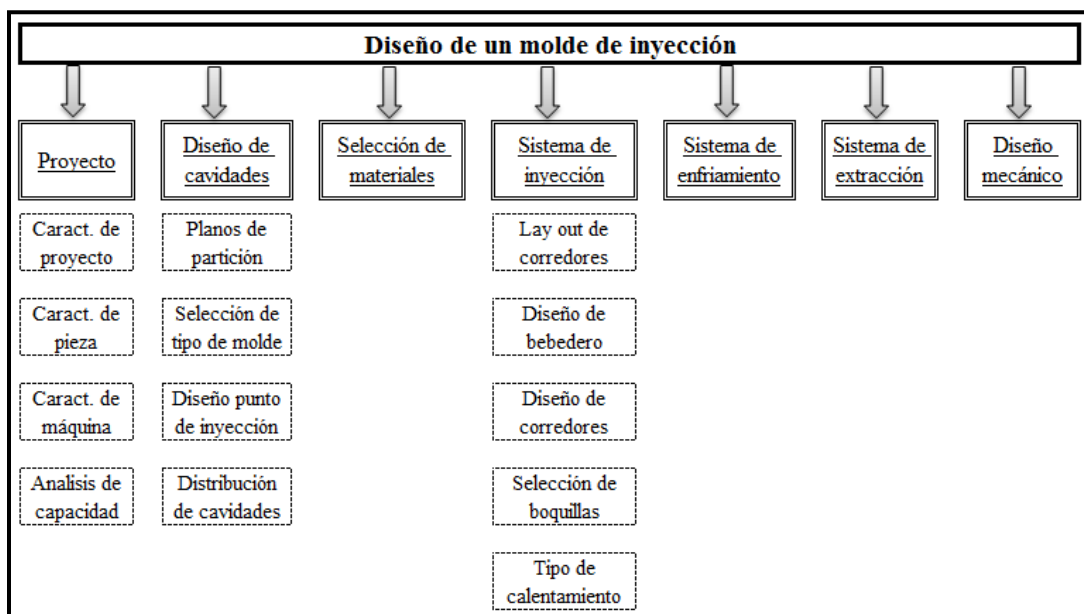


Figura 2.1 Diseño de un molde de inyección

Proyecto

En esta fase se describen los parámetros a partir de los cuales iniciará el proyecto de diseño de un molde de inyección, el cliente acudirá con un proveedor de moldes de inyección para indicar las características del proyecto el cual inicia con las necesidades de inyectar una pieza plástica, dependiendo el número de piezas plásticas a producir (volumen de producción) se determinará el número de cavidades y en cuanto tiempo requiere iniciar la producción (tiempo de entrega). Las características de la pieza deberán ser especificadas por el cliente incluyendo, el tipo de plástico necesario, dimensiones de la pieza, peso estimado de la pieza.

El cliente debe indicar el tipo de plástico usado para la inyección de la pieza para determinar las dimensiones de los canales de inyección (colada caliente), temperaturas de operación del molde, y variables relacionadas con el enfriamiento, todos estos parámetros en función de las especificaciones del material.

El proveedor de moldes de inyección deberá contar con las características de la máquina inyectora donde será colocado el molde de inyección, esto es importante para evaluar la capacidad de la máquina inyectora y determinar las dimensiones que tendrá el molde de inyección. Esta descripción aplica en términos generales para cualquier proyecto de diseño y construcción de un molde de inyección.

Contando con la información requerida, el fabricante de moldes de inyección hará un análisis en cuanto a la capacidad de inyección, éste análisis consiste en comparación de la capacidad de inyección de la máquina contra el material necesario para llenar las cavidades del molde de inyección, también se incluye análisis de fuerza de cierre, y el análisis de las dimensiones de la maquinaria y altura de molde, esté análisis dimensional de la máquina inyectora será la variable inicial para determinar el tamaño del molde de inyección.

Diseño de cavidades

En este subtema se definirá, a partir de la geometría de la pieza, el número de planos de partición con los que contará el molde de inyección, también en esta etapa se seleccionará el tipo de molde que se diseñará dependiendo principalmente el número de planos de partición y si será equipado con sistema de inyección. El diseño del punto de inyección es incluido en este subtema del diseño de moldes debido a que se requieren

conocer los requerimientos estéticos, acomodo del material que provocará el tipo de punto de inyección, y estas características deben estar alineadas con los requerimientos de la pieza. Por último el diseño de la distribución de las cavidades deberá estar en función del espacio disponible en la máquina de inyección, ya que en caso de no considerar el espacio libre, el molde de inyección no podrá ser usado en la máquina asignada, debido a problemas dimensionales.

Selección de materiales

Esta clasificación en el diseño de molde de inyección, no se tratará en este trabajo de tesis, pero depende principalmente del tipo de plástico a usar, si es corrosivo, la presión que genera y el número de disparos que se deba aplicar garantía contra grietas en el acero lo que determinará el tipo de aleación aplicada para la fabricación del molde de inyección.

Sistema de inyección

Sistema de inyección, este trabajo de tesis se enfoca únicamente en este tema, el cual se ha sugerido dividir el diseño en bebedero, corredores, layout de corredores, boquillas y calentamiento del sistema de inyección. El bebedero, es el conducto por el cual el plástico fundido entrará al sistema de inyección. Seguido de esto se determinaran las dimensiones del diámetro de los corredores así como la longitud de los mismos. El diseño de las boquillas determinará dimensiones, tipo de calentamiento, y forma de sujeción de las boquillas lo que permitirá el paso del material caliente del corredor al punto de inyección, al final de este diseño se determinará la cantidad de calor que será necesario suministrar al sistema para permitir que el plástico fundido fluya dentro del mismo.

Sistema de enfriamiento

En cualquier diseño de molde de inyección el sistema de enfriamiento es necesario para garantizar disipar el calor proveniente del plástico fundido, en cada ciclo de inyección el plástico calentará el acero que forma la cavidad, por ello detrás de las cavidades se barrena el acero para generar circuitos de enfriamiento por los cuales fluirá agua.

Sistema de extracción

El sistema de extracción o expulsión sirve para garantizar la salida de la pieza plástica ya moldeada, del molde de inyección sin riesgo de ruptura o daños superficiales.

Diseño mecánico

El diseño mecánico incluye el cálculo de los esfuerzos mecánicos a los que estará sometido el acero del molde de inyección, provocados por la inyección del material, cierre del molde, en este subtema se determinan los espesores con los que contarán los elementos que soportarán dichos esfuerzos mecánicos.

2.2 Características del proyecto

Este proyecto de tesis nace como resultado del requerimiento de una empresa comercializadora de silicón. La empresa, ubicada en el estado de Querétaro acude a una empresa familiar dedicada a la venta y fabricación de moldes de inyección con la intención de ampliar la capacidad actual de producción de émbolo para tubo contenedor de silicón. Debido a que en anteriores proyectos, el cliente, había comprado moldes de inyección, los cuales tardaban 3 meses posteriores a la fabricación en entrar en producción, por correcciones de fallas en el sistema de inyección, los problemas que se presentaban era mal llenado de la pieza o rebaba. Debido a esta situación se propone al cliente trabajar el diseño del sistema de inyección, por separado del diseño del molde. Dicho sistema de inyección ayudará en el llenado de las cavidades eliminando los problemas con el llenado de la pieza o rebaba.

Debido a que el cliente, adquirió un molde importado para la inyección de tubo contenedor de silicón, de 10 cavidades, la capacidad de producción de tubo fue ampliada por esta razón, el cliente señala la necesidad de obtener un molde de inyección para la producción del émbolo, sustituyendo el molde actual de émbolo de 18 cavidades por uno nuevo. Dicho molde de inyección de émbolo presentaba ineficiencias por paros de producción por puntos de inyección tapados, tiempo ciclo elevado, entre otros.

El proyecto presentado consiste en el diseño de un sistema de inyección para mejorar la eficiencia del molde. Este sistema de inyección será diseñado para ser adaptado a un molde de inyección de 24 cavidades, solicitado por el cliente.

En la primera etapa del diseño de un molde de inyección es necesario conocer las características de la pieza, fechas en que el molde de inyección requiere ser entregado, maquinaria asignada para el molde de inyección, y parámetros de moldeo del material de la pieza plástica. En los siguientes subtemas se presenta la asignación de la maquinaria, el tipo de material usado en el émbolo, y dimensiones del émbolo.

2.3 Características de la pieza a inyectar

La pieza que el cliente desea fabricar es un émbolo para tubo contenedor de silicón. El silicón es un polímero compuesto principalmente de silicio, tiene diferentes aplicaciones debido a su estabilidad a altas temperaturas, es usado como lubricante, adhesivo, impermeabilizante, entre otras aplicaciones. La aplicación que usa el cliente, es como adhesivo y sellador de ventanas, por lo que en el recipiente que el silicón se encuentra como fluido dentro del tubo, y es necesario emplear el émbolo para que pueda ser aplicado. En la figura 2.2 se puede observar el émbolo y el tubo contenedor de silicón.



Figura 2.2 Representación del tubo contenedor de silicón, y del émbolo

El material plástico con el que se inyecta el émbolo es HDPE, polietileno de alta densidad, éste material es seleccionado por el cliente, en la tabla 2.1 se presentan las características del émbolo.

Tabla 2.1 Características del émbolo.

Características del émbolo	
Material	HDPE (polietileno alta densidad)
Diámetro exterior	47.18 mm
Altura	18.8 mm

Espesor de pared	1.26 mm
Radio interior	70 mm
Peso	5 g

En la figura 2.3 se muestran cada una de las partes que conforman el émbolo. Los refuerzos sirven para dar rigidez al émbolo en la parte superior y tienen el mismo espesor de pared que el émbolo, los anillos sirven de sello para evitar fugas del material contenido en el tubo. Tanto los refuerzos y anillos no son de importancia para el diseño del sistema de inyección por lo que únicamente se definen como parte de los componentes del émbolo. El diseño del sistema de inyección únicamente se enfoca en peso de la pieza, volumen, temperaturas de inyección del material, y velocidad cortante a la que estará sometido el material durante la inyección.

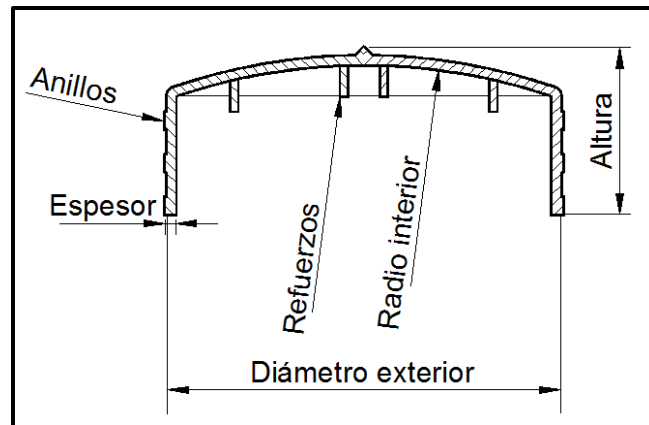


Figura 2.3 Corte lateral del émbolo indicando cada una de las partes que lo conforman

Debido a que el émbolo se inyectará con material HDPE se necesita conocer los parámetros de temperatura recomendados para el moldeo del mismo material. Los parámetros recomendados de temperatura de inyección, recomendados por el fabricante de la resina, se usarán para el cálculo eléctrico de la potencia necesaria que se suministrará al sistema de inyección para garantizar que el plástico fluya correctamente. En la tabla 2.2 se presentan los parámetros de moldeo recomendados por el fabricante del HDPE.

Tabla 2.2 Parámetros de moldeo recomendados para HDPE [Lyon Dell Company].

Temperaturas de moldeo para el HDPE	
Temperaturas de barril	
Atrás	232 °C

Centro	243 °C
Enfrente	246 °C
Boquilla	244 °C
Rango de temperatura de fusión	246 – 280 °C

2.4 Características de la maquinaria

El proyecto se centra en el diseño de un molde de inyección de 24 cavidades, equipado con sistema de colada caliente, permitirá grandes volúmenes de producción disminuyendo el retrabajo ocasionado por el molido de material, en caso de no contar con sistema de colada caliente.

El primer trabajo que necesita realizar el ingeniero encargado del diseño del molde es conocer las dimensiones de la máquina donde el molde de inyección producirá, esto se debe principalmente a dos restricciones, la primera será la altura de molde, es la distancia la cual la máquina de inyección tiene la capacidad de cerrar es decir es la carrera mínima de cierre, una distancia o altura menor de molde creará conflictos en la máquina de inyección en caso de poder reprogramar esta altura, en otros casos será imposible el cierre del molde debido a la restricción física de la carrera de cierre.

La segunda restricción será la distancia entre barras de la máquina de inyección, esta es la distancia de las barras donde la platina móvil se mueve, esta distancia es una restricción para el tamaño del molde. En la tabla 2.3 se presentan las especificaciones de la máquina inyectora.

Tabla 2.3 Especificaciones de la máquina de inyección

Especificaciones de máquina Vintage de 300 TON	
Tonelaje de cierre	300 Ton
Capacidad de inyección (GPPE)	50 oz
Distancia horizontal entre barras	609 mm
Distancia vertical entre barras	609 mm

Altura de platinas	914mm
Ancho de platinas	914 mm

El cliente previamente asignó una de sus máquinas de inyección para la producción del émbolo, en la figura 2.4 se muestra la máquina inyectora asignada.



Figura 2.4 Fotografía de la máquina inyectora asignada

De la tabla 2.3 el dato que es necesario para determinar las dimensiones que podrá tener el molde de inyección es la distancia entre barras. El área de trabajo máxima será de 609 X 609 mm es decir el molde deberá estar contenido en este espacio.

2.5 Análisis de capacidad

Los cálculos presentados en esta sección servirán al ingeniero de procesos encargado de generar la pieza plástica. Estas operaciones son sencillas debido a que en esta sección se busca únicamente determinar si el molde que se tiene pensado podrá funcionar en la máquina de inyección la cual se tiene asignada. El criterio de funcionamiento se debe a dos cosas: el primer criterio es conocer si la máquina de inyección será capaz de soportar la fuerza generada por la presión que el polímero ocasionará al entrar a la cavidad del molde, resultando en una tendencia a la apertura del molde, será entonces cuando la máquina de inyección deberá tener una mayor capacidad de fuerza de cierre que la fuerza generada por el polímero al entrar a la cavidad. El segundo criterio es conocer si el tamaño de plástico

inyectado será capaz de llenar todas las cavidades del molde, esto es que la capacidad de dosificación de la máquina sea mayor que el peso de la pieza plástica.

Para determinar el primer criterio en cuanto a la fuerza de cierre de la máquina se tiene el siguiente cálculo, basado en la ley de Pascal:

$$F = A \cdot X$$

En esta ecuación la F es la fuerza de reacción generada por la presión de inyección, la A será el área proyectada de la pieza perpendicularmente al punto de inyección, y la X es una constante para materiales elásticos de 2 Ton / in².

$$F = (65 \text{ in}^2 * 2 \text{ ton} / \text{in}^2) = 130 \text{ Ton}$$

Esta fuerza de cierre es menor a la capacidad total de la máquina de inyección, en la tabla 2.3 se puede observar que la máquina de inyección asignada a este proyecto es de 300 TON.

Otro parámetro que restringe la selección de maquinaria así como las características del molde es el tamaño de dosificación de la máquina de inyección. Para un cálculo rápido se comparará el tamaño de dosificación con el material necesario inyectar en cada disparo, el cual serán los 5 g, por 24 cavidades y un 30% de material adicional debido al uso de colada caliente que en cada disparo será necesario llenar antes de que el material pase a las cavidades.

En el siguiente cálculo se puede determinar la cantidad necesaria de plástico a inyectar: (24 cav, 5 g/cav) = 120 g *1.3 = 156 g. En la tabla 2.3 se observa que la capacidad de dosificación de la máquina de inyección son 50 oz, es decir 1.5 kg, suficiente para satisfacer los 156 g necesarios para el proyecto actual.

3 Diseño de cavidades

En este capítulo, se presentarán los criterios para la ubicación del punto de inyección, así como el número de líneas de partición. En esta primera etapa del diseño del molde se determinará el tipo de molde, es decir las placas de acero necesarias para la fabricación del molde.

3.1 Planos de partición

Los planos de partición de un molde de inyección son el contacto temporal que existe entre dos bloques de acero, dichos bloques contienen el plástico fundido dentro de la cavidad durante el ciclo de moldeo por inyección. El resultado de este contacto temporal es una delgada línea plástica en los contornos de la pieza moldeada, esta línea se llama comúnmente línea de partición y en ocasiones cuando existe exceso de material es llamado flash. El número de líneas de partición en la pieza dependerá de la complejidad geométrica de la misma. En este capítulo se hará referencia de *la pieza moldeada* refiriéndose al émbolo.

Los planos de partición tienen dos funciones, la primera es sellar completamente la cavidad del molde de inyección para obtener la pieza moldeada, la segunda función es permitir la extracción de la pieza del molde sin problemas de rompimiento de la pieza moldeada. Ejemplo de la segunda función son los moldes de extracción por segmentos, en casos donde la pieza plástica tiene clips integrados para ensamble, cada plano de partición liberará un segmento de la pieza para obtener la pieza libre de daños.

Para determinar el número de planos de partición necesarios se debe tener en mente la geometría de la pieza y colocarla imaginariamente en lo que será el molde de inyección, el primer paso para ubicar la pieza en el molde es colocar la superficie con mayor área, paralela al movimiento del molde. En la figura 3.1 se ilustra la colocación de la pieza en el sentido de apertura, considerando la superficie con mayor área que es la parte superior del émbolo.

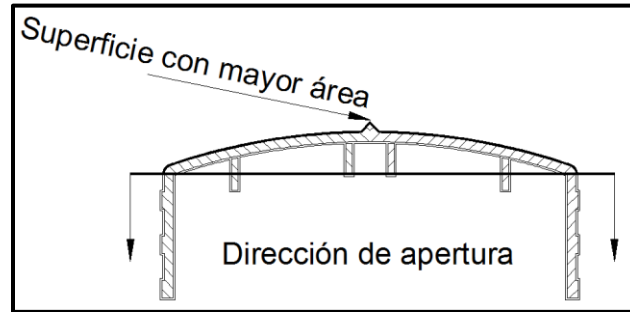


Figura 3.1 Diagrama de dirección de desmoldeo propuesto

Primer propuesta, un plano de partición

Colocada la pieza en el sentido de apertura del molde, se recomienda dividir la pieza en secciones, tomando como criterio de división el cambio de geometría que pueda existir en la pieza moldeada. En este caso se puede identificar que el émbolo está constituido por un cilindro y una circunferencia, estas dos secciones en la pieza moldeada ayudarán a definir el número de planos de partición necesarios para permitir el desmoldeo de la pieza.

Teniendo en cuenta estos dos segmentos del émbolo, se propone que el molde contará con un plano de partición en el cambio de sección de cilindro a esfera, sin embargo, al observar los costados del émbolo se cuenta con dos anillos, mismos que podrían ocasionar rompimiento de la pieza si solamente se diseñara el molde con un plano de partición. En la figura 3.2 se ilustra el plano de partición uno.

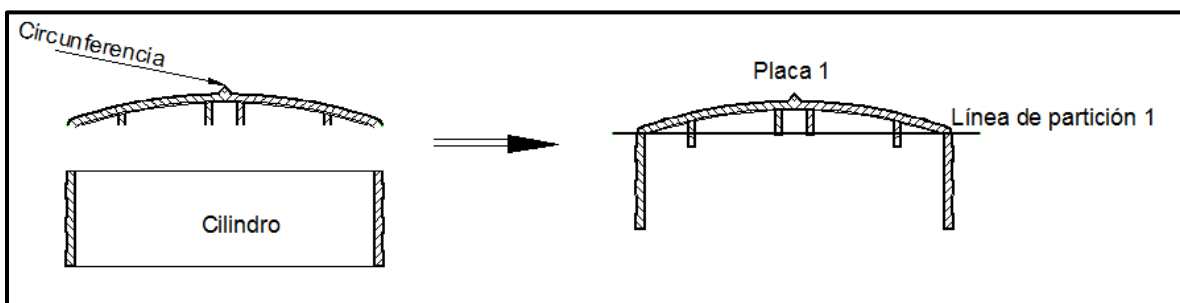


Figura 3.2 Primer plano de partición

Después de haber propuesto una línea de partición se debe analizar cómo funcionará la expulsión de la pieza con esta primera condición. En la figura 3.3 se presenta la forma en que funcionará la expulsión de la pieza con una línea de partición.

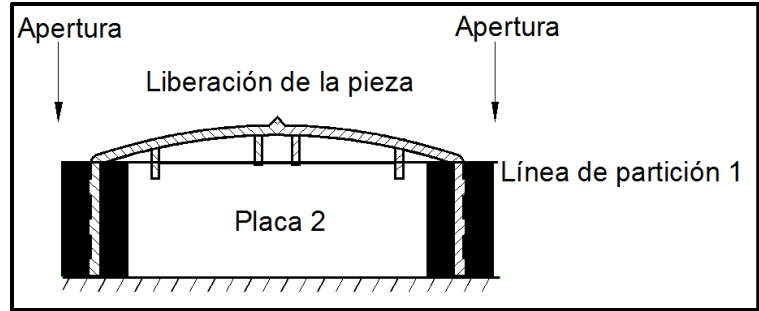


Figura 3.3 Funcionamiento de expulsión de la pieza con una línea de partición

En la figura 3.3 se indica la dirección de apertura del molde, como se presentó al inicio de la sección 3.1 un plano de partición es el contacto momentáneo entre dos placas por lo que al momento de la apertura del molde sucederá la liberación de la pieza en la parte superior como está mostrado en la figura 3.3. Sin embargo, se puede observar que la pieza (émbolo) quedará atrapada en segunda placa de acero, por existir paredes fijas que no permitirán la salida de la pieza por contar con anillos laterales. Esta propuesta no es viable por lo que se realizó una segunda propuesta agregando una línea de partición.

Segunda propuesta, dos planos de partición

Para evitar problemas de rompimiento de la pieza moldeada se propone un segundo plano de partición como se muestra en la figura 3.4. Éste plano de partición ayudará en la liberación de la pieza ya moldeada.

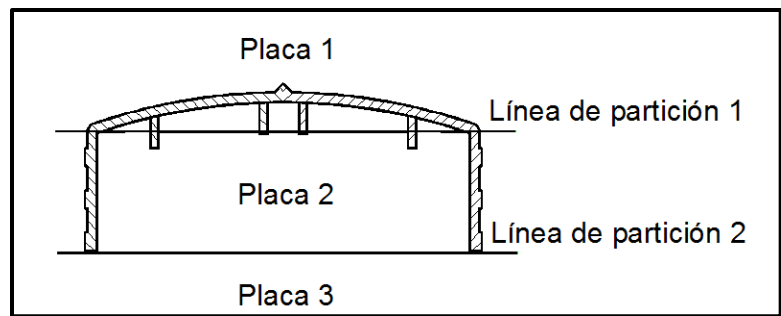


Figura 3.4 Placas propuestas para el diseño del molde de inyección

Después de haber propuesto dos líneas de partición se debe analizar cómo funcionará la expulsión de la pieza con esta segunda condición. En la figura 3.5 se presenta la forma en que funcionará la expulsión de la pieza con dos líneas de partición.

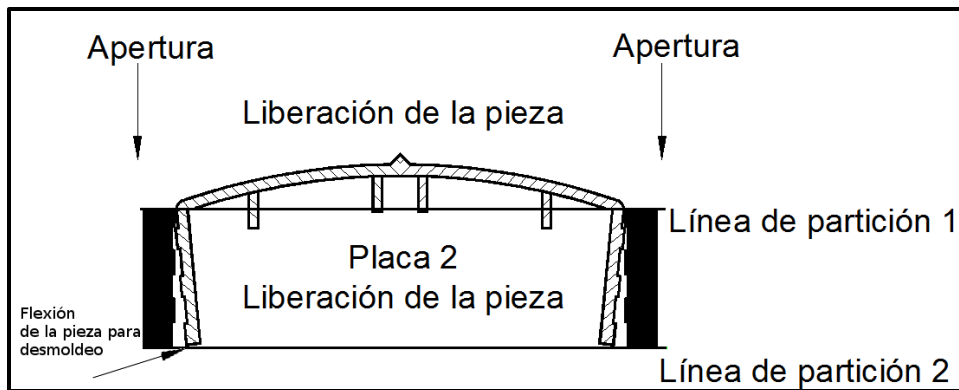


Figura 3.5 Funcionamiento de expulsión de la pieza con dos líneas de partición

En la figura 3.5 se muestra la forma en que el émbolo se flexionará un poco al ser expulsada, el objetivo de colocar una segunda línea de partición es permitir la liberación totalmente de la segunda placa para lograr la flexión del émbolo. Esta flexión se debe a la acción del perno botador al empujar la pieza en el sentido contrario al sentido de apertura.

3.2 Selección de tipo de molde

En la fabricación de moldes de inyección cada plano de partición es formado por dos bloques de acero que entrarán en contacto, esta condición define el número de placas de acero con las que contará éste molde de inyección. El molde de inyección para émbolo consta de dos planos de partición requiriendo el uso de tres placas de acero que entrarán en contacto para formar las cavidades.

En la clasificación de moldes de inyección del primer capítulo, sección 1.5, se habló de un molde de inyección de tres placas, ésta clasificación toma como criterio el número de placas que conforman las cavidades. En su totalidad el molde consta de 8 placas de acero, en los extremos del molde se usan dos placas a manera de portamoldes (soporte), una placa para el sistema de inyección, una placa para el sistema de expulsión, una placa para el sistema de enfriamiento, y las tres placas de las cavidades. En la figura 3.6 se ilustra este tipo de moldes.

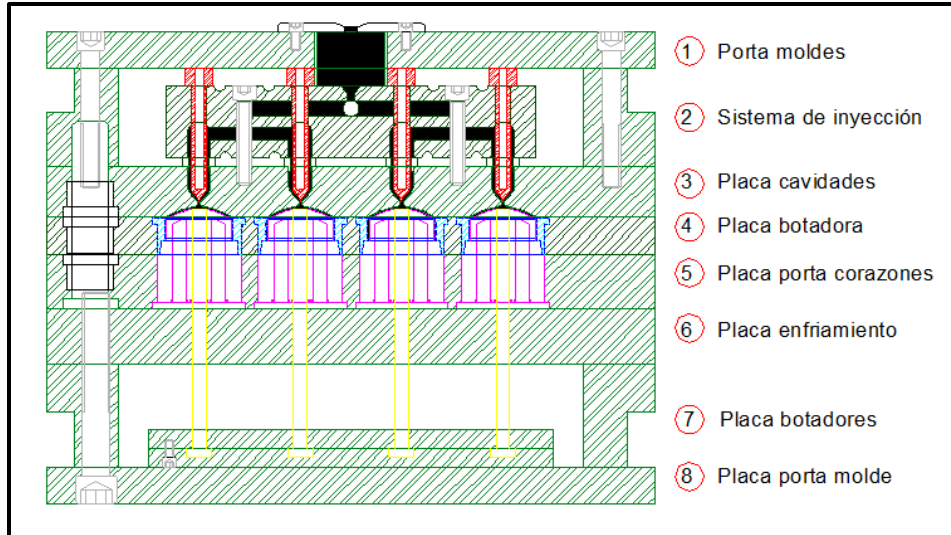


Figura 3.6 Molde de tres placas

En resumen el tipo de molde usado en este trabajo de tesis es un molde de tres placas equipado con sistema de inyección de colada caliente. En la figura 3.6 se puede observar la totalidad de placas que conforman el molde de inyección. Sin embargo, este trabajo de tesis se enfoca únicamente a la placa número dos identificada como sistema de inyección.

3.3 Diseño punto de inyección

El tipo de punto de inyección es seleccionado por dos razones, motivos económicos, y motivos estéticos. Los puntos de inyección se clasifican en dos, el punto redondo existiendo variantes de este punto debido a la forma que podrá tener de un túnel, o también por la colocación en la pieza moldeada punto directo o indirecto. Y el punto de forma rectangular o trapezoidal, dividiéndose en abanico o de película. La importancia del tipo de punto de inyección radica en la orientación del material deseada, resultando en mejor calidad estética de la pieza moldeada. Debido a que en esta aplicación la orientación del material no tendrá efectos en la estética de la pieza y el criterio de calidad para esta pieza es estar dentro de dimensión y peso, se selecciona el punto redondo ya que será económico aplicar este tipo de punto de inyección para la construcción del molde. Para la manufactura del punto redondo es necesario una operación de barrenado, mientras que para la manufactura del punto rectangular o trapezoidal, son necesarias varias operaciones de maquinado, estas operaciones aumentan el costo en la aplicación de cualquiera de los dos puntos de inyección. En la figura 3.4 se representan estos dos tipos de puntos de inyección.

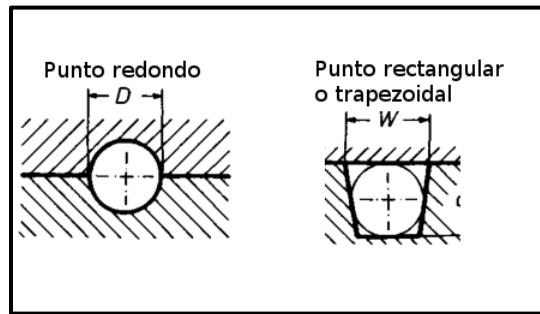


Figura 3.7 Tipos de puntos de inyección. [Georg Menges, 2000]

La ubicación del punto de inyección será en la parte superior de la pieza moldeada, émbolo, debido a que ésta es la sección más gruesa de la pieza garantizando que el flujo de material será en dirección de la sección más gruesa hacia la más delgada, obteniendo un flujo uniforme presentando la ventaja del barrido de gases hacia la parte exterior de la cavidad.

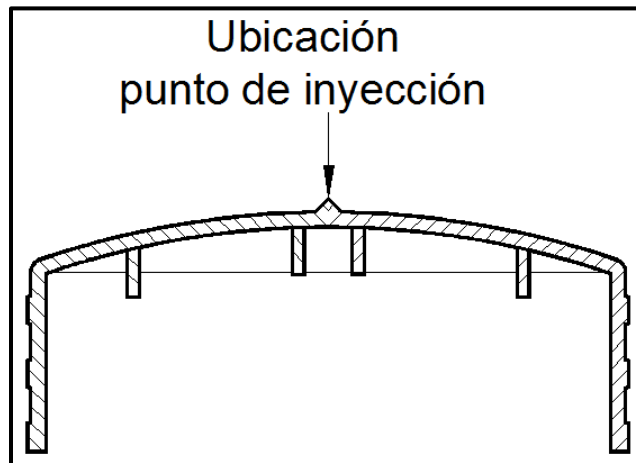


Figura 3.8 Ubicación del punto de inyección

Primer propuesta del punto de inyección

Con la información presentada, se define que el punto de inyección debe estar ubicado en la parte central superior del émbolo, se propone un punto de inyección redondo, directo al émbolo, conociendo las características generales del punto de inyección falta determinar la dimensión que tendrá el diámetro del punto de inyección.

Cálculo de la dimensión del punto de inyección

El tamaño del punto de inyección será importante ya que pequeños puntos de inyección provocan caída de presión y aumentan el esfuerzo cortante. Por lo que las reglas empíricas dictan que el diámetro del punto de inyección debe ser al menos 60% el espesor de la pared principal (pág. 36 GE design guide, 1997) preferentemente mayor, ya que un diámetro menor disminuye los efectos de la presión de empaque, segunda etapa de la inyección. Los cálculos que se hacen para diseñar los puntos de inyección son basados en las recomendaciones de fabricantes o en catálogos de proveedores de sistemas de inyección. En este trabajo se considerará para el cálculo de la dimensión del punto de inyección la fórmula del flujo de Poiseuille.

Para determinar que la presión de inyección estará dentro de un rango aceptable para evitar dañar el material plástico o cambiar su composición química (degradación) se calcula la velocidad cortante de operación del plástico dependiendo el tiempo de inyección (1 segundo determinado por el cliente) diámetro del punto de inyección, peso de la pieza, fórmula 1:

$$\dot{\gamma} = 32 \frac{\dot{v}}{\pi d^3}$$

De la ecuación anterior se tiene que el esfuerzo cortante será igual a un factor 32 por tratarse de un fluido no Newtoniano, multiplicado por el gasto volumétrico dividido entre el número *PI* por el diámetro al cubo.

Despejando esta fórmula para obtener el diámetro del punto de inyección se tiene lo siguiente:

$$d = \sqrt[3]{32 \frac{\dot{v}}{\pi \dot{\gamma}}}$$

Donde la velocidad de corte permitida para el HDPE es 5,000 (1/s) y la densidad del HDPE es 0.945 g/m³ [Polybridge calculator, 2014]

El volumen necesario que será inyectado es el peso de la pieza 5g sobre la densidad del material, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$v = \frac{5 \text{ g}}{0.945 \text{ g/cm}^3} = 5.29 \text{ cm}^3$$

Sustituyendo los valores en la fórmula 2 se obtiene el siguiente valor:

$$d = \sqrt[3]{32 \frac{5.29 \text{ cm}^3 \frac{1}{1s}}{3.1416 (5,000 \frac{1}{1s})}} = 0.22 \text{ cm} = 2.2 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo necesario será de 2.2 mm, para disminuir la presión de inyección se recomienda aumentar 10% al valor calculado por lo que el diámetro final del punto de inyección será de 2.4 mm.

3.4 Distribución de las cavidades

Una vez conocida la necesidad del cliente, en cuanto al número de cavidades que tendrá el molde de inyección, y también tomando en cuenta la restricción de dimensiones que se tiene debido a las dimensiones de la máquina de inyección se propondrá la distribución de las cavidades.

En esta distribución se considerarán dos bloques de cavidades, cada uno contará con 12 cavidades esto con la finalidad de evitar problemas durante la inyección y facilitar el balanceo de las cavidades y los corredores calientes de la cámara caliente. El balanceo de un molde de inyección es necesario para que durante la inyección el polímero fundido se distribuya homogéneamente y cada cavidad se llene de material fundido en la misma proporción. En la Figura 3.9 se tiene el arreglo matricial que se usará para el molde de inyección, éste arreglo matricial se presenta en dos bloques. La distancia de separación entre los elementos del arreglo matricial es 70 mm entre centros.

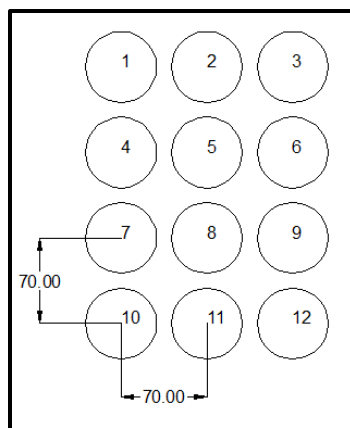


Figura 3.9 Arreglo matricial de 12 cavidades cada elemento separado 70 mm entre centros.

El segundo bloque de cavidades estará separado del primer bloque 80 mm entre centros en el eje horizontal como se muestra en la figura 3.10.

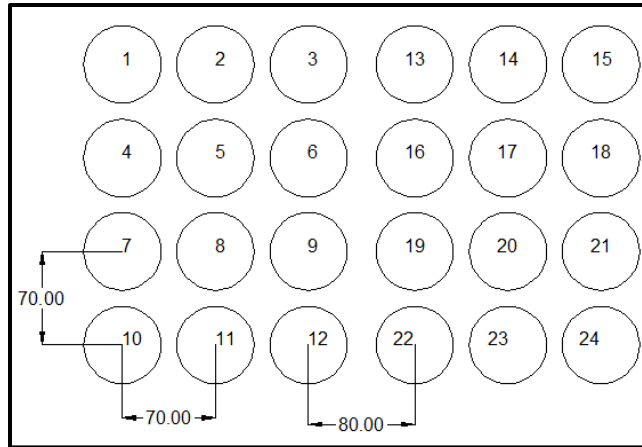


Figura 3.10 Dos arreglos matriciales de 12 cavidades cada uno separados 80 mm

Para determinar las dimensiones que tendrá el molde, se deberá considerar una placa de acero que debe contar con espacio libre para la colocación de tornillos, sistema de centraje y demás elementos que permitirán operar el molde de inyección. Para calcular esta distancia se toma el área de trabajo de las cavidades como se muestra en la figura 3.11.

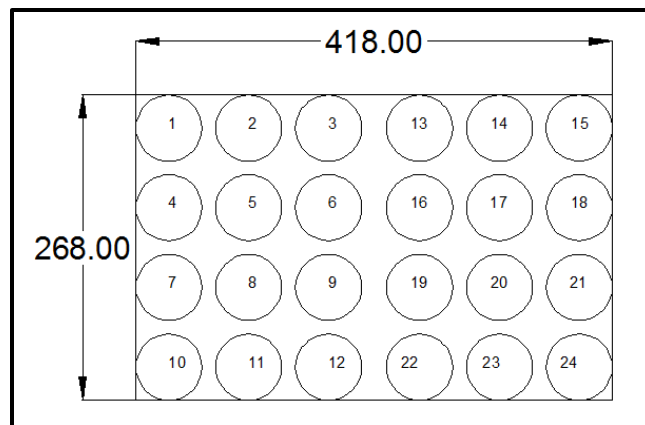


Figura 3.11 Área de trabajo disponible

El área de trabajo donde se ubicarán las cavidades es un rectángulo imaginario de 418 mm por 268 mm. Para determinar la dimensión total del molde se recomienda tomar el rectángulo del área de trabajo y aumentar de un 20% a un 30% la dimensión del rectángulo para obtener el tamaño total de la placa de acero que se usará para insertar las cavidades.

En este trabajo se propone en el eje horizontal aumentar 24% el área de trabajo y en el eje vertical aumentar un 37% el área de trabajo para llegar a una placa de acero de 550 mm por 420 mm como se muestra en la figura 3.12.

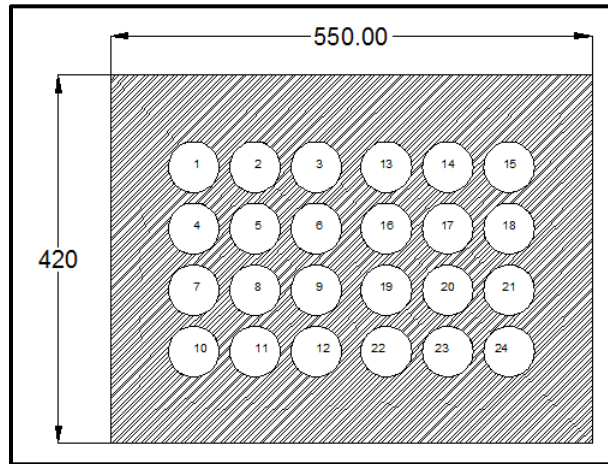


Figura 3.12 Dimensiones de placa de acero

El espacio extra propuesto servirá para ubicar tornillos y pernos guía para sostener y centrar la placa de las cavidades.

La última actividad en la fase de proyecto es la comparación de las dimensiones del molde contra la distancia entre barras, el criterio de aceptación será el molde contenido dentro del espacio libre entre las barras de la máquina inyectora. En la figura 3.13 se muestra la placa de acero previamente propuesta dentro del espacio libre del espacio entre barras de la máquina inyectora. Esta dimensión está contenida en el espacio de trabajo indicado en la tabla 2.3.

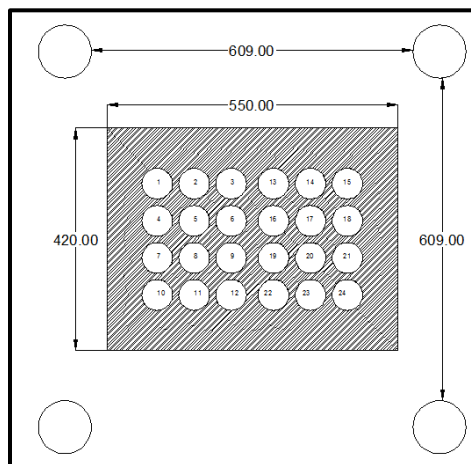


Figura 3.13 Comparación de dimensiones de molde contra distancia entre barras

En este capítulo se habló del proyecto que una empresa de moldes necesitará presentar al momento de vender un molde de inyección. En el momento de la negociación de la compra de un molde de inyección el cliente necesita saber datos generales del molde de inyección que fueron presentados de manera general en este capítulo, a continuación se enumera la información generada en la primera etapa de diseño, denominada proyecto:

1. Proyecto: molde de inyección para émbolo (únicamente se habla del sistema de inyección en este trabajo de tesis)
2. Pieza: émbolo para tubo contenedor de silicón, inyectado en material HDPE, con un espesor de pared de 1.26 mm y un peso de 5 g.
3. Molde: molde de tres placas, con 24 cavidades, equipado con sistema de inyección con colada caliente.
4. Máquina requerida: Fuerza de cierre mínima 130 US Ton, capacidad de dosificación 156 g

4 Sistema de inyección

En este capítulo se desarrolla la propuesta de diseño del sistema de inyección, dicha propuesta fue proporcionada al diseñador del molde de inyección para poder adaptar el sistema de inyección al molde de inyección. Dicho sistema permitirá manejar fuerza de cierre menor, tiempo ciclo menor y la vida útil del molde de inyección será mayor; además representa un ahorro del 6% del costo total del molde.

4.1 Descripción del sistema de inyección con colada caliente

Los sistemas de inyección con colada caliente, son sistemas de corredores (canales de distribución) con temperatura controlada, instalados en moldes de inyección, que sirven para la distribución de plástico fundido, desde la boquilla de la máquina inyectora a las diferentes cavidades que conforman el molde de inyección.

En la figura 4.1 Se ilustran las partes que componen un sistema de inyección con colada caliente.

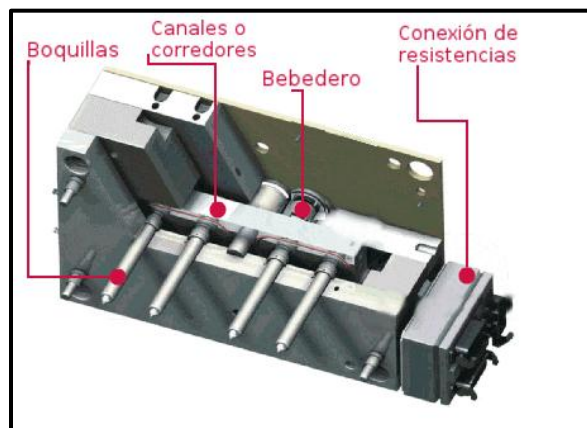


Figura 4.1 sistema de inyección con colada caliente

El bebedero es donde el material entrará al sistema de inyección, el bebedero estará en contacto con la boquilla de la máquina de inyección.

Los corredores o canales calientes, son los conductos por los cuales el material

fundido será distribuido, pueden existir diferentes arreglos de corredores, en uno o varios niveles, y se diferencian entre corredores principales o secundarios, los corredores principales son los que llevarán el material directamente del bebedero a los corredores secundarios. Y los corredores secundarios estarán en contacto con las boquillas del sistema de inyección, en la figura 4.2 se ejemplifica una colada fría junto con la pieza inyectada.

Las boquillas tienen la función de conectar los corredores con los puntos de inyección, una característica para identificar a las boquillas es la posición que tienen en el sistema de inyección, ya que serán paralelas al bebedero y también son perpendiculares a los corredores.

Las resistencias, sirven para proporcionar calor al sistema, de esta forma el sistema se encontrará a alta temperatura para garantizar que el material plástico fundido llegue a las cavidades a la temperatura de fusión y no empiece a solidificar antes de tiempo.

Ventajas del sistema de inyección con colada caliente

Eliminación de colada fría, la colada fría es el material desperdiciado para llenar las cavidades en moldes que no cuentan con inyección con colada caliente. Esta colada fría al final del proceso de inyección es material desperdiciado que deberá ser molido para poder reciclarlo y no tener pérdida de material. En términos prácticos éste desperdicio generalmente es de un 20 a 50% del peso total de la pieza inyectada.

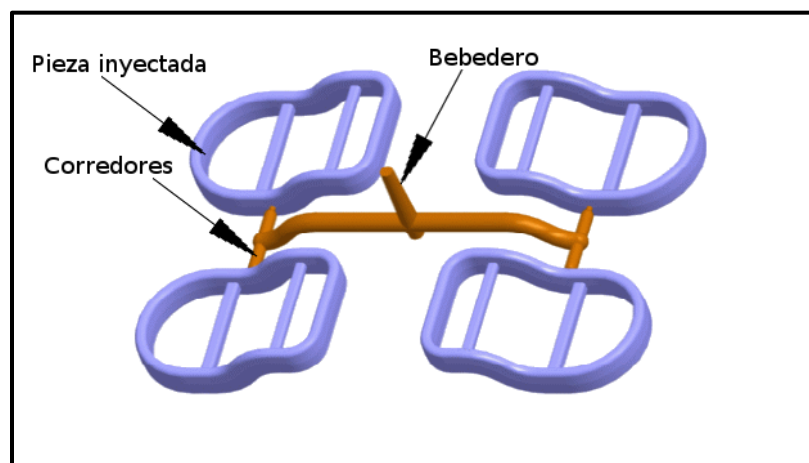


Figura 4.2 Ejemplo de colada fría con la pieza inyectada

Reducción del tiempo de ciclo, el tiempo de enfriamiento es menor porque se enfocará únicamente en enfriar la pieza inyectada, de otra manera en caso de existir la colada fría, el tiempo de enfriamiento aumentará porque también se tendrá mayor tiempo asociado al enfriamiento de la colada fría.

Mejora la eficiencia del molde de inyección, al arranque de producción el tiempo de inicio de producción se ve mejorado, porque el sistema de inyección con colada caliente requiere de 5 a 10 min de precalentamiento, sin embargo, cuando existe la colada fría, tomará de 10 a 20 min calentar el bebedero con el calor generado por la máquina de inyección.

Mejora la calidad de la pieza inyectada, el sistema facilita el llenado de la cavidad del molde, debido a que las pérdidas de temperatura y presión ocasionadas por la colada fría son eliminadas cuando se cuenta con colada caliente. Resultando en beneficios como consistencia en las dimensiones de la pieza de un disparo a otro, menor riesgo por generación de flash.

Clasificación del sistema del sistema de inyección con colada caliente

Los sistemas de colada caliente se clasifican de acuerdo al tipo de calentamiento que se usa. El tipo de calentamiento puede ser interno o externo. El calentamiento de los canales calientes es posible gracias a sistemas eléctricos que se componen de resistencias eléctricas de cartucho, de cinta, tubular, o bobinas. Las resistencias comerciales operan con una tensión de 220 a 240 V, existiendo resistencias de diferentes potencias. En la figura 4.1 se ilustra la configuración de cada una de las clasificaciones, en el caso de calentamiento interno la resistencia proporcionará calor desde la parte interna del acero mientras que el polímero estará contenido en un canal externo de la placa de acero. En el caso de calentamiento externo, el polímero estará contenido en un canal interno a la placa de acero y la resistencia rodeará la placa de acero para proporcionar calor desde la parte externa.

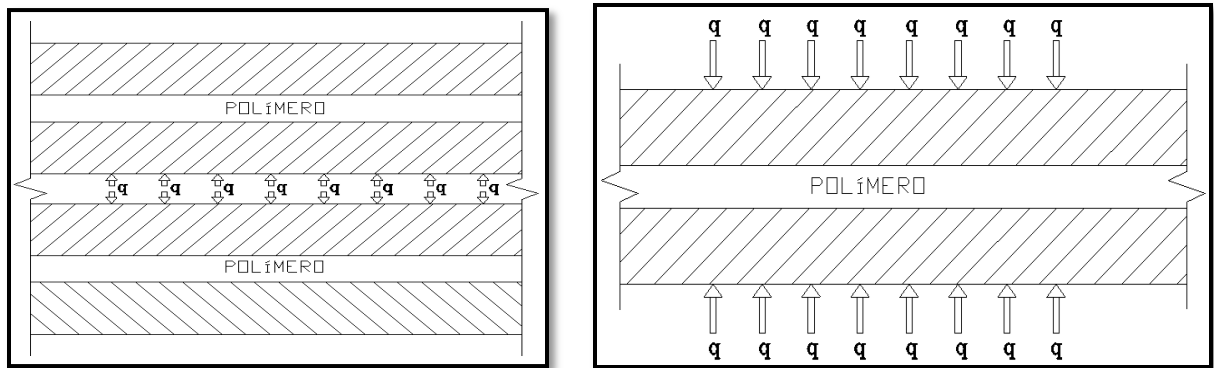


Figura 4.1 a) Calentamiento interno, b) calentamiento externo

La diferencia física que existe entre estos dos tipos de calentamientos es la colocación de la resistencia eléctrica para calentar la placa de acero, sin embargo, la elección del arreglo radica en los perfiles de velocidades. En la figura 4.2 se presentan las diferencias en cuanto a perfil de velocidades del plástico fundido genera cada uno de los tipos de calentamiento, externo o interno. Comúnmente para el bloque de acero que contiene los corredores se usan calentamiento externo y para las boquillas que conectan los corredores con los puntos de inyección se usa calentamiento interno.

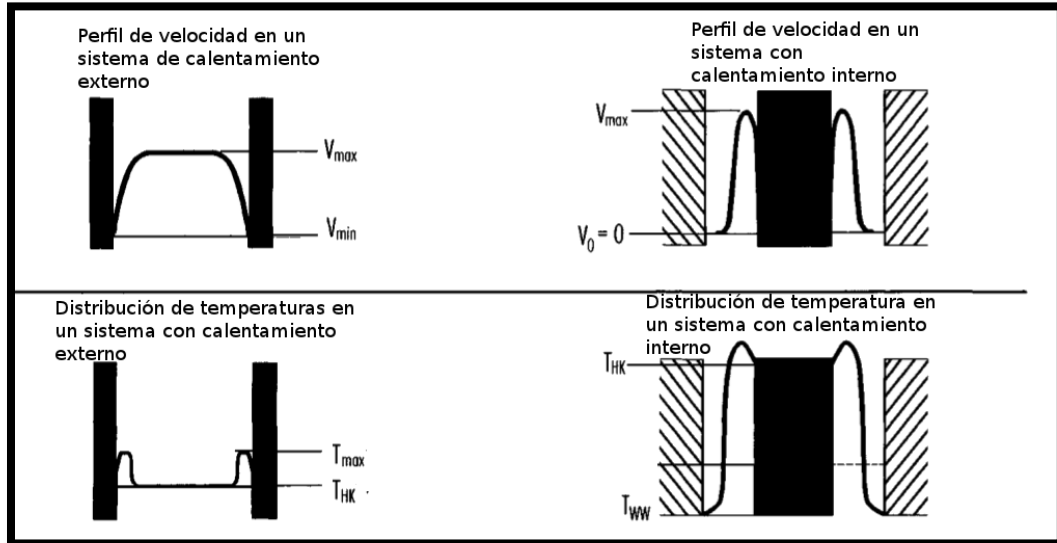


Figura 4.2 Perfiles de velocidades en sistema externo e interno de calentamiento. [Georg, 2000]

Un sistema con calentamiento externo implica un mayor costo energético debido a que necesita operarse con una mayor temperatura para alcanzar a fundir el material del centro del canal como lo muestra el diagrama anterior, así mismo es necesaria una elevada

temperatura para lograr un perfil de velocidad como el mostrado en el diagrama. [Georg, 2000]

Balanceo del sistema de inyección

En la industria de inyección de plásticos el término balanceo de molde de inyección o balanceo del sistema de inyección hace referencia al llenado simétrico de cavidades, es decir que para el caso de tener un molde de una cavidad, si el punto de inyección está situado en la parte central de la pieza, los extremos izquierdo y derecho deben ser llenados con la misma proporción. En el caso de dos cavidades simétricas, al existir un balance en el sistema de inyección, éstas serán llenadas con el material en la misma proporción y durante el mismo tiempo. En la figura 4.3 se presenta un ejemplo del balanceo tanto de cavidad como sistema de inyección.

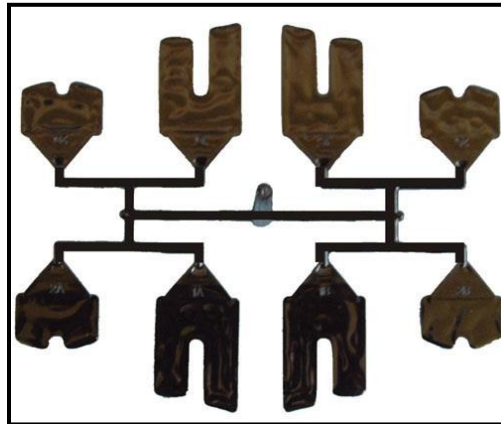


Figura 4.3 Cavidades y sistema de inyección des-balanceadas [Beaumont, 2012]

4.2 Lay out de corredores

El arreglo o acomodo que tendrán los corredores calientes estará en función del arreglo propuesto para las cavidades, es por ello que en la sección 3.4 se habló del arreglo propuesto. A partir de la información discutida en dicha sección se tiene un arreglo matricial de 24 cavidades, dividido en dos bloques de 12 cavidades cada uno. Para el caso de arreglos matriciales de cavidades el sistema de inyección con colada caliente deberá contar con un lay out en forma de “H” para lograr el balance en el sistema, y en el caso de arreglos circulares de cavidades, el sistema de inyección con colada caliente deberá tener un arreglo en forma de estrella. En la figura 4.4 se ilustra la diferencia entre estos dos tipos de arreglos.

	Arreglo matricial	Arreglo circular
a) Dos cavidades		
b) Tres cavidades	N/A	
c) Cuatro cavidades		
d) Cinco cavidades	N/A	
e) Seis cavidades		

Figura 4.4 Lay out de corredores para sistema de inyección [Georg, 2000]

En la figura 4.4 se observan las cavidades como los círculos sin relleno, y los círculos centrales con relleno, indican los bebederos del sistema de inyección. Para el caso que interesa a este trabajo, se presentó un arreglo matricial, el cual será condición para considerar el arreglo en forma de “H” para proponer la distribución o lay out de los corredores.

Para múltiples cavidades de seis en adelante los arreglos presentados anteriormente pueden formar combinaciones para aumentar el número de cavidades. En la figura 4.5 se presenta un lay out para ocho cavidades. Donde se puede apreciar la combinación de un arreglo en forma de “H”, de dos cavidades y de cuatro, generando un total de ocho cavidades.

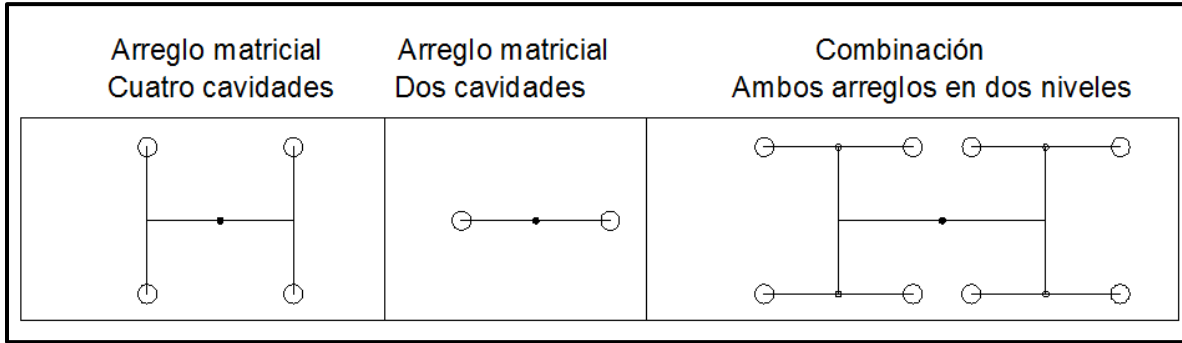


Figura 4.5 Lay out de corredores para ocho cavidades

En la figura 4.5 se hace referencia a niveles, dichos niveles, son planos que se van aumentando al lay out de los corredores por cada combinación utilizada, es decir en el arreglo de ocho cavidades se usó una combinación un arreglo de cuatro cavidades y un arreglo de dos cavidades por lo que el resultado serán dos niveles de corredores. En la figura 4.6 se presenta el lay out de los corredores para las ocho cavidades en una vista lateral.

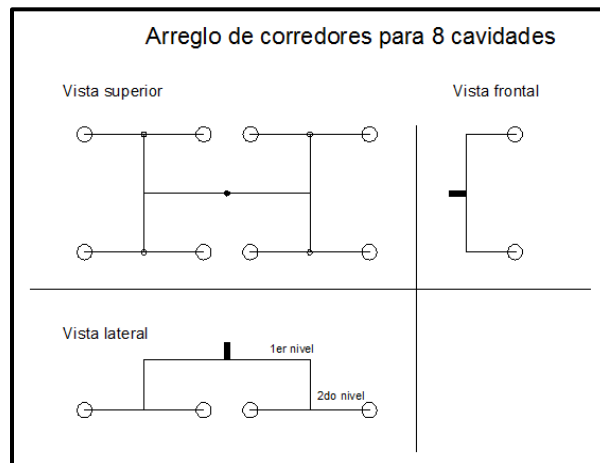


Figura 4.6 Lay out de corredores para ocho cavidades, vista superior, lateral y frontal

Propuesta del lay out de los corredores para el molde de 24 cavidades

En la sección 3.4 se propuso un arreglo matricial de cavidades dividido en dos bloques de 12 cavidades cada uno. Esta propuesta da pauta al primer paso, partir de un arreglo de corredores para dos cavidades. La segunda actividad es dividir el arreglo de dos cavidades en 12 cavidades cada uno para contar con dos bloques de 12 cavidades. Debido a la combinación de dos lay out en forma de “H”, uno de dos cavidades y otro de 12 cavidades, el sistema debe estar dividido en dos niveles, como se habló anteriormente, por

cada combinación de lay out se agregará un nivel. En la figura 4.7 se presenta la propuesta del lay out de los corredores.

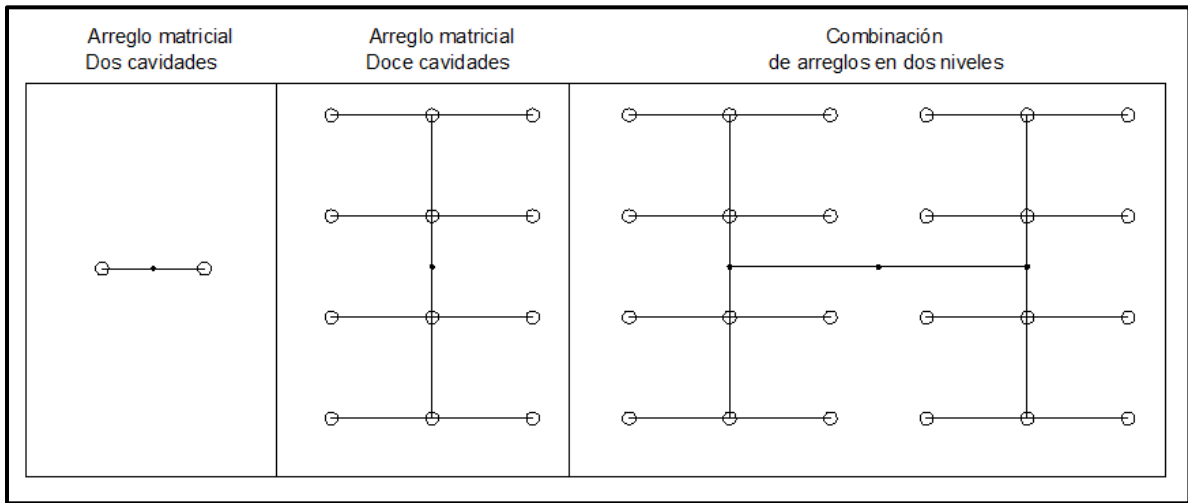


Figura 4.7 Lay out de corredores para 24 cavidades

Para entender mejor este arreglo propuesto en la Figura 4.8 se mostrarán las vistas, superior, lateral y frontal del arreglo propuesto para el lay out de los corredores.

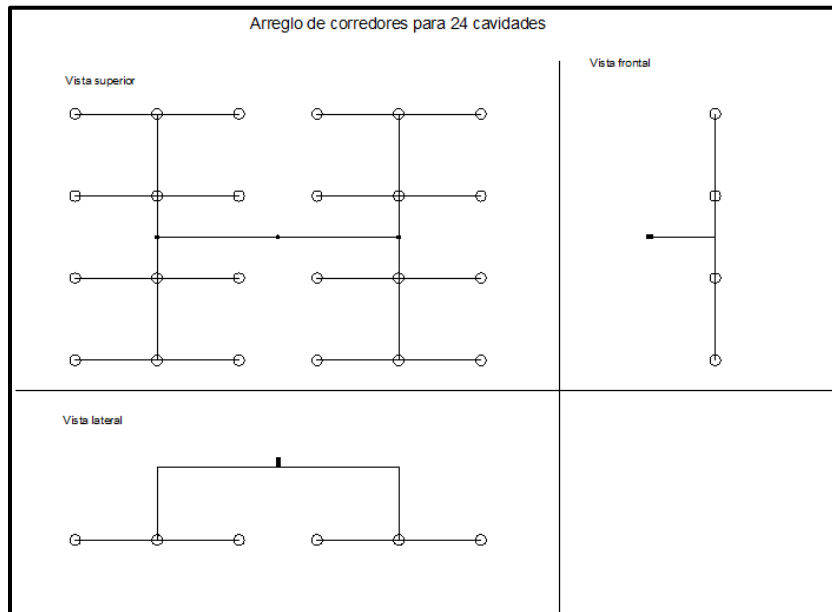


Figura 4.8 Lay out de corredores para 24 cavidades, vista superior, lateral y frontal

En la figura 4.9 se presenta el lay out propuesto para los corredores, este lay out sirve para el balanceo de los puntos de inyección, ya que la propuesta está dividida en dos arreglos de 12 puntos cada uno y por ser un número par, los puntos de inyección llenarán

las cavidades en pares. En el diseño de corredores se usa el arreglo tipo “H” para ayudar en el balanceo de los corredores y puntos de inyección.

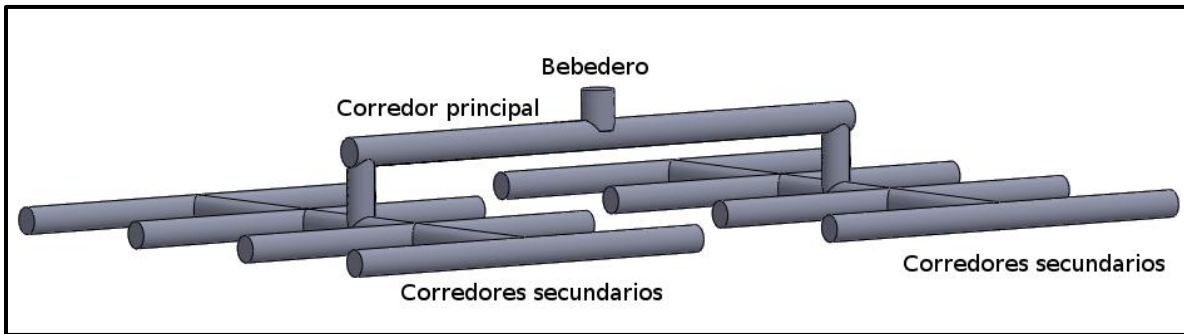


Figura 4.9 propuesta de lay out de corredores

4.3 Diseño de bebedero

En la industria del moldeo por inyección se hace referencia al bebedero como el orificio por el cual pasa el plástico fundido. Se pueden distinguir dos tipos de bebederos por la función que tienen uno es la entrada de material plástico al sistema de inyección, y el otro es la entrada de material plástico a la cavidad del molde de inyección. Para los bebederos existe la posibilidad de aplicar calor mediante resistores eléctricos, en este caso la geometría será diferente para un bebedero sin calefacción a uno frío. En la figura 4.10 se presenta la geometría que caracteriza a un bebedero frío y a un bebedero caliente.

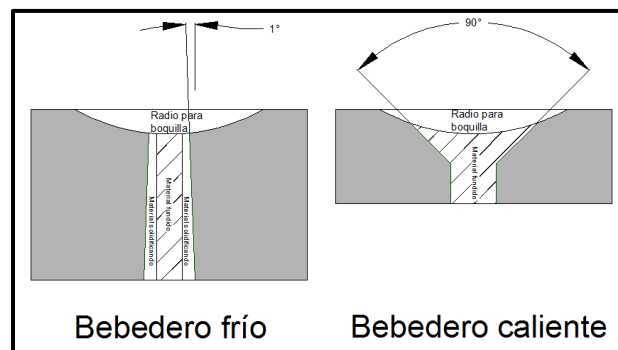


Figura 4.10 Diferencias entre bebedero frío y bebedero caliente

Para el bebedero frío la geometría que deberá tener es un cono con un ángulo de 1° como mínimo [DME, 2010]. Este cono generará un espacio para la solidificación de material plástico durante la inyección, es decir que la caída de presión en este caso se deberá a la longitud del bebedero y a la solidificación del polímero al momento de ser inyectado.

En la parte superior del bebedero se deja un radio, que será la superficie de contacto que existirá entre el bebedero de entrada y la boquilla de la máquina de inyección. La boquilla de la máquina de inyección se ilustra en la figura 1.5.

Para el bebedero caliente el ángulo lateral es omitido ya que el bebedero contará con calentamiento externo el cual evitará la solidificación de material durante la inyección. En la parte superior a diferencia del bebedero frío es necesario colocar un cono con un ángulo de 90° para evitar fugas de material entre la boquilla de la máquina de inyección y la entrada del bebedero.

Cálculo de la dimensión del bebedero

El diseño del bebedero contempla el cálculo del diámetro que tendrá el bebedero, también incluye la localización que tendrá, la cual en términos generales es el centro del sistema de inyección. En el lay out propuesto en la sección 4.2 se indica la ubicación en el centro del bebedero. Por tratarse de una entrada de material, el bebedero no es considerado una tubería en la cual exista una caída de presión debida a la longitud del bebedero.

Como se planteó en la sección 3.3, para determinar el diámetro del bebedero, se usa la fórmula de flujo de Poiseulle para calcular el esfuerzo cortante de operación del plástico dependiendo el tiempo de inyección (1 segundo determinado por el cliente) diámetro del punto de inyección, peso de la pieza. Fórmula 1:

$$\dot{\gamma} = 32 \frac{\dot{v}}{\pi d^3}$$

De la ecuación anterior se tiene que el esfuerzo cortante será igual a un factor 32 por tratarse de un fluido no Newotniano, multiplicado por el gasto volumétrico dividido entre el número PI por el diámetro al cubo.

Despejando esta fórmula para obtener el diámetro del punto de inyección se tiene lo siguiente:

$$d = \sqrt[3]{32 \frac{\dot{v}}{\pi \dot{\gamma}}}$$

Donde la velocidad de corte permitida para el HDPE es 5,000 (1/s) y la densidad del HDPE es 0.945 g/m³ [Polybridge calculator, 2014]

A diferencia de la sección 3.3 donde únicamente se considera el volumen de una cavidad para determinar el diámetro del punto de inyección. El volumen necesario para llenar todo el sistema de inyección deberá considerar el material que es necesario para llenar las 24 cavidades. El peso de la pieza 5g sobre la densidad del material, multiplicado por 24 para obtener el volumen total de material. En la siguiente fórmula, se presenta el cálculo:

$$v = \frac{24 \text{ cav} * (5 \text{ g})}{0.945 \text{ g/cm}^3} = 129.87 \text{ cm}^3$$

Sustituyendo los valores en la fórmula 2 se obtiene el siguiente valor:

$$d = \sqrt[3]{32 \frac{129.87 \text{ cm}^3 \frac{1}{1s}}{3.1416 (5,000 \frac{1}{1s})}} = 0.64 \text{ cm} = 6.4 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo necesario será de 6.4 mm, para disminuir la presión de inyección se recomienda aumentar 10% al valor calculado por lo que el diámetro final del punto de inyección será de 7.4 mm.

La longitud que tendrá el bebedero estará dada por la relación L/D la cual no debe exceder 1.5. En caso de que esta relación exceda 1.5 se tiene que calcular la longitud del diámetro en función del a caída de presión debido a la longitud de una tubería.

Propuesta final de diseño de bebedero

Para la longitud que tendrá el bebedero se propone 11 mm. Dicha longitud no excede la relación L/D permitida de 1.5. En la figura 4.11 se presenta la propuesta del diseño de bebedero incluyendo el ángulo superior de 90°.

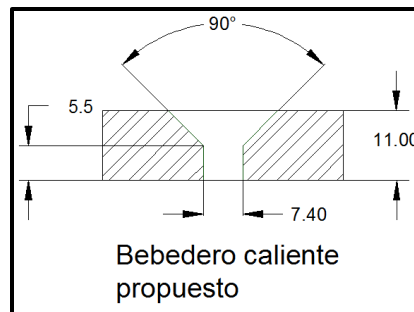


Figura 4.11 Bebedero propuesto, acotaciones en mm

4.4 Diseño de corredores

Para continuar con el diseño de los corredores primero se definirán los nombres de cada corredor que se manejarán para después enfocarse en cada uno de los corredores. En la figura 4.12 se presenta el isométrico del arreglo de corredores con los nombres que cada uno tendrá.

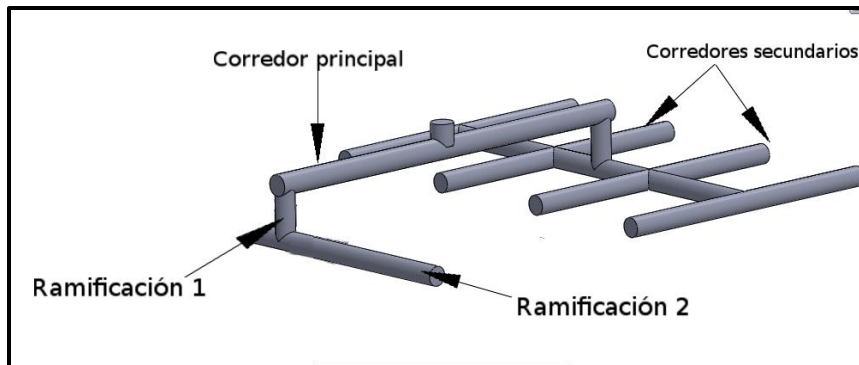


Figura 4.12 Identificación de corredores

De la figura 4.12 se tiene que en total se están identificando, un corredor principal, dos ramificaciones 1, dos ramificaciones 2, y 8 corredores secundarios.

A partir de esta identificación se procederá con el cálculo del diámetro de los corredores. Para dicho cálculo, es necesario conocer el peso del material inyectado y la longitud del corredor principal. El peso del material inyectado fue calculado en la sección 2.5 y la longitud del canal nace a partir del arreglo matricial propuesto en la sección 3.4. En la figura 4.13 se muestra el arreglo matricial de las cavidades con la longitud que será necesaria para el corredor principal.

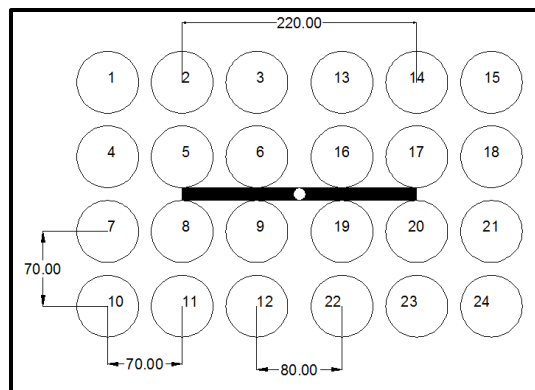


Figura 4.13 Arreglo matricial de cavidades y longitud del corredor principal, acotaciones mm.

El diámetro del corredor principal es función de la longitud que el mismo tenga, ya que la caída de presión se debe a la distancia que recorrerá el plástico fundido dentro del canal. Por tratarse de un fluido no newtoniano el modelado y cálculo de este diámetro se vuelve complejo, sin embargo, la industria del plástico ha encontrado la siguiente función de la dimensión del diámetro. En la fórmula 4.1 se observa que el diámetro del canal es directamente proporcional a la raíz cuadrada del tamaño de disparo por la raíz cuarta de la longitud, e inversamente proporcional a 3.7 (valor experimental).

$$d_{\text{corredor principal}} = \frac{\sqrt{W} * \sqrt[4]{L}}{3.7} \quad (4.1)$$

En la fórmula anterior valor del peso es introducido en gramos, la longitud del canal en milímetros. Sustituyendo los valores de este caso de estudio se tiene la fórmula (4.1)

$$d_{\text{corredor principal}} = \frac{\sqrt{120\text{g}} * \sqrt[4]{220\text{mm}}}{3.7} = 11.4 \text{ mm}$$

El corredor principal tendrá una longitud de 220 mm con un diámetro de 11.4 mm.

Para continuar con el cálculo del diámetro de las ramificaciones y corredores secundarios, se usa la fórmula 4.2

$$d_{\text{secundario}} = \frac{d_{\text{principal}}}{N^{\frac{1}{3}}}$$

Donde el valor de N es la cantidad de ramificaciones o canales secundarios que surgen a partir del corredor principal.

En la tabla 4.1 se presenta los resultados del cálculo de diámetros, para las ramificaciones uno y dos, y para los corredores secundarios.

Tabla 4.1 Cálculo de diámetros.

	N	Diámetro principal mm	Diámetro calculado mm
d ramificación 1	2	11.4	9.05
d ramificación 2	2	9.05	7.18
d corredor sedundario	4	7.18	4.53

Teniendo diámetros de corredores y longitudes, se propone la distancia que existirá entre los corredores, a partir del lay out propuesto en la sección 4.2 se tienen las siguientes vistas en dos dimensiones, lateral y frontal, ilustradas en la figura 4.14

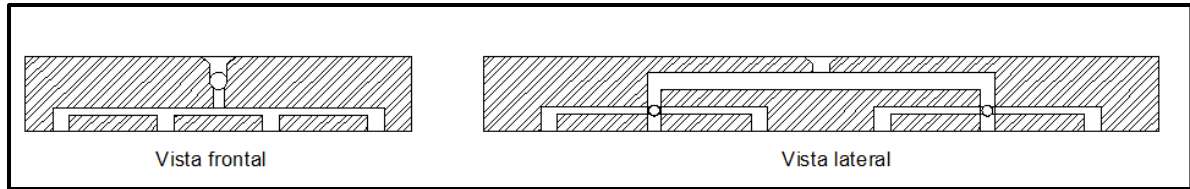


Figura 4.14 vista lateral y frontal de los corredores

De los cálculos anteriores la altura del bebedero es 11.5mm por lo que la primer distancia vertical es la longitud del bebedero, la segunda distancia vertical es el diámetro del corredor principal, de ahí se propone la distancia del corredor principal al corredor secundario de 11.5 mm para que exista simetría con los valores presentados anteriormente. Así mismo la última altura que será la distancia entre el corredor secundario y el extremo del sistema de inyección se propone 11.5 mm. En la figura 4.15 se presentan las dimensiones verticales que se proponen para el sistema de inyección.

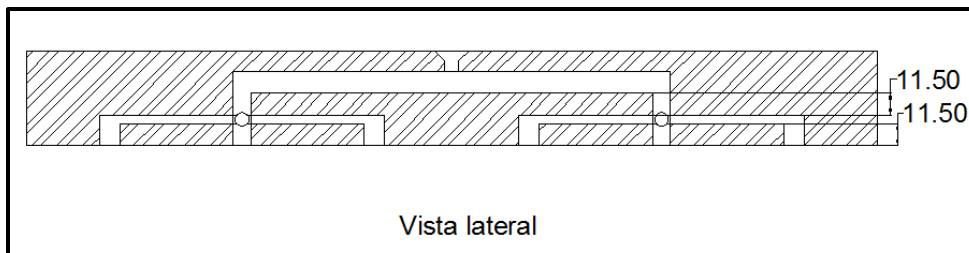


Figura 4.15 Dimensiones verticales propuestas para el sistema de inyección

Propuesta de diseño de corredores

En la figura 4.16 se presentan los dibujos con las dimensiones calculadas en esta sección y con las dos dimensiones propuestas. Es importante destacar que falta proponer una dimensión, que es la longitud que tendrá la placa de acero que contendrá los corredores. Por practicidad se propone la misma longitud que tiene el arreglo matricial presentado en la sección 3.4 en la figura 3.11.

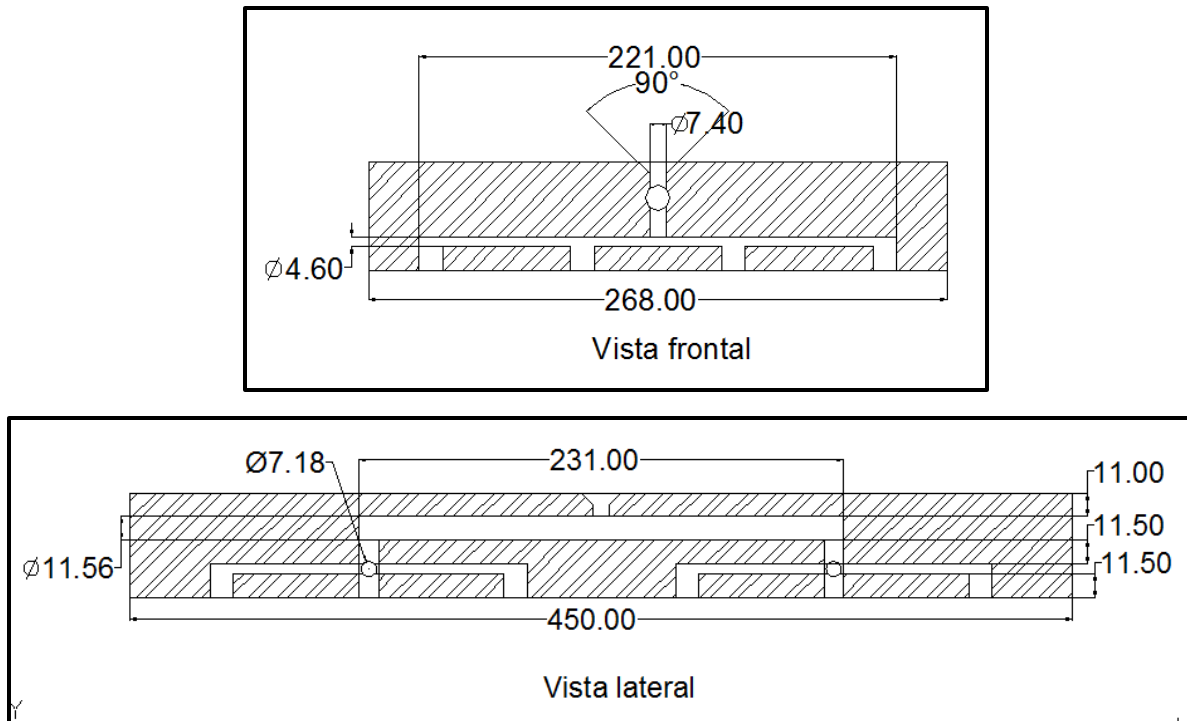


Figura 4.16 Vista lateral y frontal de propuesta de sistema de inyección, acotaciones en mm.

4.5 Selección de boquillas

En esta sección se calculará el diámetro que tendrá la boquilla encargada de llevar el material fundido a los puntos de inyección. Éste cálculo contempla diámetro y altura. La propuesta de diseño contempla las dimensiones y la geometría que tendrá la boquilla caliente. Se determina boquilla caliente porque contará con resistencias eléctricas en la parte interior de la boquilla.

Se distinguen dos tipos de boquillas en la industria de moldeo por inyección, dependiendo del tipo de colocación que se usa, pueden ser simples debido a que se colocan por presión entre el bloque de corretores y el punto de inyección, o pueden ser roscadas ya que se colocan gracias al adición de una rosca en la parte superior.

También existen dos formas de calentar las boquillas interna y externa, esto se trató en la sección 4.1 de este capítulo.

Finalmente la punta de la boquilla tiene forma de bala con 30 ° como estándar en la industria de inyección. En la figura 4.17 se muestran los dos tipos de boquillas con los

diferentes tipos de calentamiento.

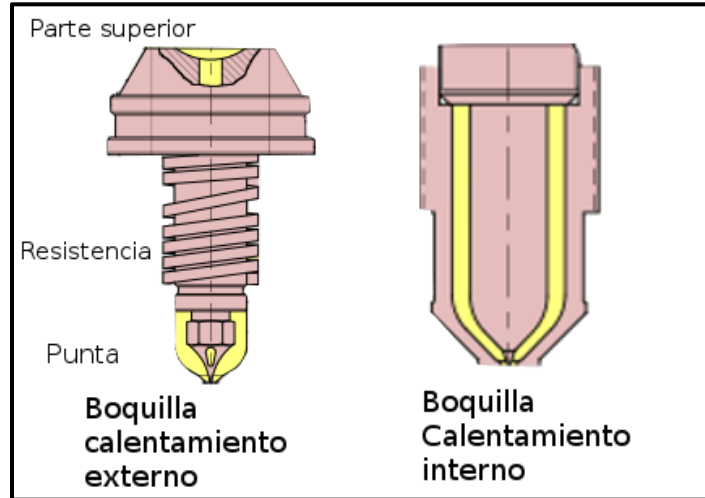


Figura 4.17 Clasificación de boquillas

En este trabajo se propone usar una boquilla con calentamiento interno y deslizable o normal. Como se planteó en la sección 4.1 las ventajas que esta boquilla presenta para esta aplicación en específico, son: mayor eficiencia energética, figura 4.2, y un menor costo de manufactura. El costo de manufactura es menor para este tipo de boquilla por únicamente aplicar un barreno interno para colocar la resistencia interna, y externamente para conseguir la geometría se trabajara en un proceso de torno.

Para determinar las dimensiones de la boquilla se propone usar las dimensiones del catálogo de Synventive, proveedor de sistemas de inyección. En la figura 4.18 se muestran las dimensiones así como la geometría que tendrá la boquilla propuesta. [Hot Runner Guide and design, 2009]

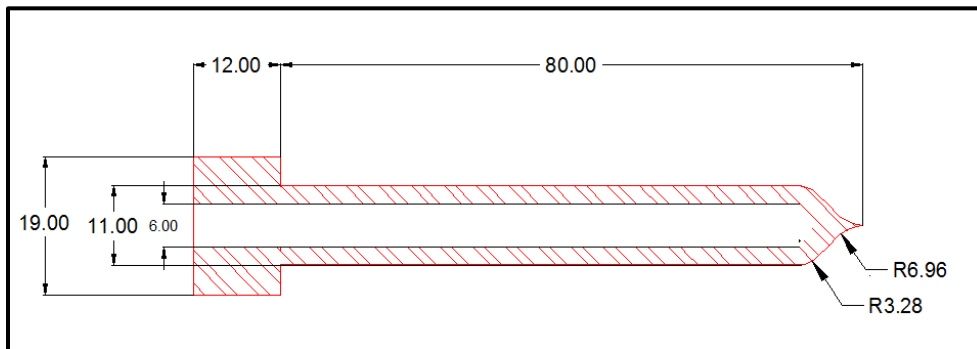


Figura 4.18 Boquilla 03 S101 Catalogo [Hot Runner Guide and design, 2009]

La boquilla fue seleccionada del catálogo por manejar un tamaño de disparo de 5 g. que es la cantidad requerida por cada una de las cavidades. En total se tendrán 24 boquillas para los 24 puntos de inyección. En la figura 4.19 se muestra la selección del catálogo Synventive.

Nozzle key data		Max. shot weight per nozzle (g)						Major dimensions				Heater zones		
		open			valve gate			J	L	D	Xn	No.	Power (W)	
high a)	medium b)	low c)	high a)	medium b)	low c)	J	L	D	Xn	No.	Power (W)			
S	03 S01	2	5	10	-	-	-	Ø2	80	Ø11	-	2	360...460

Figura 4.19 Catalogo Synventive

La boquilla deberá estar insertada en el sistema de inyección, en la parte que conectará el sistema de inyección contará con un espacio libre alrededor de la boquilla, esta cámara rodeará la boquilla para que el material pueda pasar al punto de inyección, esta cámara será identificada como corredor de la boquilla. En la figura 4.20 se muestra la boquilla y el espacio por donde pasará el plástico, la dimensión propuesta del diámetro de esta cámara es 15 mm debido a que la boquilla tiene 11 mm de diámetro y el espesor del punto de inyección es de 2mm por lo que la suma del diámetro del punto de inyección y el diámetro de la boquilla se obtienen los 15 mm

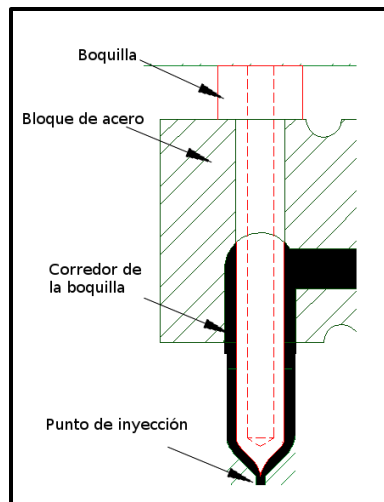


Figura 4.20 Forma final de las boquillas

4.6 Tipo de calentamiento

Para garantizar una temperatura homogénea en la zona de la boquilla se usan

resistencias que proporcionan calor a la boquilla que a su vez lo transmite hacia el material, gracias a la electrónica ha sido posible controlar las temperatura que se manejan en las boquillas usando un termopar que censa continuamente la temperatura en esa zona, cortando el suministro de corriente cuando la zona ha alcanzado la temperatura necesaria, y suministrando corriente cuando la temperatura en la zona comienza a descender.

El suministro de calor hacia las boquillas puede ser de tres maneras, indirecto, interno o externo. Si se usa el suministro de calor indirecto esto implica calentar la boquilla con el mismo calor suministrado al manifold es decir que el calor suministrado al manifold será conducido hacia las boquillas lo que presenta una desventaja ya que para pequeños cambios de temperatura en la boquilla, para permitir el llenado de la cavidad, se necesitará un incremento grande en la temperatura del manifold lo que ocasionará un incremento en la temperatura del material fundido, provocando efectos negativos en la calidad de la pieza ya que el material puede llegar a degradarse. Por ello es apropiado el uso de boquillas calentadas internamente, con su respectivo lazo de control para garantizar una temperatura constante en esa zona.

Para las boquillas calentadas internamente el diámetro de las resistencias así como la longitud está determinado por las dimensiones de la boquilla. El diseñador de moldes deberá optar por tener un diseño de boquilla que permita el uso de resistencias eléctricas con una densidad de potencia pequeña. La tabla siguiente muestra las dimensiones de las resistencias, junto con su respectiva densidad de potencia:

Tabla 4.3 Densidad de potencia. [Georg, 2000]

Diámetro de la resistencia.	Longitud (mm)	Densidad de potencia (W/cm ²)
1/4	30	35
	75	23
3/8	30	27
	200	13
1/2	50	20
	200	13

A diferencia de las boquillas con calentamiento interno las boquillas con calentamiento externo usan resistencias de cinta, tubulares o helicoidales. Debido a la longitud de estas resistencias la densidad de potencia es menor comúnmente 4W/cm².

El calentamiento del manifold puede realizarse con resistencias tubulares, de cartucho o cinta. Las resistencias de cartucho son recomendadas para manifolds con boquillas calentadas indirectamente, permitiendo el calentamiento de las boquillas por separado, en contraste con resistencias tubulares. Las resistencias deben ser colocadas en ambos lados de los canales del manifold, La distancia del corredor a la resistencia debe ser igual al diámetro de la resistencia.

Resistencias tubulares son recomendadas para manifolds con boquillas con calentamiento directo. La resistencia tubular es colocada dentro de ranuras maquinadas a lo largo del manifold y alrededor de las boquillas. Las ranuras deben tener una sobredimension tomando como referencia el diámetro de la resistencia, aproximadamente 4 décimas de milímetro. Cuando la resistencia ha sido colocada en la ranura, se cubre de cemento conductor.

El uso de diferentes tipos de resistencias para el calentamiento del manifold depende principalmente del espacio con el que se cuenta. Al elegir el tipo de resistencia que se usará para el calentamiento del manifold se debe tener en cuenta el riesgo de sobrecalentamiento en una zona por lo que es recomendable el uso de resistencias con una densidad de potencia no mayor a 20 W/cm².

Las pérdidas de energía se presentan en el manifold debido a la radiación del bloque de acero que conforma el manifold, por lo que es recomendable el uso de hojas de aluminio colocadas entre el manifold y las placas de respaldo, lo que representará un ahorro de energía mayor al 35 %.

Una vez diseñada el tipo de boquilla y los corredores que tendrá el manifold es fundamental para el diseño del molde determinar la cantidad de potencia necesaria para que el manifold opere correctamente cuidando todos los detalles que se mencionaron anteriormente.

$$P = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{t \cdot n_{tot}}$$

Donde:

m Masa del manifold

c Calor específico del acero= 0.48 kJ/(kg K)

ΔT Diferencia de temperatura entre la temperatura del material fundido y la temperatura del manifold al inicio del calentamiento

t tiempo de calentamiento

η_{tot} Eficiencia total (eléctrica térmica) usualmente 0.6

Realizando el cálculo de la potencia requerida se tiene lo siguiente para el molde que en este trabajo se diseña.

$$P = \frac{45.55kg \cdot 0.48 \frac{kJ}{kgK} \cdot (240 - 20^{\circ}C)}{(35min \cdot \frac{60s}{1min}) \cdot 0.5} = 4.54kW$$

Debido al espacio con el que se cuenta se propone el siguiente arreglo de resistencias para el manifold:

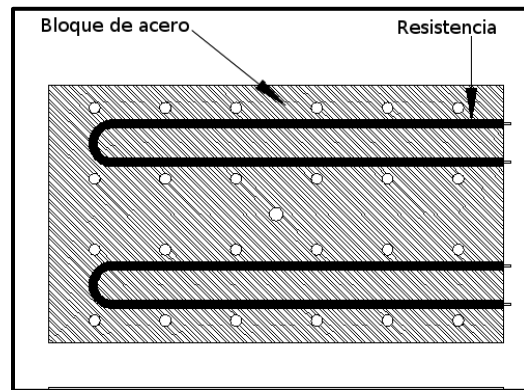


Figura 4.11 Layout de resistencias para el manifold

El número de resistencias tubulares propuestas es 4 y debido a que la potencia necesaria son 4,500 W en el mercado se cotizan 4 resistencias tubulares de alta concentración de 1000 W cada una obteniendo la potencia indicada en el cálculo. Se colocan dos resistencias en la parte superior y dos en la parte inferior, como lo indica el diagrama anterior.

4.7 Propuesta final de diseño

En esta sección se presenta el diseño completo del sistema de inyección, como se planteó anteriormente, este diseño incluye, tamaño de corredores, lay out de corredores, bebedero, boquillas, y sistema eléctrico.

En la figura 4.21 se presenta el isométrico final de los corredores con el bebedero y boquillas.

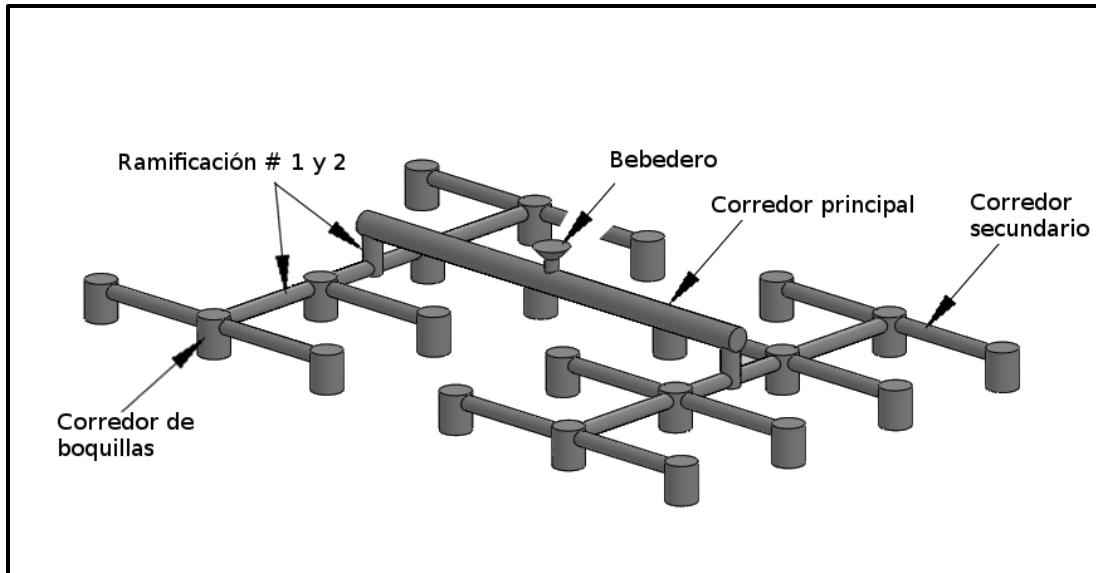


Figura 4.21 Propuesta final del sistema de inyección

En la figura anterior se aprecia el sistema de inyección propuesto, este sistema deberá estar contenido en una placa de acero la cual, será barrenada para obtener los corredores. En la parte superior del bloque de acero se deberá colocar las resistencias eléctricas que proporcionaran calor durante la operación del molde. En la figura 4.22 se presenta el isométrico del bloque de acero que contendrá los corredores y las boquillas.

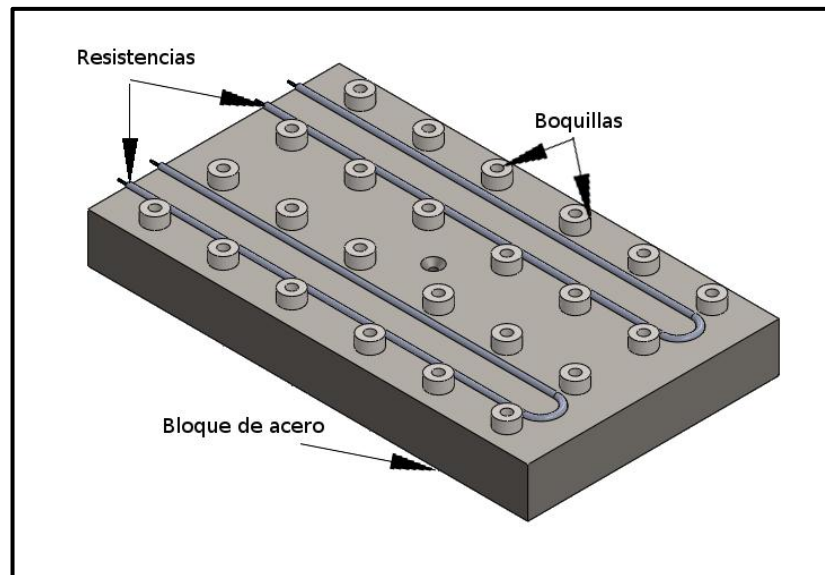


Figura 4.22 Ensamble final del sistema de inyección

La propuesta final del diseño del sistema de inyección para un molde de inyección de émbolo, fue presentada al ingeniero encargado del diseño completo del molde de inyección, esto con la finalidad de que sea éste el encargado de adaptar el sistema de inyección diseñando los puntos de fijación del bloque de acero al molde de inyección. En la figura 4.23 se presenta el sistema de inyección final, donde fue aplicado el diseño del sistema de inyección, dicho bloque muestra el ensamble final con las resistencias tubulares y de cartucho respectivamente.

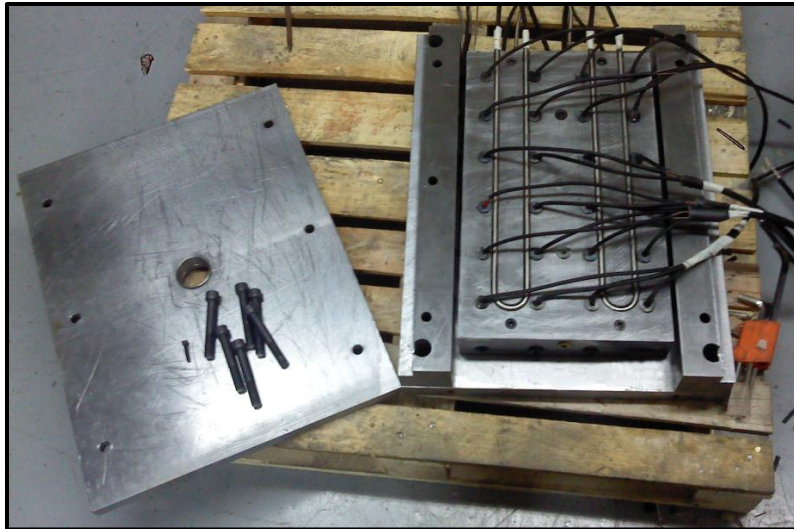


Figura 4.23 Sistema de inyección adaptado al molde de inyección para émbolo

El diseño aquí propuesto fue utilizado para adaptarlo a un molde de inyección, en la figura 4.24 se presenta el ensamble final del sistema de inyección con la placa de cavidades ensamblado con el molde de inyección. En dicha figura se observan los puntos de inyección colocados en la parte central del émbolo.



Figura 4.24 Ensamble final del sistema de inyección con las cavidades del molde

Para finalizar este capítulo se presentan los cuatro dibujos del sistema de inyección. El primer dibujo, figura 4.25 presenta el isométrico del bloque de acero que contiene los corredores, las resistencias y las boquillas, en líneas punteadas se puede observar el interior del bloque de acero donde los corredores son colocados.

En el dibujo dos, figura 4.26 se presentan las proyecciones ortogonales, alzado, planta inferior, planta, derecha, izquierda y posterior. Este dibujo sirve de referencia para ubicar todas las vistas que tiene el sistema de inyección.

El dibujo tres, figura 4.27, está identificado como dimensión de los corredores, se tomó como referencia la proyección de planta para realizar tres cortes en los que se puede apreciar la longitud y altura de los corredores. En este dibujo se puede consultar el lay out propuesto en la figura 4.21 ya colocado dentro del bloque de acero que servirá para la manufactura del sistema de inyección. También se puede consultar las dimensiones de los corredores, tanto secundario como principal.

El dibujo cuatro, figura 4.28, muestra la ubicación de los barrenos que permitirán la colocación de las boquillas. También se indican las dimensiones de las ranuras para las resistencias así como la ubicación y la longitud que las ranuras deberán tener para colocar las resistencias.

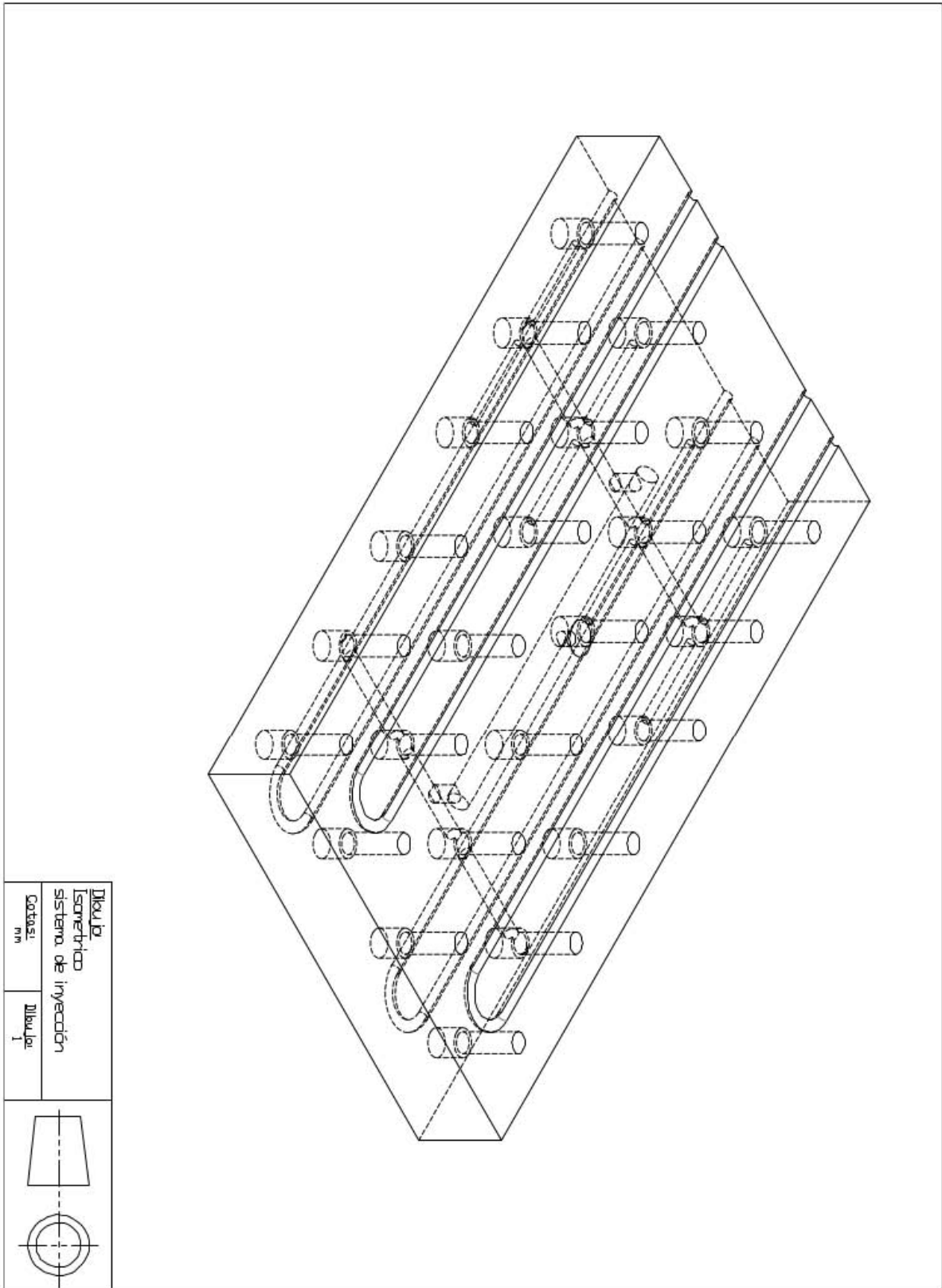


Figura 4.25 Isométrico sistema de inyección

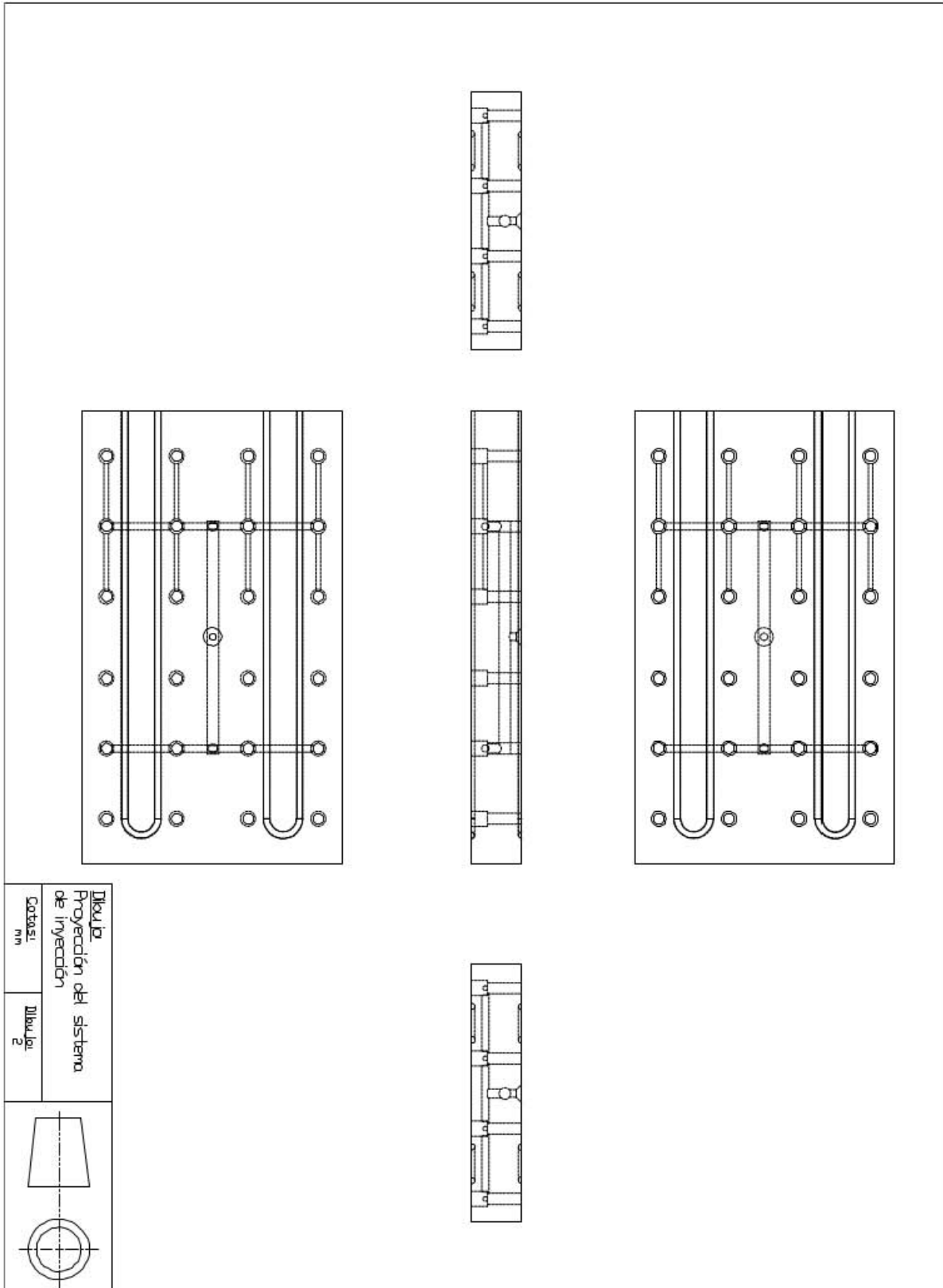


Figura 4.26 Proyecciones ortogonales del sistema de inyección

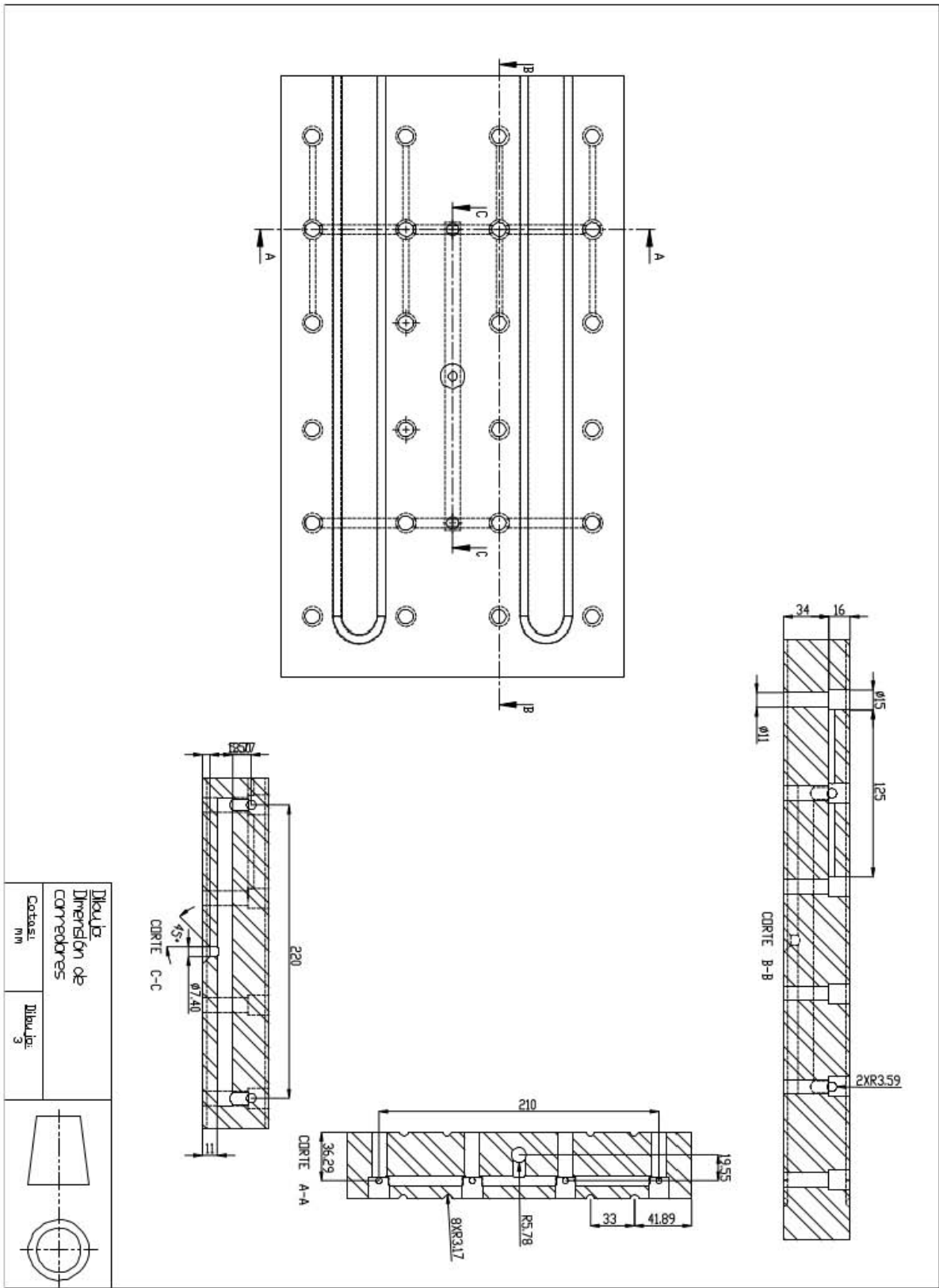


Figura 4.27 Secciones A-A, B-B, C-C del sistema de inyección

5 Verificación del diseño

Este capítulo tiene la finalidad de mostrar que el diseño propuesto para el sistema de inyección es funcional.

5.1 Antecedentes

El diseño de sistemas de inyección es un tema complejo de modelar, en este modelo intervienen factores como son flujo de fluidos no newtonianos, degradación de material debido a velocidad cortante, caída de presión debido a longitud de canales, etc. Por esta razón en las fuentes bibliográficas consultadas durante este trabajo de tesis, se utilizaron algunas fórmulas empíricas resultado de experimentos a diferentes velocidades cortantes, las fórmulas presentadas son una correlación de parámetros desarrolladas por fabricantes de moldes de inyección.

En la actualidad existe una rama de la ingeniería la cual analiza el flujo de fluidos con sistemas numéricos el cual resuelve las ecuaciones de continuidad que modelan los fluidos. Estas ecuaciones involucran un elevado número de variables, por lo que esta técnica resuelve las mismas usando iteraciones para el cálculo de caída de presión, flujo, velocidad, etc. Dependientes todas del tiempo, además para fluidos no newtonianos se agrega otra dependencia de la temperatura.

En la industria de moldes de inyección es común validar los diseños del sistema de inyección usando software de simulación. El software más usado es mold flow. En este trabajo se usó este software para comprobar que la presión máxima de inyección y la fuerza de cierre están dentro del valor teórico aceptable.

5.2 Resultados de la simulación

Para validar la propuesta de diseño desarrollada en este trabajo de tesis, primero se compararán las condiciones iniciales de la simulación. En la figura 5.1 se presentan las

variables iniciales que el software utiliza para el polímero HDPE, características del polímero así como volumen del material a inyectar.

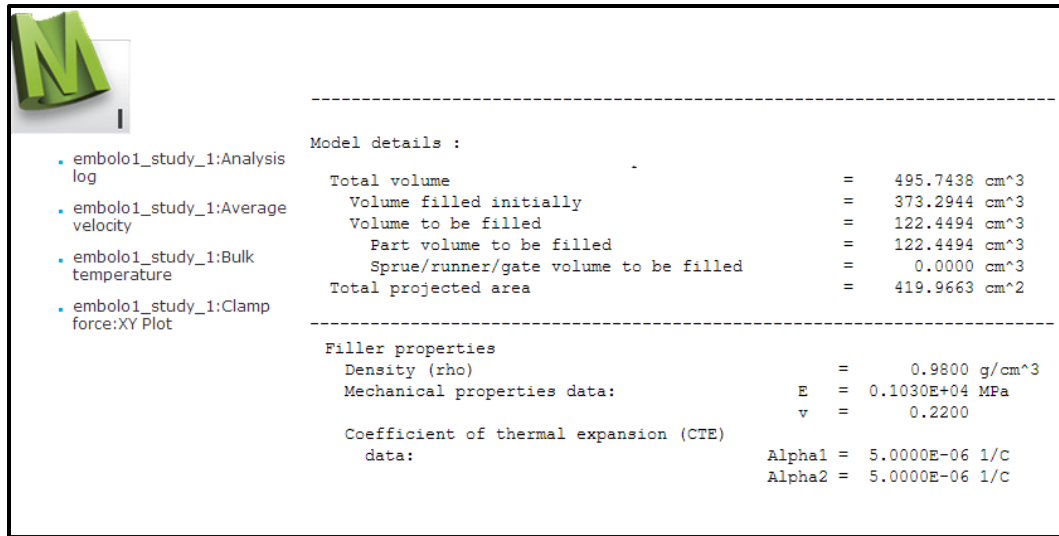


Figura 5.1 Características del material y datos iniciales para el modelo

En la figura 5.1 se puede observar que el software considera el volumen ocupado por los corredores, así mismo el software considera el volumen a ser llenado para las cavidades. El volumen de los corredores es resultado de la propuesta de diseño del sistema de inyección donde se generó la información de longitudes y diámetros de los corredores, mismos que serán evaluados para determinar si el sistema de inyección es funcional, cumpliendo con el objetivo de un correcto llenado de las cavidades. El volumen de las cavidades es el volumen indicado como volumen a ser llenado, este debe ser igual al volumen total de las cavidades, lo que indicará que fueron llenadas en su totalidad.

Siguiendo con la metodología propuesta en este trabajo, el siguiente paso es comparar la fuerza de cierre calculada por el software, contra la fuerza de cierre calculada en el diseño del sistema de inyección propuesto. En el capítulo dos de este trabajo se calculó una fuerza de cierre de 130 TON. En la figura 5.2 se presenta la fuerza de cierre calculada por el software.

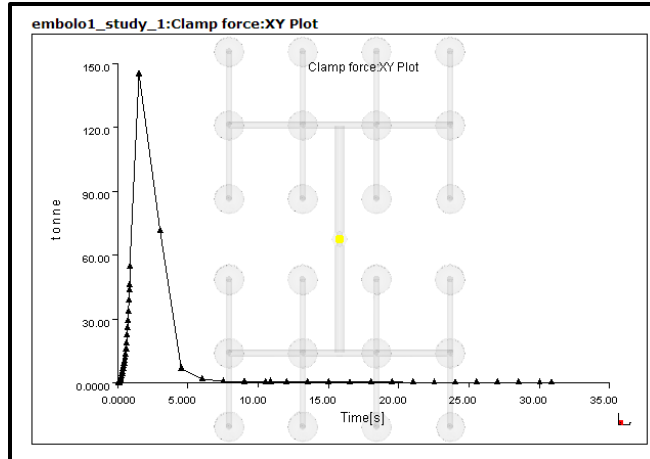


Figura 5.2 Reporte fuerza de cierre, simulación mold-flow

El cálculo de fuerza de cierre realizado por el software es menor que la fuerza de cierre máxima de la máquina de inyección propuesta, por lo que el diseño es válido para esa máquina de inyección, sin embargo, en la fuerza de cierre máxima durante la inyección es de 150 TON, esto se debe principalmente a que el software considera varios aspectos que se despreciaron en la memoria de cálculo, estas consideraciones son: temperatura del molde, esto representa una caída de presión durante la inyección, también se considera espesor de pared de la pieza, entre menor sea el espesor la presión de inyección deberá aumentar generando una fuerza de cierre mayor, así mismo en estas consideraciones está la caída de presión generada por el diámetro del punto de inyección y la caída de presión generada por la longitud de los corredores.

Conociendo que el sistema de inyección propuesto garantiza una fuerza de cierre dentro de la capacidad de la máquina propuesta se continua con la revisión del cálculo de tiempo de llenado, en este reporte el software determina el tiempo requerido para el llenado de las cavidades.

Debido a que el sistema de inyección tiene la finalidad de garantizar el llenado de la pieza en la figura 5.3 se presenta el reporte de la simulación con mold-flow el cual indica que las 24 cavidades tendrán el 100% del llenado después de 0.86 segundos con este resultado el diseño aquí presentado cumple el objetivo del llenado de las 24 cavidades.

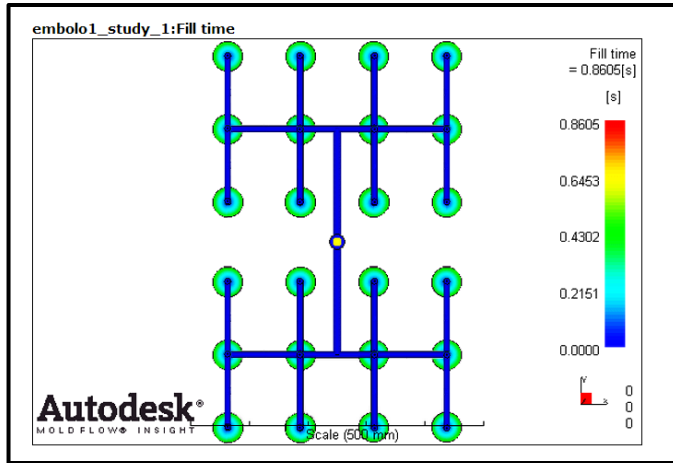


Figura 5.4 Reporte de llenado en la simulación con mold-flow

Como último criterio para la validación del diseño se considera la presión de inyección generada durante el llenado de las cavidades. En esta etapa el software calcula la presión máxima durante el proceso de inyección. Este criterio es importante para evaluar si el material será expuesto a excesivas velocidades cortantes, lo que generará una degradación en el material plástico resultando en defectos visuales en la pieza inyectada, generación de flash.

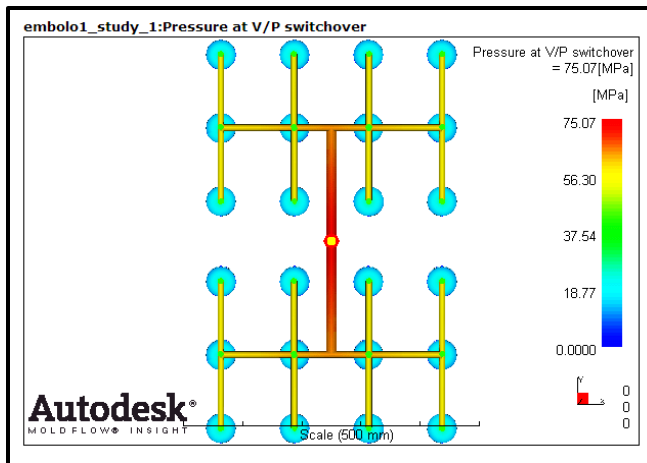


Figura 5.4 Reporte presión de inyección máxima, simulación mold-flow

El cálculo de presión máxima de inyección que el software presenta como resultado de la simulación es menor que el valor máximo de inyección recomendado por el fabricante de HDPE el cual es 103MPa. Por lo que la propuesta de diseño es válida y cumple con los valores teóricos de presión de inyección.

Conclusión

La propuesta de diseño de un sistema de inyección fue presentada en este trabajo, la propuesta final de diseño del sistema de inyección, incluye dibujos de los corredores dentro del bloque de acero que servirá para la manufactura de dicho sistema. Se cumplió con el objetivo de este trabajo de tesis, ya que se presentó este diseño al cliente que originalmente tenía la necesidad de comparar un molde de inyección que contara con sistema de colada caliente. Este trabajo benefició al cliente al dejar de importar este tipo de tecnologías y ahorrando un 6% del costo total del molde de inyección.

Para el diseño del sistema de inyección se partió de una metodología propuesta, dicha metodología es fusión de varios enfoques debido a que en el diseño de sistemas de inyección existen modelos matemáticos, resultado de estudios de laboratorio, donde el plástico que será inyectado es sometido a diferentes pruebas encontrando una correlación entre valores de presión, velocidad y temperatura durante la inyección del mismo. Estos modelos matemáticos relacionan caída de presión, debido a una restricción o por la fricción.

La primera decisión tomada para presentar la propuesta de diseño es la colocación del punto de inyección, se partió de la zona con mayor material que tendrá la pieza plástica, esto facilitará el llenado de la misma. Seguido de esto se determinó la dimensión que tendrá el punto de inyección, esta decisión fue basada en el cálculo de velocidad cortante para el plástico usado, sin embargo, la dimensión final se determinó con un porcentaje extra del 10% para disminuir la velocidad cortante a la que será sometido el material durante la inyección. Se recomienda hacer experimentos para llegar al valor óptimo basado en experimentación, por tratarse de un proyecto con fechas específicas para la entrega se uso un cálculo práctico para determinar este valor.

Para determinar el arreglo que tendrán los corredores que conforman el sistema de inyección se parte de una suposición de balanceo de las cavidades, esta condición es facilitada en este caso por el arreglo en “H” que se propuso para los corredores. La decisión de presentar el arreglo en “H” fue basada en buscar el llenado de las cavidades en la misma proporción, sin embargo, al optar por un arreglo de seis corredores secundarios como se

indicó en la sección 4.2, se debe tener en cuenta que existe un riesgo de desbalanceo en las cavidades exteriores presentando un llenado sin proporción, por esta razón se identifica una debilidad en el diseño presentado, recomendando un balanceo artificial de los corredores, es decir, cambiando los diámetros de los corredores de acuerdo al principio de conservación de masa.

Los diámetros de los corredores fueron calculados por la relación que existe entre la longitud y el diámetro del mismo, esta relación generará una caída de presión al fluir el plástico, para el caso del diseño propuesto se observa que el corredor secundario cuenta con un diámetro restringido, se recomienda para futuras aplicaciones aumentar dicho diámetro para disminuir la velocidad cortante generada por este corredor, esto se podrá comprobar con software o al momento de la inyección, el efecto resultante de aumentar el diámetro del corredor secundario será la disminución de la presión de inyección necesaria durante el proceso de inyección.

El diseño propuesto fue sometido a un análisis con simulación de mold-flow, dicho análisis contempla un modelo viscoso denominado “Cross-WLF”, dicho modelo establece la viscosidad como función de la temperatura, presión y velocidad de corte. Es decir este modelo predice la viscosidad del fluido a diferentes magnitudes de temperatura, presión y velocidad de corte, estableciendo un valor para cada instante de la simulación, con una memoria de cálculo no es posible generar un resultado de forma manual, por ello se opta por una simulación para resolver este problema y poder validar el diseño propuesto.

La simulación partió de los datos calculados y propuestos para el sistema de inyección. Los datos ingresados para la simulación fue, material, diámetro del punto de inyección, lay out de corredores, diámetro del bebedero y diámetro del corredor principal. El software asigna automáticamente la dimensión y longitud de la boquilla.

Los resultados arrojados por el software incluyen el análisis del proceso de inyección, sin embargo, por ser el sistema de inyección el centro de estudio de este trabajo, solamente se utiliza la presión máxima de inyección y la fuerza de cierre calculada.

El valor de la fuerza de cierre calculado por en la simulación fue de 150 TON, lo que refleja que el diseño propuesto puede ser mejorado para alcanzar las 130 TON, calculadas durante el diseño. Esto se puede deber al espesor de la pared del émbolo, o la dimensión de los corredores. Lo que se recomienda para disminuir la fuerza de cierre y obtener un mejor

diseño es realizar más simulaciones hasta encontrar la dimensión del diámetro del punto de inyección o de los corredores que facilitarán el llenado y disminuyan la fuerza de cierre. En caso de no poder disminuir la fuerza de cierre se tendrá que proponer otro espesor de pared para la pieza plástica émbolo.

El valor de la presión de inyección del análisis fue de 75.07MPa lo que permite concluir que el diseño es factible y útil para aplicarlo al molde de inyección, debido a que el valor de la presión de inyección se encuentra por debajo del valor máximo recomendado por los fabricantes de HDPE 103 MPa. [HDPE Injection molding, matweb.com]

El diseño propuesto es funcional, sin embargo, se recomienda optimizar los valores calculados para futuras aplicaciones, por ejemplo se propone generar iteraciones para la simulación del sistema de inyección cambiando el diámetro del punto de inyección y observando que resultados genera en los tiempos de inyección, presión máxima de inyección y fuerza de cierre. Una menor fuerza de cierre alargará la vida útil del molde de inyección.

Bibliografía

1. Georg Menges, et al. (2000). How to make injection molds. Hanser Publisher Munich.
2. Hans Gastrow. (1998). Moldes de Inyección para plásticos 100 casos prácticos. Plastic Comunicación.
3. Natti S. Rao, et al. (2004). Design formulas for plastics engineers. Hanser Gardner Publication, Cincinnati.
4. José Rios, et al. Ingeniería concurrente en el diseño de moldes de inyección. Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación.
5. (1997). Design guide. GE plastics.
6. Monica Paloma Ortiz, (2012). Presente Futuro de la Industria del Plástico en México. Centro Empresarial del plástico.
7. Sushas Kulkarni. (2010) Robust process development and scientific molding. Hanser Gardner Publication, Cincinnati.
8. MoldMaking Technology, John Beaumont, CEO from Beaumont Runner Technologies, Inc, 2012.